

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
аналитической химии  
химического факультета



Елисеева Т.В.

24.04.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.07 Хроматография и капиллярный электрофорез

1. Код и наименование направления подготовки/специальности: 04.03.01 Химия
2. Профиль подготовки/специализация: Химия,
3. Квалификация выпускника: бакалавр
4. Форма обучения: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра аналитической химии
6. Составители программы: Карпов Сергей Иванович, д.х.н., доцент  
(ФИО, ученая степень, ученое звание)
7. Рекомендована: *Научно-методическим советом химического факультета от 11.04.2024 протокол № 4*
8. Учебный год: 2027/2028 Семестр(ы): 7

### 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

*Целями освоения учебной дисциплины являются:* обучение студентов основам хроматографических и электрофоретических методов разделения, выделения и идентификации веществ.

*Задачи учебной дисциплины:*

- на основании полученных теоретических знаний и практического овладения хроматографическими и ионообменными методами студенты могли правильно выбирать метод, условия хроматографирования вещества в соответствии с поставленной перед ними проблемой,
- разработать схему анализа,
- практически провести его и интерпретировать полученные результаты.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** часть, формируемая участниками образовательных отношений (вариативная) блока Б1, к которой относится дисциплина. Вариативная часть. Обязательные дисциплины.

*Требования к входным знаниям, умениям и навыкам:* Данная дисциплина требует от студентов базовых знаний по курсам "Аналитическая химия", "Физическая химия", "Органическая химия".

В результате освоения дисциплины студенты должны владеть основными понятиями хроматографии, знаниями теоретических основ хроматографических методов анализа, их применения в химическом анализе.

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:**

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК - 1	Способен проводить сбор, анализ и обработку научно-технической (научной) информации, необходимой для решения задач химической направленности, поставленных специалистом более высокой квалификации	ПК -1.1;	Обеспечивает сбор научно-технической (научной) информации, необходимой для решения задач исследования, поставленных специалистом более высокой квалификации	Уметь: проводить сбор, анализ и обработку научно-технической (научной) информации, необходимой для решения задач, поставленных специалистом более высокой квалификации; выбирать метод, условия хроматографирования вещества в соответствии с поставленной перед ними проблемой, разработать схему анализа, практически провести его и интерпретировать полученные результаты
		ПК -1.2;	Составляет аналитический обзор литературных источников по заданной тематике, оформляет отчеты о выполненных научно-исследовательских работах по заданной форме.	Владеть: навыками сбора, анализа и обработки научно-технической (научной) информации Знать: теоретические основы методов хроматографии.
ПК - 3	Способен использовать современные	ПК - 3.1;	Знает и может применять на практике	Уметь: использовать современные экспериментальные и расчетно-теоретические методы для установления

экспериментальные и расчетно-теоретические методы для установления структуры и исследования реакционной способности химических соединений под руководством специалиста более высокой квалификации		современные экспериментальные методы для установления структуры химических соединений.	структуры и исследования реакционной способности химических соединений; практически провести хроматографический анализ и интерпретировать полученные результаты;
	ПК - 3.2	Способен изучать реакционную способность соединений с применением типовых экспериментальных и расчетно-теоретических методов.	Владеть: владение базовыми навыками использования современной аппаратуры при проведении научных исследований; владение навыками химического эксперимента, основными синтетическими и аналитическими методами получения и исследования химических веществ и реакций Знать: современные экспериментальные и расчетно-теоретические методы для установления структуры и исследования реакционной способности химических соединений; основы использования хроматографического оборудования;

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час.**(в соответствии с учебным планом) — 3/108.

**Форма промежуточной аттестации**(зачет/экзамен) зачет с оценкой.

### 13. Виды учебной работы

#### 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	Всего	По семестрам
		№ семестра 8
Аудиторные занятия	90	90
в том числе:	лекции	36
	практические	0
	лабораторные	54
Самостоятельная работа	18	18
в том числе: курсовая работа (проект)	0	0
Форма промежуточной аттестации (ЗаО – _ час.)	0	0
Итого:	108	108

#### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
<b>1. Лекции</b>			
1.1	1.Теоретические основы	Хроматографический метод, его сущность и решаемые	+

