

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
сборник учебно-методических материалов
для направления подготовки 20.03.01 – Техносферная безопасность

Благовещенск, 2017

*Печатается по решению
редакционно-издательского совета
инженерно-физического факультета
Амурского государственного
университета*

Составитель: Т.А. Родина

Аналитические методы экологического мониторинга: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки 20.03.01. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017.

© Амурский государственный университет, 2017
© Кафедра химии и естествознания, 2017
© Т.А. Родина, составление

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Краткое содержание теоретического материала.....	5
Методические рекомендации к лабораторным занятиям.....	16
Методические указания для самостоятельной работы.....	18

ВВЕДЕНИЕ

Целью изучения дисциплины является формирование у студентов теоретических представлений о методах химического и физико-химического анализа, практических умений и навыков проведения аналитических операций и работы с аналитическими приборами и оборудованием.

Задачами дисциплины являются:

- изучение теоретических основ аналитических методов исследования;
- углубление и систематизация химических знаний;
- овладение методами и приемами решения конкретных задач из различных областей химии;
- формирование навыков проведения химического эксперимента;
- формирование способности применять теоретические химические знания и практические умения и навыки для решения прикладных задач учебной и профессиональной деятельности.

В процессе освоения дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие общекультурные и профессиональные компетенции:

способностью проводить измерения уровней опасностей в среде обитания, обрабатывать полученные результаты, составлять прогнозы возможного развития ситуации (ПК-15);

способностью принимать участие в научно-исследовательских разработках по профилю подготовки: систематизировать информацию по теме исследований, принимать участие в экспериментах, обрабатывать полученные данные (ПК-20);

способностью применять на практике навыки проведения и описания исследований, в том числе экспериментальных (ПК-23).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать: свойства основных видов химических веществ и классов химических объектов; принципы и характеристики важнейших методов химического анализа (ПК-15, ПК-20, ПК-23).

уметь: проводить расчеты концентрации растворов, использовать основные приемы обработки экспериментальных данных; проводить очистку веществ в лабораторных условиях, определять основные физические характеристики веществ (ПК-15, ПК-20, ПК-23).

владеть: навыками экспериментальной работы с химическими реактивами, посудой и оборудованием; методами экспериментального исследования в химии (планирование, постановка и обработка эксперимента); методами выделения и очистки веществ, определения их состава (ПК-15, ПК-20, ПК-23).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Предмет, задачи и методы анализа. Оборудование и посуда для химического анализа

Вопросы для изучения:

1. Количественный и качественный анализ. Аналитический сигнал.
2. Проба. Отбор проб. Холостая проба.
3. Важнейшие характеристики реакций и методов анализа.
4. Классификация методов анализа.

Любое вещество состоит из одного или нескольких химических элементов. Установление качественного и количественного состава вещества является задачей химического анализа, который, в зависимости от поставленных целей и используемых методов, делится на качественный и количественный анализ.

Анализ веществ проводят с помощью химических, физических и физико-химических методов. При обнаружении какого-либо компонента фиксируют появление аналитического сигнала – образование осадка, изменение окраски, появление линии в спектре и т.д. В химических методах обнаружения аналитический сигнал наблюдают, главным образом, визуально. Используемые химические реакции, сопровождающиеся внешним эффектом, называют аналитическими реакциями. Химические реакции проводятся двумя способами: «мокрым путем» – в растворе, и «сухим путем» – с твердыми веществами без использования растворителей. При анализе физическими методами свойства вещества изучают с помощью приборов. К физическим методам относят спектральный, люминесцентный, рентгеноструктурный анализ. С помощью физико-химических методов изучают явления, происходящие при химических реакциях. В настоящее время в химическом анализе все большее значение приобретают методы компьютерного и математического моделирования.

Для анализа используется часть исследуемого материала, химический состав которого аналогичен составу всего вещества, называемую пробой. По размеру пробы, используемой для анализа, различают макро-, полумикро-, микро-, субмикро- и ультрамикроанализ.

Аналитическая проба – это отобранная для анализа часть объекта исследования. Она должна быть представительной, т. е. достаточно точно отражать хим. состав объекта. Задача обеспечения представительности не возникает лишь в том случае, если объект вполне однороден по хим. составу. Этому условию практически могут удовлетворять лишь хорошо перемешанные газы или жидкости. Обычно объекты весьма разнообразны и сильно различаются по своей однородности. Это горные породы, рудные и нерудные полезные ископаемые, продукты и отходы металлургического и химического производств, почвы, природные воды, технологические растворы, воздух и другие газы, продукты питания, лекарственные препараты и др.