	хроматографии	задачи. История развития хроматографии. Классификация хроматографических методов.	
1.2	1. Теоретические основы хроматографии	Теоретические основы хроматографии. Уравнение динамики сорбции. Уравнение движения фронта компонента во фронтальной и хроматографического компонента в элюентной хроматографии. Роль статических, кинетических и гидродинамических факторов в межфазном распределении вещества.	+
1.3	1. Теоретические основы хроматографии	Характеристика удерживания. Понятия "теоретическая тарелка" в хроматографии. Уравнение ВЭТТ. Основные факторы размытия хроматографических пиков. Уравнение Ван-Деемтера. Критерии разделения. Степень удерживания. Селективность колонки.	+
1.4	2. Газовая хроматография	Газовая хроматография. Характеристика метода, история развития. Газоадсорбционная и газожидкостная хроматография. Адсорбенты в газоадсорбционной хроматографии с точки зрения природы межмолекулярных взаимодействий и геометрической структуры частиц. Носители в газожидкостной хроматографии, предъявляемые к ним требования. Неподвижные жидкие фазы. Влияние природы жидкой фазы на эффективность разделения.	+
1.5	2. Газовая хроматография	Газовые хроматографы и их характеристика. Подвижная фаза, ее роль в анализе. Разделительные колонки: насадочные, капиллярные. Система ввода пробы. Техника ввода газообразных, жидких и твердых проб.	+
1.6	2. Газовая хроматография	Детекторы, их характеристики: селективность, чувствительность, шум, нижний предел детектирования и линейность отклика. Качественный анализ в газовой хроматографии. Идентификация компонентов смеси по характеристикам удерживания. Относительное удерживание и индексы удерживания.	+
1.7	2. Газовая хроматография	Количественный анализ в газовой хроматографии. Количественная оценка хроматограмм по высоте и площади пиков. Оценка площади пика компонента, содержащегося в следовой концентрации. Метод абсолютной калибровки, внутреннего стандарта, нормализации.	+
1.8	3. Жидкостная хроматография и электрофорез	Жидкостная хроматография. Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ). Основы теории.	+
1.9	3. Жидкостная хроматография и электрофорез	Сорбенты для различных видов ВЭЖХ: Сорбенты для хроматографии. Подвижные фазы для ВЭЖХ. Методики хроматографирования и оценка результатов ВЭЖХ. Специальные варианты ВЭЖХ. Примеры применения в анализе объектов окружающей среды.	+
1.10	3. Жидкостная хроматография и электрофорез	Жидкостная хроматография. Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ). Эксклюзионная хроматография. Ионоэксклюзионная распределительная хроматография.	+
1.11	3. Жидкостная хроматография и электрофорез	Ионообменная хроматография. Равновесные и неравновесные характеристики процесса ионного обмена.	+
1.12	3. Жидкостная хроматография и электрофорез	Ионная хроматография.	+
1.13	3. Жидкостная хроматография и электрофорез	Плоскостная хроматография. Тонкослойная хроматография.	+
1.14	3. Жидкостная хроматография и	Лигандообменная хроматография. Аффинная хроматография. Сверхкритическая флюидная	+

	электрофорез	хроматография.	
1.15	3. Жидкостная хроматография и электрофорез	Электрохроматография. Электрофорез.	+
1.16	3. Жидкостная хроматография и электрофорез	Гибридные методы анализа.	+
<b>3. Лабораторные работы</b>			
3.1	1. Теоретические основы хроматографии, 2. Газовая хроматография	Нанесение неподвижной жидкой фазы на твердый носитель и заполнение колонки	-
3.2	1. Теоретические основы хроматографии, 2. Газовая хроматография	Определение оптимальной скорости потока газа-носителя.	-
3.3	2. Газовая хроматография	Получение изотерм сорбции спиртов методом Глюкауфа.	-
3.4	2. Газовая хроматография	Идентификация органических соединений по индексам удерживания Ковача	-
3.5	2. Газовая хроматография	Определение содержания примесей в толуоле.	-
3.6	3. Жидкостная хроматография	Разделение и количественное определение смеси изомеров нитроанилина при использовании нормально-фазного варианта ВЭЖХ.	-
3.7	3. Жидкостная хроматография	Качественное и количественное определение примесей салициловой кислоты в ацетилсалициловой кислоте (аспирине) методом ОФ ВЭЖХ.	-
3.8	3. Жидкостная хроматография	Разделение и идентификация дикарбоновых кислот методом ТСХ в водно-органических подвижных фазах.	-
3.9	3. Жидкостная хроматография	Количественное определение содержания физиологически активных веществ.	-

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.	Теоретические основы хроматографии.	16	0	14	6	36
2.	Газовая хроматография.	10	0	20	6	36
3.	Жидкостная хроматография.	10	0	20	6	36
	Итого:	36	0	54	18	108

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

работа с конспектами лекций, презентационным материалом, интернет-ресурсами, выполнение лабораторных работ.

### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Беккер, Ю. Хроматография: инструментальная аналитика : методы хроматографии и капиллярного электрофореза / Ю. Беккер ; пер. с нем. В. С. Курова. – Москва: Техносфера, 2009. – 472 с. // «Университетская библиотека online» : электронно-библиотечная система. – URL : <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a>
2.	Хенке Х. Жидкостная хроматография : Электронный ресурс / Х. Хенке Москва : Техносфера, 2009. - 264 с. // Режим доступа: «Университетская библиотека online» : электронно-библиотечная система. – URL : <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=89412">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=89412</a>

3.	Газенаур Е.Г. Методы исследования материалов : Учебное пособие [Электронный ресурс]//Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2013. - 336 с. // Режим доступа: «Университетская библиотека online» : электронно-библиотечная система. – URL : <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=232447">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=232447</a>
----	--

## б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4.	Аналитическая химия. Проблемы и подходы : в 2 т. : пер. с англ. / под ред. Р.Кельнера [и др.] - М. : Мир : ООО «Изд-во АСТ», 2004. – Т.1. - 608 с.
5.	Аналитическая химия. Проблемы и подходы : в 2 т. : пер. с англ. / под ред. Р.Кельнера [и др.] - М. : Мир : ООО «Изд-во АСТ», 2004. – Т.2. – 728 с.
6.	Спутник хроматографиста Методы жидкостной хроматографии / О.Б. Рудаков [и др.] – Воронеж :Изд-во «Водолей», 2004. – 528 с.
7.	Практическая газовая и жидкостная хроматография : учеб. пособие / Б.В. Столяров [и др.] – СПб. : Изд-во С.-Петербург. Ун-та, 2002. – 616 с.
8.	Аналитическая хроматография / К.И. Сакодынский [и др.] – М. : Химия, 1993. – 464 с.
9.	Количественный анализ хроматографическими методами / под ред. Э. Кец. – М. : Мир, 1990. – 320 с.
10.	Ионный обмен и ионная хроматография / А.М. Долгоносков [и др.]— М. : Наука, 1993 .— 221 с.
11.	Сенченкова Е.М. М.С. Цвет – создатель хроматографии / Е.М.Сенченкова. – М. : Янус-К, 1997. – 440 с.
12.	Рачинский В. В. Введение в общую теорию динамики сорбции и хроматографии / В.В. Рачинский; АН СССР институт физической химии .— М. : Наука, 1964 .— 136 с.
13.	Гиошон Ж. Количественная газовая хроматография Ж. Гиошон, К. Гийемен. – М. : Мир, 1991. – Т. 1-2.
14.	Хайвер Ж. Высокоэффективная газовая хроматография Хайвер Ж. – М. : Мир, 1993.
15.	П. Схунмакерс. Оптимизация селективности в хроматографии / П Схунмакерс. - Л. : Химия, 1989.
16.	Сенченкова Е.М. Рождение идеи и метода адсорбционной хроматографии / Е.М. Сенченкова . – М. : Мир, 1990.
17.	Гольберт К.А. Введение в газовую хроматографию / К.А. Гольберт, М.С. Вигдергауз. – М. : Химия, 1990. – 399 с.
18.	100 лет хроматографии / Рос. акад. наук, Ин-т физ. химии и др. ; отв. ред. Б. А. Руденко. – М. : Наука, 2003 .— 738 с.

## в) Информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
19.	Майер В.Р., Практическая высокоэффективная жидкостная хроматография [Электронный ресурс] / Майер Вероника Р. - М. : Техносфера, 2017. - 408 с. - ISBN 978-5-94836-480-3 - Режим доступа: <a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948364803.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948364803.html</a>
20.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
21.	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>
22.	<a href="http://e.lanbook.com">http://e.lanbook.com</a>
23.	<a href="http://chemnet.ru">http://chemnet.ru</a>
24.	<a href="http://chemrar.ru">http://chemrar.ru</a>
25.	Аналитическая химия в России - <a href="http://www.rusanalytchem.org/default.aspx">http://www.rusanalytchem.org/default.aspx</a>
26.	ЭУМК Образовательный портал "Электронный университет ВГУ" <a href="https://edu.vsu.ru/">https://edu.vsu.ru/</a> <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2360">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2360</a>

\* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы, онлайн-курсы, ЭУМК

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)

№ п/п	Источник
1.	Хроматография / С.И. Карпов [и др.] – Воронеж : Издательский дом Воронеж. ун-та, 2019.- 94 с.

2.	<i>Матвеева М.В. Газовая и высокоэффективная жидкостная хроматография : практикум для студентов по специальности 011000 – «Химия» / М.В.Матвеева, С.И. Карпов, О.Ф.Стоянова. – Воронеж, 2003. – 31 с.</i>
3.	Сорбционно-хроматографические методы разделения, выделения и определения физиологически активных веществ / В.Ф. Селеменев [и др.] – Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронеж. ун-та, 2013.- 72 с.
4.	Лабораторное руководство по хроматографическим и смежным методам / О.Микеш [и др.] – М. : Мир, 1982. – Ч.1. -400 с.
5.	Лабораторное руководство по хроматографическим и смежным методам / О.Микеш [и др.] – М. : Мир, 1982. – Ч.2. -381 с.
6.	Практикум по хроматографическому анализу / под ред. К.М. Ольшановой. – М. Высш. школа, 1970. - 312 с.