Для получения аналитической пробы осуществляют комплекс операций, предусмотренных методиками анализа. Пробоотбор – начальная, наиболее трудоемкая, сложная и ответственная стадия, включающая отбор точечных (разовых, частичных, частных, единичных, первичных) проб из партии материала и их смешивание для получения объединенной (генеральной, начальной, общей, суммарной) пробы. С пробоотбором могут быть связаны наиболее серьезные погрешности опробования. Пробоподготовка – заключительная часть опробования, в ходе которой объединенную пробу дробят до определенного максимального размера кусков (зерен), перемешивают для повышения однородности и подвергают сокращению (делению), отбрасывая определенную часть материала. За один или несколько циклов дробления, перемешивания и сокращения получают лабораторную пробу, предназначенную для проведения всех видов лабораторных испытаний, и контрольную пробу, которую хранят на случай проведения повторных или контрольных испытаний. Сокращением лабораторной пробы получают собственно пробу для анализа, достаточную для выполнения определений всех контролируемых компонентов. Незначительная неточность, допущенная при отборе и подготовке пробы, может существенно исказить представления о химическом составе материала.

Способы отбора пробы и ее величина определяются как физическими, так и химическими свойствами анализируемого объекта. Соответственно при отборе проб надо учитывать: агрегатное состояние анализируемого объекта, неоднородность и размер частиц, с которых начинается

неоднородность и требуемую точность оценки содержания компонента во всей массе анализируемого объекта.

Анализ пробы – это комплекс операций с пробой и продуктами ее превращений, заканчивающийся получением n результатов $C_1, C_2, \dots, C_n$ параллельных определений компонента (обычно $n = 3$) и их усреднением для получения результата анализа $C_{ан}$.

В целом при проведении того или иного анализа следует руководствоваться ГОСТами и другими документами, которые строго регламентируют как особенности методики отбора проб, так и методики проведения анализа.

Важными характеристиками реакций и методов анализа являются предел обнаружения, чувствительность и избирательность.

Предел обнаружения – минимальная концентрация или минимальное количество вещества, которое можно обнаружить данным методом с допустимой погрешностью. На практике пользуются пределом обнаружения при доверительной вероятности $P = 0,95$. Это наименьшее содержание обнаруживаемого вещества, при котором сигнал еще настолько интенсивен, что его можно считать надежным. Предел обнаружения зависит от условий протекания процесса: pH среды, концентрации реагентов, температуры, времени наблюдения и др.

Чувствительность – изменение сигнала при изменении концентрации или количества вещества.

Избирательность – способность обнаружить в данных условиях только одно вещество или небольшое количество веществ. По избирательности реагенты разделяют на три группы:

- Специфические – реагенты, взаимодействующие с одним веществом, например, крахмал для обнаружения йода.
- Избирательные – реагенты, взаимодействующие с небольшим числом ионов, например, H_2O_2 в кислой среде для обнаружения $Ti(IV)$, $V(V)$, $Mo(VI)$.
- Групповые – реагенты, служащие для отделения одной группы ионов от другой, например, H_2SO_4 для обнаружения Ca , Sr , Ba .

Анализ сложных смесей осуществляется систематическим или дробным методом. При систематическом ходе анализа соблюдают определенную последовательность выполнения аналитических операций.

Независимо от используемых методов к анализу предъявляют следующие требования:

1. Правильность результатов анализа – получение результатов, близких к достоверным.
2. Воспроизводимость анализа – получение одинаковых или близких результатов при повторных определениях.
3. Экспрессность – быстрота выполнения анализа.
4. Реактив не должен вступать во взаимодействие с другими присутствующими в смеси веществами. Посторонние вещества не должны искажать результатов анализа.
5. Чувствительность – реактивы должны обнаруживать малые количества определяемой составной части.

Из большого числа реакций для аналитических целей служат только некоторые, удовлетворяющие следующим требованиям:

- Наличие легко наблюдаемого внешнего эффекта.
- Реакция должна протекать достаточно быстро.
- Реакция должна быть практически необратимой.
- Реакции должны обладать высокой чувствительностью.
- Реакции должны обладать высокой избирательностью.

Вещества, используемые для проведения аналитических реакций, называют аналитическими реагентами. Используемые реактивы должны правильно приготавливаться и храниться. По степени чистоты выделяют следующие категории реактивов: особой чистоты (осч); химически чистые (хч); чистые для анализа (чда); чистые (ч); технические (техн.). Чистота реактивов определяется ГОСТами и техническими условиями.

Вычисления являются заключительной стадией каждого анализа. Любые данные, получаемые с помощью измерений всегда приближенны, поэтому запись результатов измерений и

вычислений необходимо производить с определенной точностью, при которой последняя цифра результата недостоверна.