### **17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):**

При реализации учебной дисциплины используются элементы электронного обучения (ЭО) и дистанционные образовательные технологии (ДОТ) в части освоения лекционного материала, проведения текущей и промежуточной аттестации, проведения части лабораторных работ и самостоятельной работы обучающихся по дисциплине, позволяющие обеспечивать опосредованное взаимодействие (на расстоянии) преподавателей и обучающихся, включая инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>), проведение вебинаров, видеоконференций, взаимодействие в соцсетях, посредством электронной почты, мессенджеров. Для освоения дисциплины рекомендуется список литературы и ресурсы для электронного обучения (ЭО) (п. 15).

*При реализации дисциплины могут проводиться различные типы лекций (вводная, обзорная и т.д.), семинарские занятия (проблемные, дискуссионные и т.д.), применяться дистанционные образовательные технологии в части освоения лекционного материала, проведения текущей аттестации, самостоятельной работы по дисциплине или отдельным ее разделам и т.д. При применении ЭО и ДОТ необходимо в п.15 в) указать используемые ресурсы (см. пример выше)*

### **18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

*(при использовании лабораторного оборудования указывать полный перечень, при большом количестве оборудования можно вынести данный раздел в приложение к рабочей программе)*

1. Аналитические весы
2. Сушильный шкаф
3. Газовый хроматограф «Chrom-4» с детектором по теплопроводности
4. Газовый хроматограф «Кристалл-2000М» с ЭЗД, ПИД и ТИД
5. Жидкостный хроматограф «Shimadzu LC-20» со спектрофотометрическим детектором

### **19. Фонд оценочных средств:**

#### **19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения**

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС* (средства оценивания)
ПК-1,	знать: теоретические основы методов хроматографии	Разделы 1-3. Теоретические	Контрольная работа

	<p>уметь: выбирать метод, условия хроматографирования вещества в соответствии с поставленной перед ними проблемой, разработать схему анализа, практически провести его и интерпретировать полученные результаты</p> <p>владеть (иметь навык(и)): Владение навыками химического эксперимента, основными синтетическими и аналитическими методами получения и исследования химических веществ и реакций</p>	<p>основы хроматографии. Газовая хроматография. Жидкостная хроматография.</p>	
ПК-3	<p>знать: основы использования хроматографического оборудования;</p>	<p>Раздел 1. Теоретические основы хроматографии.</p>	<p>Реферат</p>
	<p>уметь: практически провести хроматографический анализ и интерпретировать полученные результаты;</p>	<p>Раздел 2. Газовая хроматография. Жидкостная хроматография.</p>	
	<p>владеть (иметь навык(и)): владение базовыми навыками использования современной аппаратуры при проведении научных исследований</p>	<p>Раздел 3. Газовая хроматография. Жидкостная хроматография.</p>	
<b>Промежуточная аттестация</b>			<b>КИМ</b>

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Разделы 1-3. Теоретические основы хроматографии. Газовая хроматография. Жидкостная хроматография.	ПК-1	ПК-1.1 ПК-1.2	Контрольная работа
2.	Раздел 1. Теоретические основы хроматографии.	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2	Реферат
3.	Раздел 2. Газовая хроматография. Жидкостная хроматография.	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2	
4.	Раздел 3. Газовая хроматография. Жидкостная хроматография.	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2	
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет с оценкой				Перечень вопросов
				Хроматографический метод, его сущность и решаемые задачи.
				История открытия хроматографического метода и его развитие.



№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
				Классификация хроматографических методов.
				Адсорбционная и распределительная хроматография.
				Уравнение динамики сорбции.
				Теория фронтальной динамики сорбции одного вещества.
				Элюентная динамика сорбции одного вещества.
				Уравнение движения фронта компонента в линейной хроматографии.
				Основные параметры, характеризующие движение вещества в колонке с сорбентом. Основные термины и определения.
				Параметры удерживания в хроматографии.
				Характеристика эффективности хроматографической системы (колонки)
				Кинетическая теория хроматографии
				Основные критерии оптимизации в хроматографии.
				Эффективность и селективность хроматографической системы.
				Критерии разделения и их связь с эффективностью и селективностью.
				Газовая хроматография. Аппаратура.
				Газовые хроматографы и их характеристика. Подвижная фаза, ее роль в анализе. Разделительные колонки: насадочные, капиллярные. Система ввода пробы. Техника ввода газообразных, жидких и твердых проб.
				Детекторы в газовой хроматографии. Характеристики детектора
				Ионизирующие и неионизирующие детекторы.
				Качественный анализ в газовой хроматографии.
				Методы количественного анализа в хроматографии.
				Количественный анализ в газовой хроматографии.
				Газовая адсорбционная хроматография.

## 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

#### *Лабораторные работы*

*(наименование оценочного средства текущего контроля успеваемости)*

Выполнение лабораторных работ с использованием методических указаний.

Требования к выполнению заданий: студент должен выполнить перечень работ и представить отчет о выполнении с указанием умений и навыков, приобретенных в ходе работы.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Полное соответствие отчета содержанию, целям и задачам лабораторной работы. Продемонстрировано знание методов хроматографии, умение связывать теорию с практикой, владение понятийным аппаратом хроматографии Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом хроматографии (теоретическими основами дисциплины), способен применять теоретические знания для решения практических задач в области анализа и изучения физико-химических свойств с использованием методов хроматографии</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Зачтено</i>
<i>Несоответствие отчета содержанию, целям и задачам лабораторной работы. Не продемонстрировано знание методов хроматографии, умение связывать теорию с практикой, владение понятийным аппаратом хроматографии Обучающийся не владеет понятийным аппаратом хроматографии (теоретическими основами дисциплины), не способен применять теоретические знания для решения практических задач в области анализа и изучения физико-химических свойств с использованием методов хроматографии</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Не зачтено</i>

#### *Контрольная работа*

Письменная контрольная работа по оценке теоретических знаний по разделам дисциплины

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Продемонстрировано знание методов хроматографии, владение понятийным аппаратом хроматографии Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом хроматографии (теоретическими основами дисциплины)</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Зачтено</i>
<i>Не продемонстрировано знание методов хроматографии, отсутствие навыков владения понятийным аппаратом хроматографии. Обучающийся не владеет понятийным аппаратом хроматографии (теоретическими основами дисциплины).</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Не зачтено</i>

#### **Перечень заданий для контрольных работ**

**Тема 1-3**

**Вариант 1**

Задание 1 Определение хроматографии по IUPAC.

Задание 2 Определение хроматограммы.

Задание 3 Классификация хроматографических методов по способам проведения хроматографического процесса

Задание 4 Адсорбционная хроматография

Задание 5 Ионообменная хроматография

Задание 6 Аффинная хроматография

Задание 7 Адсорбционно-комплексобразовательная хроматография

Задание 8 Характеристика вытеснительной хроматографии

Задание 9 Типы изотерм адсорбции.

Задание 10 Характеристика изотермы II и IV типа

**Вариант 2.**

Задание 1 Одно из определений хроматографии

Задание 2 Классификация хроматографических методов по технике выполнения

Задание 3 Классификация хроматографических методов по механизму сорбции

Задание 4 Распределительная хроматография.

Задание 5 Эксклюзионная хроматография.

Задание 6 Осадочная хроматография.

Задание 7 Характеристика фронтальной хроматографии

Задание 8 Характеристика элюентной хроматографии

Задание 9 Характеристика изотермы III и V типа

Задание 10 Параметры удерживания в хроматографии.

**Вариант 3**

Задание 1 Основные факторы, влияющие на величину  $N$  (кинетическая теория хроматографии)

Задание 2 характеристика вихревой диффузии

Задание 3 расчет ВЭТТ для вклада вихревой диффузии

Задание 4 расчет ВЭТТ для вклада продольной диффузии в ПФ

Задание 5 определение коэффициента  $A$  в уравнении Ван-Деемтера

Задание 6 определение коэффициента  $C$  в уравнении Ван-Деемтера

**Вариант 4.**

Задание 1 Уравнение Ван-Деемтера

Задание 2 характеристика продольной диффузии

Задание 3 расчет ВЭТТ для вклада вихревой диффузии при малых размерах частиц и малых скоростях подвижной фазы

Задание 4 расчет ВЭТТ для вклада продольной диффузии в ПФ

Задание 5 определение коэффициента  $B$  в уравнении Ван-Деемтера

Задание 6 определение оптимальной скорости ПФ с использованием уравнения Ван-Деемтера

**Вариант 5** .....

Задание 1 Постановка задачи динамики сорбции

Задание 2 теорема Гаусса-Остроградского

Задание 3 Уравнение динамики сорбции с учетом диффузии и конвекции.