Полученный в ходе анализа результат, как правило, не совпадает с действительным содержанием определяемого вещества. Это связано с тем, что измерения имеют ту или иную погрешность. Часть допущенных погрешностей может быть учтена внесением поправок. Если погрешность не учитывается, получается искаженный результат – ошибка. Все ошибки делят на три вида: грубые ошибки или промахи, систематические ошибки и случайные ошибки.

Промахи – это грубые ошибки, вызванные нарушением условий эксперимента или небрежностью в работе. Грубые ошибки можно обнаружить по резкому отклонению полученных результатов от ожидаемых или от повторно выполненных анализов. Грубые ошибки можно выявить и исключить.

Систематические ошибки одинаковы по знаку и обусловлены постоянно действующими факторами, которые можно учесть или исключить. Наличие систематической ошибки нетрудно проверить, пользуясь стандартными или эталонными образцами. Этот прием позволяет находить поправки, с помощью которых можно получить правильные результаты.

Случайные ошибки – это непредсказуемые по величине и знаку отклонения результатов измерений от среднего результата. В их появлении нет никакой закономерности. Случайные ошибки нельзя устранить введением поправок. Их можно уменьшить более тщательной работой, увеличением числа параллельных определений. Обработка результатов анализа методами математической статистики позволяет уменьшить влияние случайных ошибок на окончательный результат.

Ошибка может быть выражена абсолютным и относительным значением.

Абсолютная ошибка (Δx) представляет собой разность между истинным или наиболее достоверным значением определяемой величины и полученным результатом: $\Delta x = A_{\text{ист.}} - A_{\text{найд.}}$

Относительная ошибка ($\Delta x_{\text{отн.}}$) представляет собой отношение абсолютной ошибки к истинному или среднему значению. Чаще всего ее выражают в процентах. $\Delta x_{\text{отн.}} = \Delta x \cdot 100 / A_{\text{ист.}}$

Относительная ошибка дает более наглядное представление о точности измерений, чем абсолютная. Например, при одинаковой абсолютной ошибке в 0,01 см точность измерения отрезка в 100 см выше, чем отрезка в 10 см, так как относительные ошибки составляют соответственно 0,01% и 0,1%.

Определение погрешностей основано на использовании аппарата теории вероятности и математической статистики.

Все методы анализа можно разделить на химические, физико-химические и физические.

В химических методах анализа используют донорно-акцепторные реакции с переносом протона, электронной пары, а также процессы осаждения-растворения и экстракции. Аналитический сигнал фиксируют визуально.

В физико-химические методы анализа включают электрохимические, спектроскопические (оптические), люминесцентные, кинетические, термометрические. Аналитический сигнал в этих методах измеряют, он возникает с участием внешних электронов и функционально связан с природой и концентрацией вещества.

Физические методы включают спектроскопические (не оптические), ядерно-физические и радиохимические. В этих методах возникновение аналитического сигнала связано с участием внутренних электронов или ядер атомов.

Гравиметрический анализ

Вопросы для изучения:

1. Сущность гравиметрического анализа.
2. Теория осаждения.
3. Основные этапы гравиметрического анализа.

В гравиметрическом анализе используют прямое измерение массы вещества при помощи взвешивания. Определяемую составную часть выделяют либо в чистом виде, либо в виде соединения. Основным измерительным прибором являются аналитические весы.

Гравиметрический анализ основан на законе сохранения массы вещества, законе постоянства состава и законе эквивалентов.

Гравиметрический метод обеспечивает высокую точность, не требует сложной аппаратуры и доступен для любой химической лаборатории, но определения требуют больших затрат времени.

Гравиметрические определения делят на три вида:

1. Определяемую составную часть выделяют и взвешивают.
2. Определяемую составную часть удаляют, а остаток взвешивают.
3. Определяемую составную часть превращают в химическое соединение – гравиметрическую форму – и взвешивают.

В ходе гравиметрического анализа определяемое вещество переводят в малорастворимое соединение (используется метод осаждения). Осадок выделяют, высушивают, прокаливают и взвешивают. В ходе определения можно выделить две формы вещества: осаждаемую и гравиметрическую. Соединение, в виде которого определяемый компонент осаждается из раствора, называется осаждаемой формой. Соединение, в виде которого происходит взвешивание, называется гравиметрической формой.

Гравиметрические методы, связанные с получением осадков, включают следующие операции: отбор средней пробы; расчет навески; взятие навески; растворение навески; осаждение; фильтрование и промывание осадка; высушивание, озоление и прокаливание осадка; расчет результатов анализа.