Задание 4 Уравнение непрерывности с учетом линейности изотермы сорбции

Задание 5 начальные и граничные условия для варианта фронтальной хроматографии

Задание 6 выражение закона Вика

Задание 7 коэффициенты Вика при выпуклой изотерме

**Вариант 6** .....

Задание 1 выражение закона сохранения массы

Задание 2 условие стационарного состояния системы, стока массы, источника массы

Задание 3 Запись выражения эффективных коэффициентов диффузии и эффективной скорости

Задание 4 начальные и граничные условия для варианта элюентной хроматографии

Задание 5 коэффициенты Вика при линейной изотерме

Задание 6 коэффициенты Вика при вогнутой изотерме

Задание 7 асимптотическое решение уравнения динамики сорбции для варианта элюентной хроматографии

**Вариант 7.**

- Задание 1 определение селективности
- Задание 2 расчет селективности с учетом различных физико-химических параметров
- Задание 3 Факторы, влияющие на относительное удерживание и коэффициент распределения
- Задание 4 Коэффициент селективности как термодинамическая величина
- Задание 5 Факторы, обуславливающие уширение хроматографических зон
- Задание 6 Формула расчета селективности
- Задание 7 эффективность и разрешение: выражение с учетом времени удерживания и ЧТТ
- Задание 8 эффективность и разрешение: выражение с учетом коэффициента емкости и селективности
- Задание 9 Влияние селективности на величину разрешения

#### **Вариант 8.**

- Задание 1 Влияние коэффициентов емкости на величину разрешения
- Задание 2 Графическое определение оптимальных значений коэффициентов емкости
- Задание 3 Пиковая емкость
- Задание 4 типы классификаций детекторов в ГХ
- Задание 5 принципиальная схема ГХ
- Задание 6 газы-носители в ГХ
- Задание 7 системы ввода проб в ГХ
- Задание 8 Хроматографические колонки
- Задание 9 техника ввода проб в капиллярной ГХ

#### **Вариант 9.**

- Задание 1 Система ввода пробы.
- Задание 2 Техника ввода газообразных, жидких и твердых проб.
- Задание 3 Подвижная фаза, ее роль в анализе.
- Задание 4 Разделительные колонки: насадочные, капиллярные.
- Задание 5 Детекторы, их характеристики: селективность.
- Задание 6 Детекторы, их характеристики: чувствительность.
- Задание 7 Детекторы, их характеристики: шум детектора.
- Задание 8 нижний предел детектирования.
- Задание 9 линейность отклика.

#### **Вариант 10.**

- Задание 1 Качественный анализ в газовой хроматографии..
- Задание 2 Идентификация компонентов смеси по характеристикам удерживания.
- Задание 3 Относительное удерживание и индексы удерживания
- Задание 4 Количественный анализ в газовой хроматографии.
- Задание 5 Количественная оценка хроматограмм по высоте и площади пиков.
- Задание 6 Оценка площади пика компонента, содержащегося в следовой концентрации.
- Задание 7 Метод абсолютной калибровки,
- Задание 8 Метод внутреннего стандарта,
- Задание 9 Метод нормализации.

## **20.2 Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

*Реферат, Сообщение/доклад/презентация*

---

Написание реферата и подготовка сообщения/презентации по современным методам хроматографии и капиллярного электрофореза.

#### **Перечень тем рефератов**

- Эксклюзионная хроматография (молекулярно-ситовая или гель-проникающая хроматография).
- Ионоэкслюзионная распределительная хроматография.
- Ионообменная хроматография.
- Ионная хроматография.
- Ион-парная хроматография.
- Плоскостная хроматография.
- Тонкослойная хроматография.
- Методы полуколичественной обработки хроматограмм.

Компьютерные программы. Видеоденситометр.

Лигандообменная хроматография.

Аффинная хроматография.

Сверхкритическая флюидная хроматография.

Электрохроматография.

Электрофорез.

Гибридные методы анализа в хроматографии.

жидкостная хромато-масс-спектрометрия (ЖХ-МС, LC-MS), жидкостная хроматография – инфракрасное детектирование с Фурье преобразованием (ЖХ-ФПИК, LC-FTIR).

Для оценивания результатов обучения на экзамене/зачете используются следующие показатели (из 20.1 и 20.2):

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом методов газовой и жидкостной хроматографии и капиллярного электрофореза;
  - 2) умение связывать теорию с практикой;
  - 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
  - 4) умение применять газовую, жидкостную хроматографию и капиллярный электрофорез в анализе различных объектов;
  - 5) владение способами оценки хроматографической эффективности хроматографических систем;
- владение понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способность иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач анализа объектов с использованием газовой хроматографии.

Для оценивания результатов обучения на экзамене (зачете с оценкой) используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<p><i>Полное соответствие ответа обучающегося всем перечисленным критериям. Продемонстрировано знание методов газовой хроматографии, умение связывать теорию с практикой, владение понятийным аппаратом хроматографии</i></p> <p><i>Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом хроматографии (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач в области анализа и изучения физико-химических свойств с использованием методов хроматографии</i></p>	<p><i>Повышенный уровень</i></p>	<p><i>Отлично</i></p>
<p><i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует одному (двум) из перечисленных показателей, но обучающийся дает правильные ответы на дополнительные вопросы. Недостаточно продемонстрировано знание методов газовой и жидкостной хроматографии, владение понятийным аппаратом газовой и жидкостной хроматографии, или содержатся отдельные пробелы в умении связывать теорию с практикой.</i></p> <p><i>Обучающийся владеет понятийным аппаратом газовой и жидкостной хроматографии (теоретическими основами дисциплины), допускает ошибки при иллюстрировании ответа примерами, фактами, данными научных исследований; или допускает ошибки при иллюстрировании возможностей</i></p>	<p><i>Базовый уровень</i></p>	<p><i>Хорошо</i></p>