Титриметрический анализ

Вопросы для изучения:

1. Сущность титриметрического анализа.
2. Кислотно-основное титрование. Комплексометрическое титрование. Окислительно-восстановительное титрование.
3. Теории индикаторов.

Титриметрический анализ является методом количественного анализа, основанный на точном измерении объемов реагирующих веществ. **Титрование** – это процесс приливания раствора с известной концентрацией к раствору с неизвестной концентрацией для установления точно эквивалентного количества. Для проведения титриметрических определений необходимы растворы с точно известной концентрацией, которые называют стандартными или титрованными. Приготовить стандартный раствор можно тремя способами:

- по точной навеске, если вещество устойчиво, хорошо растворимо, является химически чистым и его состав строго соответствует определенной формуле;
- по приближенной навеске с последующей стандартизацией раствора по первичному стандарту;
- из фиксанала.

В зависимости от типа используемых химических реакций различают следующие методы титриметрического анализа:

- методы кислотно-основного титрования, основанные на реакции нейтрализации;
- методы окисления-восстановления, основанные на взаимодействии между окислителем и восстановителем;
- методы комплексообразования, основанные на образовании малодиссоциирующих комплексных ионов или молекул;
- методы осаждения, основанные на образовании малорастворимых соединений;

Важнейшим моментом в титриметрическом анализе является установление точки эквивалентности. В этой точке концентрации реагирующих веществ эквивалентны. Для установления точки эквивалентности используют разные способы индикации: самоиндикация; специальные индикаторы; физико-химические способы. В кислотно-основном титровании используют индикаторы – химические соединения, изменяющие окраску в зависимости от среды раствора (от величины pH). Наиболее известными среди них являются лакмус, фенолфталеин, метиловый оранжевый. Выбор индикатора для данного определения осуществляется на основании кривых титрования. Кривая кислотно-основного титрования показывает зависимость pH раствора

от степени его оттитрованности и характеризуется скачком титрования и точкой эквивалентности. Индикатор может быть применим в том случае, если интервал значений pH, в котором меняется окраска индикатора, лежит в области скачка титрования.

Методы комплексонометрии основаны на реакциях комплексообразования с участием комплексонов. Комплексоны – это производные аминополикарбоновых кислот, способные образовывать устойчивые комплексные соединения с ионами Ca^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} и другими катионами. Наиболее частое применение находит двунариевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА, комплексон III, трилон Б). С ионами металлов ЭДТА образует внутрикомплексные соли.

Для фиксирования точки эквивалентности в качестве индикаторов используют металлохромные индикаторы. Наиболее часто применяют мурексид и хромоген черный (эриохром черный Т). Мурексид в основном используют для определения ионов кальция, меди и никеля. Титрование проводят в щелочной среде при $\text{pH} \approx 12$. Эриохром черный в щелочной среде ($\text{pH} \approx 8-10$) образует с ионами металлов комплексы винно-красного цвета.

Суммарное содержание солей кальция и магния в воде определяет ее общую жесткость. Она делится на карбонатную и некарбонатную. Первая обусловлена присутствием гидрокарбонатов кальция и магния, которые при кипячении разлагаются. Поэтому карбонатную жесткость называют временной жесткостью. Жесткость, остающаяся после кипячения, называется постоянной. Она обусловлена сульфатами или хлоридами кальция и магния. Сумма временной и постоянной жесткости составляет общую жесткость. Величина общей жесткости варьирует в зависимости от типа пород и почв, слагающих бассейн водосбора, а также от сезона года. При жесткости до 4 мг-экв/л вода считается мягкой; 4 – 8 мг-экв/л – средней жесткости; 8 – 12 мг-экв/л – жесткой; более 12 мг-экв/л – очень жесткой. Величина общей жесткости в источниках централизованного водоснабжения допускается до 7 мг-экв/л, в отдельных случаях по согласованию с санитарно-эпидемиологическими службами – до 10 мг-экв/л.

Комплексонометрическое определение жесткости основано на образовании прочного комплексного соединения ионов кальция и магния с ЭДТА.

Методы разделения веществ

Вопросы для изучения:

1. Экстракция.
2. Хроматография – метод разделения смеси веществ.
3. Классификация хроматографических методов анализа.
4. Хроматографические характеристики.

Экстракция – это процесс разделения и концентрирования веществ, основанный на распределении между двумя несмешивающимися фазами, водной и органической. Органическое вещество, ответственное за образование экстрагируемого соединения, называется **экстрагентом**. Для улучшения физических и экстракционных свойств экстрагента добавляют разбавитель – инертный органический растворитель. Органическая фаза, содержащая экстрагируемое соединение, и отделенная от водной фазы, называется **экстрактом**. Процесс экстракции основан на законе распределения и характеризуется коэффициентом распределения. Коэффициент распределения, D – это отношение общей концентрации вещества в органической фазе к его общей концентрации в водной фазе.

$$D = C_o / C_v$$

Чем больше коэффициент распределения отличается от единицы, тем эффективнее экстракция.