<p>применения газовой и жидкостной хроматографии в анализе различных объектов; или допускает ошибки при оценке хроматографической эффективности хроматографических систем.</p>		
<p>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым двум(трем) из перечисленных показателей, обучающийся дает неполные ответы на дополнительные вопросы. Демонстрирует частичные знания аппарата методов газовой хроматографии, или не умеет иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований; или имеет не полное представление применения газовой и жидкостной хроматографии в анализе различных объектов, допускает существенные ошибки при оценке хроматографической эффективности хроматографических систем. Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен оценивать хроматографической эффективности хроматографических систем; Обучающийся не умеет применять хроматографию в анализе различных объектов. Не умеет иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований.</p>	<p>Пороговый уровень</p>	<p>Удовлетворительно</p>
<p>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трем(четырем) из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки во владении понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, не умеет применять теоретические знания для решения практических задач анализа объектов с использованием газовой хроматографии.</p>	<p>–</p>	<p>Неудовлетворительно</p>

**Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

**Перечень вопросов к зачету:**

№	Текст вопроса
1.	Хроматографический метод, его сущность и решаемые задачи.
2.	История открытия хроматографического метода и его развитие.
3.	Классификация хроматографических методов.
4.	Адсорбционная и распределительная хроматография.
5.	Уравнение динамики сорбции.
6.	Теория фронтальной динамики сорбции одного вещества.
7.	Элюентная динамика сорбции одного вещества.
8.	Уравнение движения фронта компонента в линейной хроматографии.
9.	Основные параметры, характеризующие движение вещества в колонке с сорбентом. Основные термины и определения.
10.	Параметры удерживания в хроматографии.
11.	Характеристика эффективности хроматографической системы (колонки)
12.	Кинетическая теория хроматографии
13.	Основные критерии оптимизации в хроматографии.
14.	Эффективность и селективность хроматографической системы.
15.	Критерии разделения и их связь с эффективностью и селективностью.
16.	Газовая хроматография. Аппаратура.

17.	Газовые хроматографы и их характеристика. Подвижная фаза, ее роль в анализе. Разделительные колонки: насадочные, капиллярные. Система ввода пробы. Техника ввода газообразных, жидких и твердых проб.
18.	Детекторы в газовой хроматографии. Характеристики детектора
19.	Ионизирующие и неионизирующие детекторы.
20.	Качественный анализ в газовой хроматографии.
21.	Методы количественного анализа в хроматографии.
22.	Количественный анализ в газовой хроматографии.
23.	Газовая адсорбционная хроматография.

### Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме(ах) *письменных работ (контрольные, лабораторные работы)*

. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и/или практическое(ие) задание(я), позволяющее(ие) оценить степень сформированности умений и(или) навыков, и(или) опыт деятельности.

При оценивании используются количественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.

### 20.3 Контроль освоения ПК

Контроль освоения ПК-1

Перечень заданий для проверки сформированности компетенции:

1) тестовые задания:

1. Какой параметр является качественной характеристикой хроматографического удерживания?
  - a. Число теоретических тарелок.
  - b. Время от момента ввода пробы до максимума на хроматографическом пике.**
  - c. Отношение времени пребывания компонента в стационарной и подвижной фазах.
2. Какой параметр характеризует степень разделения веществ в хроматографии?
  - a. Коэффициент емкости.
  - b. Разрешение.**
  - c. Коэффициент селективности
  - d. Число теоретических тарелок.
3. Какое уравнение описывает зависимость высоты эквивалентной теоретической тарелки от скорости подвижной фазы
  - a. Уравнение Ван-Деемтера;**
  - b. Уравнение Гаусса;

- c. Уравнение Ленгмюра;
- d. Уравнение Шилова.

## 2) расчетные задачи:

1. Хроматографический анализ пестицида дает пик с временем удерживания 8,68 мин и шириной пика у основания 0,29 мин. Оцените  $N$  - Число Теоретических Тарелок (ЧТТ), вовлеченных в разделение. Учитывая длину колонки 2.0 м рассчитайте  $H$  - Высоту, Эквивалентную Теоретической Тарелке (ВЭТТ).  $H$  запишите в мм. ( **$N=14300$ ,  $H=0.14$  мм**).
2. Время удерживания некоторого вещества в газовой хроматографии составляет 65 с, а ширина его пика у основания – 5,5 с. Определите ВЭТТ (в мм), если длина хроматографической колонки составляет 3 м. ( **$H=1.34$  мм**)
3. Для этанола и метанола в капиллярной колонке для газовой хроматографии получили времена удерживания 370 и 385 с. Ширина пиков у основания ( $W_1=16.0$ ,  $W_2=17.0$ ). Пик неудерживаемого компонента выходит на 10.0 с. Вычислите коэффициент селективности и разрешение пиков ( **$R_s=0.91$ ,  $\alpha=1.04$** ).

## 3) ситуационные, практико-ориентированные задачи / мини-кейсы:

1. Какой вариант хроматографии основан на разделении веществ за счет различия в электростатическом взаимодействии ионов с ионогенными группами сорбентов. (**Ионообменная хроматография**.)
2. Какой вариант хроматографии основан на разделении веществ за счет специфических взаимодействий некоторых биологически активных веществ (**Аффинная хроматография**)
3. Какой вариант хроматографии основан на разделении веществ за счет различия растворимости в подвижной и неподвижной фазах (**распределительная хроматография**).
4. Каким термином можно охарактеризовать высоту слоя, в пределах которого между неподвижной фазой (сорбентом) и подвижной фазой устанавливается равновесие сорбции-десорбции вещества (**теоретическая тарелка**)

## Контроль освоения ПК-3

Перечень заданий для проверки сформированности компетенции:

## 1) тестовые задания:

1. Для количественного анализа методом хроматографии по площади хроматографических пиков используют ряд методов. Какой из них дает наименьшую погрешность?
  - a. вычисление площади с учетом ширины пика на полувысоте;
  - b. расчет площади с учетом ширины пика у основания;
  - c. вырезание пика из бумажной хроматограммы, взвешивание и вычисление площади, исходя из массы пика и единицы площади ( $1 \text{ см}^2$ ) бумаги.
2. Какой газ используется в качестве подвижной фазы в газовой хроматографии при работе с детектором по теплопроводности
  - a. Азот;
  - b. Гелий;**
  - c. Аргон;
  - d. Водород;

## 2) расчетные задачи:

1. В одном и том же хроматографическом анализе низкомолекулярных аминокислот время удерживания изобутиловой кислоты составило



- $t_{R(iso)} = 5,98$  мин.,  $t_{R(buty)} = 7.63$  мин. Мёртвое время  $t_m = 0.31$  мин. Рассчитайте коэффициент емкости  $k_i$  и селективность  $\alpha$  ( $k_i = 18,3$ ,  $\alpha = 1.29$ )
2. В хроматографическом анализе лимонного сока пик лимонена имеет время удерживания  $t_R = 8.36$  мин. с шириной у базовой линии  $W = 0.96$  мин.  $\gamma$ -Терпенен элюируется при  $t_R = 9.54$  мин. с шириной у базовой линии  $W = 0.64$  мин. Рассчитайте разрешение двух пиков и является ли разделение полным? ( $R_s = 1.48$ , **разрешение полным не является**).
  - 3) ситуационные, практико-ориентированные задачи / мини-кейсы:
    1. Перечислите основные типы классификации хроматографических методов по механизму удерживания веществ (**1. Адсорбционная, 2) Распределительная, 3) ионообменная, 4) аффинная, 5) эксклюзионная, 6) осадочная, 7) адсорбционно-комплексобразовательная**).
    2. Перечислите варианты хроматографии по способам проведения хроматографического процесса (**Фронтальная, Вытеснительная, Элюентная**)
    3. В каких случаях в хроматографии при количественном анализе удобно использовать метод внутренней нормализации? (**1. Все вещества элюируются из колонки. 2. Чувствительность детектора одинакова для всех разделяемых веществ**). Какая формула используется для расчета количественного состава смеси?
    4. Перечислите основные блоки газового хроматографа (**1. Система подачи газа-носителя; 2. Система ввода проб. 3. Колонка. 4. Детектор. 5. Регистрирующее устройство.**)
  - 4) темы эссе:
    1. Какой параметр характеризует эффективность хроматографической системы (**число теоретических тарелок**)
    2. В чем состоит метод внутреннего стандарта при количественном анализе хроматографическим методом? Напишите соответствующую формулу. (**Формула  $C_x = k \cdot r \cdot S_x / S_{в.ст} \cdot 100$  %. где  $r = m_{в.ст} / m_{пр}$ ,  $k_i = \frac{S_{в.ст} \cdot i}{C_{в.ст}}$** .)

Задания раздела 20.3, а также задания ЭУМК (образовательный портал «Электронный университет ВГУ» в разделе «Электронные курсы» → «Химический факультет» → «Кафедра аналитической химии» → «Б1.В.6 Хроматография и капиллярный электрофорез» <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2360> ) рекомендуются к использованию при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных знаний по результатам освоения данной дисциплины