Преимуществами экстракции являются универсальность, простота и экспрессность.

Для проведения экстракции используют делительные воронки.

Хроматография – это метод разделения и анализа смесей веществ, основанный на различном распределении их между двумя несмешивающимися фазами – подвижной и неподвижной (ПФ и НФ). В качестве неподвижной фазы используют твердый сорбент или пленку жидкости, нанесенную на носитель. Подвижной фазой может быть газ или жидкость. Хроматографические методы классифицируют по различным признакам.

1. По агрегатному состоянию: газовая, жидкостная, газо-жидкостная.

2. По механизму разделения: комплексообразовательная, адсорбционно-распределительная, осадочная, окислительно-восстановительная, ионообменная.

3. По форме проведения: колоночная, капиллярная, плоскостная (бумажная, тонкослойная).

Коэффициент емкости – показывает насколько сильно вещество А удерживается сорбентом.

Коэффициент распределения показывает равновесия, устанавливающиеся при распределении вещества А между неподвижной и подвижной фазами.

Коэффициент разделения выражает степень разделения веществ А и В.

Хроматограмма характеризуется рядом пиков, отражающих как количество компонентов и степень их разделения, так и концентрацию каждого компонента. Каждый пик характеризуется временем удерживания (или удерживаемым объемом), шириной, высотой, формой.

Подвижной фазой в газовой хроматографии (ГХ) является газ или пар. В зависимости от состояния НФ ГХ подразделяется на *газоадсорбционную*, когда НФ является твердый адсорбент, и *газожидкостную*, когда НФ является жидкость, а точнее пленка жидкости на поверхности частиц твердого сорбента. ПФ фазой в ГХ, как правило, является нейтральный или инертный газ или смесь газов (гелий, аргон, азот, водород). НФ выступают различные сорбенты с очень большой удельной поверхностью (активированный уголь, цеолиты, кизельгур, графитовая сажа и др.). ГХ по технике выполнения относится к колоночной хроматографии.

Жидкостно-жидкостная хроматография (ЖЖХ) по сути близка к газожидкостной хроматографии. На твердый носитель также наносится пленка жидкой фазы и через колонку, наполненную таким сорбентом, пропускают жидкий раствор. Этот вид хроматографии называют жидкостно-жидкостная распределительная. Жидкостно-жидкостная хроматография может проводиться *в колонке* (колоночный вариант) и *на бумаге* (бумажная хроматография).

В распределительной хроматографии используют органический растворитель (или смесь растворителей), не смешивающийся с неподвижной фазой. НФ обычно служит вода, адсорбированная на твердом носителе. В качестве носителей используют силикагель, целлюлозу, крахмал и др. вещества, хорошо удерживающие воду на поверхности.

Основные виды распределительной хроматографии – бумажная и тонкослойная. В бумажной хроматографии используют в качестве НФ пленку жидкости, нанесенную на твердый носитель (хроматографическую бумагу). Различают восходящую, нисходящую и радиальную бумажную хроматографию. В свою очередь она может быть одномерной и двумерной. Положение компонентов на бумажной хроматограмме определяется с помощью эмпирического параметра R_f и соответствующих расчетов, а также процедуры «проявки» соответствующих ионов с помощью реагентов.

В колоночной ЖЖ-хроматографии разделение смеси основывается на различии коэффициентов распределения между несмешивающимися растворителями. Эффективность колонки связана с вязкостью, коэффициентом диффузии и другими физическими свойствами жидкостей. Носитель НФ должен обладать достаточно развитой поверхностью, быть инертным, прочно удерживать на поверхности жидкую фазу и не растворяться в применяемых растворителях.

Ионообменная хроматография (ИОХ) – это один из видов колоночной хроматографии. ИОХ основана на ионном обмене между ионообменниками – катионитами и анионитами (неподвижная фаза), находящимися в колонке, и ионами исследуемой смеси веществ, вводимой в колонку. В качестве ионитов в ионообменной хроматографии используются синтетические полимерные вещества, называемые ионообменными смолами. Они состоят из матрицы (собственно полимерной молекулы) и активных групп, содержащих подвижные ионы.

Оптические методы анализа

Вопросы для изучения:

1. Сущность спектрального анализа.
2. Классификация СМА.
3. Спектры поглощения, излучения.

Спектральные методы анализа основаны на взаимодействии электромагнитного излучения с веществом. Это взаимодействие сопровождается явлениями, из которых наиболее важны испускание, поглощение и рассеяние излучения. Возникающие сигналы несут качественную и

количественную информацию о веществе. Качественную информацию несет частота сигнала (интенсивное свойство), связанная с природой вещества, количественную – интенсивность сигнала (экстенсивное свойство), зависящая от его количества.

Один атом за один акт поглощает или испускает только один фотон с определенной энергией (частотой). Вещество состоит из множества одинаковых атомов, способных переходить на разные энергетические уровни, испуская или поглощая фотоны разных частот. Совокупность всех фотонов одной и той же частоты составляет **спектральную линию**. Совокупность всех спектральных линий, принадлежащих данной частице, составляет ее **спектр**. Если спектр обусловлен энергетическим переходом из состояния с меньшей энергией в состояние с большей энергией, то спектр называется спектром поглощения (абсорбционным), а при переходе из состояния с большей энергией в состояние с меньшей энергией – спектром испускания. Спектры, испускаемые термически возбужденными частицами, называются **эмиссионными**.

Частота испускаемого или поглощаемого излучения определяется разностью энергии между электронными состояниями ΔE : $\nu = \Delta E / h$.

Методы анализа, основанные на изменениях энергетического состояния атомов веществ, входят в группу **атомно-спектроскопических методов**, различающихся по способу получения и регистрации сигнала.

- Оптические методы основаны на использовании энергетических переходов внешних (валентных) электронов. Общим для них является необходимость предварительной атомизации (разложение на атомы) вещества. К ним относят атомно-эмиссионную, атомно-флуоресцентную и атомно-абсорбционную спектроскопию.

- Рентгеновские методы основаны на энергетических переходах внутренних электронов атомов. В зависимости от способа получения и регистрации сигнала различают рентгеноэмиссионную, рентгеноабсорбционную и рентгенофлуоресцентную спектроскопию. Разновидности этих методов – оже-спектроскопию, рентгеновский электронно-зондовый анализ, электронную спектроскопию – используют в основном для исследования строения веществ. Рентгеновские методы не требуют атомизации вещества и позволяют исследовать твёрдые пробы без предварительной подготовки.

- Ядерные методы основаны на возбуждении ядер атомов.

По происхождению аналитического сигнала выделяют несколько молекулярно-спектроскопических методов: абсорбционную молекулярную, инфракрасную, люминесцентную, магнитную резонансную, фотоакустическую, рентгеновскую спектроскопию.

Спектральные сигналы наблюдают и регистрируют (записывают, фотографируют, измеряют и т.д.) с помощью спектральных приборов.

Регистрация сигналов в ультрафиолетовой ($\lambda = 100 - 400$ нм) и видимой ($\lambda = 400-750$ нм) части спектра осуществляется фотометрическими методами, которые в зависимости от типа используемого прибора делятся на спектрофотометрический и фотоэлектроколориметрический.

Фотометрический анализ основан на переведении определяемого компонента в окрашенное соединение и измерении оптической плотности, или светопоглощения, полученного раствора. Его измеряют путем сравнения интенсивностей света внешнего источника, падающего на образец и прошедшего сквозь него. Чтобы исключить влияние светорассеяния, фотометрируемый раствор должен быть прозрачным. В простейшем случае им является чистый растворитель или раствор контрольного опыта.

Интенсивность окраски раствора находится в прямой зависимости от концентрации растворенного вещества и от толщины оптического слоя. Эта зависимость выражается основным законом колориметрии – законом Бугера-Ламберта-Бера: растворы одного и того же вещества при одинаковой концентрации этого вещества и толщине слоя раствора поглощают равное количество световой энергии.

Интенсивность окраски раствора можно охарактеризовать как отношение интенсивности I_0 падающего света к интенсивности I света, прошедшего через раствор. Уменьшение интенсивности света, прошедшего через раствор, характеризуется коэффициентом пропускания (или просто

пропусканием): $T = I/I_0$. Взятый с обратным знаком десятичный логарифм пропускания называется оптической плотностью(A):

$$-lgT = -lgI/I_0 = lg I_0/I = A.$$

Зависимость величины оптической плотности от концентрации раствора и толщины оптического слоя определяется математическим выражением закона Бугера-Ламберта-Бера: $A = lgI_0/I = \varepsilon cl$, где ε – молярный коэффициент поглощения, c – молярная концентрация вещества, l – толщина слоя раствора, см. Молярный коэффициент поглощения равен оптической плотности раствора с концентрацией 1 моль/л и толщиной оптического слоя 1 см.

Графически зависимость оптической плотности раствора от его концентрации выражается прямой, называемой градуировочным графиком.

Измерение оптической плотности абсорбционными приборами основано на сравнении сигнала от исследуемого раствора и раствора сравнения, светопоглощение которого принимается за нуль.

В зависимости от способа измерения различают одно- и двухлучевые приборы, от способа монохроматизации – фотоэлектроколориметры и спектрофотометры, от способа регистрации – визуальные, регистрирующие и нерегистрирующие.

Колориметрические методы применяют для определения малых количеств веществ, при решении проблем технологического контроля, в санитарно-гигиеническом анализе, в анализе воздуха, воды, почвы.

Спектры испускания нетермически возбужденных частиц (квантами света, электронами) называются спектрами **люминесценции**. Последние разделяют на спектры флуоресценции и фосфоресценции. Быстрое спонтанное испускание фотонов возбужденной частицей (без изменения спина электронов) называется **флуоресценцией**, а замедленное (с изменением спина электронов) – **фосфоресценцией**.

В зависимости от способа возбуждения частиц различают виды люминесценции: фотолюминесценция, хемилюминесценция, биолуминес-ценция, рентгенолюминесценция, электролюминесценция.

Спектр поглощения получают, помещая исследуемое вещество в поле электромагнитного излучения (например, на пути светового потока), а для получения спектра испускания предварительно переводят атомы в возбужденное состояние, которое достигается за счет подведения какого-либо вида энергии (тепловой, химической, электрического разряда, электромагнитной и др.). После возбуждения атомы возвращаются (через $10^{-9} - 10^{-7}$ с) в основное состояние, испуская фотоны либо теплоту (в последнем случае переход будет безизлучательным).

В практике люминесцентных методов значительное место занимает анализ обнаружения, например, по люминесценции фосфорсодержащих и др. веществ обнаруживают ИК, УФ, рентгеновское и γ -излучение, регистрируют потоки протонов, нейтронов, электронов и альфа-частиц. С помощью люминесценции проводят диагностику различных заболеваний (рак, малярия и др.), методы люминесценции находят применение в фармакологии и криминалистике. В оптико-механической промышленности метод используют для определения различных сортов стекла, в резиновой – для контроля состава шихты, в бумажной – для установления качества целлюлозы, в алмазодобывающей – для отбора алмазов. Находит люминесценция большое применение в анализе лантаноидов, соединений урана и других областях химии и химической технологии.

Молекулярно-спектроскопические методы анализа основаны на регистрации энергетических состояний молекулы, которые сложнее, чем у атома. Кроме движения электронов в атомах происходят и колебательные движения самих атомов, и вращение молекулы как целого. Поэтому в любом стационарном состоянии энергия молекулы складывается из электронной, колебательной и вращательной энергий: $E = E_{эл} + E_{кол} + E_{вр}$

Наибольший вклад в полную энергию вносит энергия электронов, наименьший – энергия вращения молекулы: $E_{эл} > E_{кол} > E_{вр}$.

Переходы между энергетическими уровнями с изменением главного квантового числа являются электронными, между колебательными уровнями – колебательными, между

вращательными – вращательными (соответственно спектры называются электронными, колебательными и вращательными).

Вращение молекул проявляется у веществ лишь в газообразном состоянии, в конденсированном состоянии (жидком и твердом) вращение затруднено.

Различают несколько типов колебаний в многоатомной молекуле: валентные (симметричные и антисимметричные) и деформационные различных видов. Необходимое условие колебательного перехода – изменение дипольного момента молекулы при колебаниях атомов.

Каждый тип колебаний характеризуется определенной энергией возбуждения. Валентные колебания отвечают более высоким энергиям, чем деформационные, и, следовательно, спектральные полосы лежат в более коротковолновой области. Ориентировочно выделяют четыре ИК-спектральных области. На положение полос в спектре могут оказывать влияние условия эксперимента (агрегатное состояние, растворитель и др.) и сама регистрация спектра.

ИК-спектроскопия остается непревзойденным методом идентификации и исследования строения органических и некоторых неорганических соединений. По ИК-спектрам можно судить о составе сложных смесей органических веществ, определять количественное содержание веществ.

Рефрактометрия

Вопросы для изучения:

1. Определение рефрактометрии и области применения.
2. Абсолютный и относительный показатели преломления.
3. Дисперсия света, зависимость показателя преломления от плотности.

Исследование преломления света при прохождении луча через границу раздела прозрачных однородных сред – называется **рефрактометрией**. Луч света, проходя из одной прозрачной среды в другую, падая наклонно к поверхности раздела фаз, меняет свое направление, т.е. преломляется. Свет обладает наибольшей скоростью в вакууме. При прохождении света через какую-либо среду, его скорость уменьшается вследствие взаимодействия с частицами вещества. Среда является оптически более плотной, если скорость распространения в ней меньше. При переходе луча из среды менее оптически плотной в среду более оптически плотную угол падения луча больше угла преломления.

Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления называется **показателем преломления**: $n = \sin \alpha / \sin \beta$. Если свет переходит в данную среду из вакуума, то показатель преломления называется абсолютным (N). Абсолютным показателем преломления для данного вещества называется отношение скоростей света в вакууме и в данной среде. Для воздуха абсолютный показатель преломления равен: $N_{\text{в}} = C_{\text{о(вак.)}} / C_{\text{в(возд.)}} = 1,00027$. Практически показатель преломления вещества относительно воздуха можно считать равным его абсолютному показателю. Относительный показатель преломления для двух сред $n_{\text{отн.}} = n_2 / n_1$, где n_1 – показатель преломления первой среды по отношению к воздуху; n_2 – показатель преломления второй среды по отношению к воздуху. Это соотношение позволяет вычислить относительные показатели преломления для различных комбинаций сред.

Показатель преломления n является характерной величиной для каждого индивидуального вещества и зависит от длины волны падающего света, температуры, давления и концентрации раствора.

Зависимость показателя преломления от длины волны падающего света называется дифракционной дисперсией. Показатель преломления также связан с плотностью вещества, причем изменяются они симбатно, т.е. с ростом плотности происходит увеличение показателя преломления. Определением показателя преломления жидких и твердых тел проводится с помощью специальных приборов – рефрактометров, в устройстве которых предусмотрена мерная шкала, находящаяся в поле зрения окуляра, по которой определяют показатель преломления n .

Определение концентрации вещества с помощью рефрактометра основано на построении градуировочного графика по серии стандартных растворов. Если же шкала рефрактометра градуирована не только в величинах показателя преломления, но и в массовых долях растворенного вещества (рефрактометры-сахариметры), то определение концентрации сахара осуществляется по шкале прибора без построения калибровочного графика.

Электрохимические методы анализа

Вопросы для изучения:

1. Сущность электрохимических методов анализа.
2. Классификация ЭХМА.
3. Электрохимическая ячейка. Индикаторные и стандартные электроды.
4. Направления применения ЭХМА.

В основе электрохимических методов анализа лежат процессы, протекающие на электродах или в межэлектродном пространстве. При выполнении анализа используют либо функциональную зависимость тока, потенциала, электрической проводимости (сопротивления) от концентрации анализируемого раствора, либо измеряют эти параметры с целью установления конечной точки титрования определяемого вещества подходящим титрантом.

Несмотря на то, что число параметров, характеризующих электрические свойства растворов, ограничено, известно много различных электрохимических методов:

- потенциометрия (частный случай рН-метрии);
- вольтамперометрия (полярография);
- кулонометрия;
- кондуктометрия;
- электрогравиметрия.

В электрохимических методах используют уникальную способность окислительно-восстановительных реакций протекать не только при непосредственном контакте, но и при их пространственном разделении.

Кондуктометрия является весьма распространённым физико-химическим аналитическим методом, который применяется при заводском контроле (измерение соледержания котельных вод, регенерация ионообменных смол, контроль процессов очистки воды), в научно-исследовательской работе (определение константы диссоциации, коэффициента растворимости, константы равновесия химических реакций) и других областях науки и техники.

Кондуктометрический метод анализа основан на изучении зависимости между электрической проводимостью раствора и концентрацией ионов в этом растворе. Электрическая проводимость – электропроводность раствора электролита – является результатом диссоциации растворённого вещества и миграции ионов под действием внешнего источника напряжения. В поле электрического тока движущиеся в растворе ионы испытывают тормозящее действие со стороны молекул растворителя и окружающих противоположно заряженных ионов. Это так называемый релаксационный и электрофоретический эффекты. Результатом такого тормозящего действия является сопротивление раствора прохождению электрического тока. Электропроводность раствора определяется, в основном, числом, скоростью (подвижностью) мигрирующих ионов, количеством переносимых ими зарядов и зависит от температуры и природы растворителя.

Растворы электролитов, являясь проводниками второго рода, подчиняются закону Ома: $I=U/R$.

Чтобы измерить сопротивление раствора, в него погружают электроды. По аналогии с проводниками первого рода сопротивление раствора прямопропорционально расстоянию между электродами d и обратнопропорционально площади их поверхности S : $R= \rho \cdot d/S$.

Коэффициент пропорциональности ρ – удельное сопротивление ($\text{Ом} \cdot \text{см}$). При $d = 1\text{см}$ и $S = 1\text{см}^2$ $R = \rho$, следовательно, удельное сопротивление равно сопротивлению 1см^3 раствора.

Величину, обратную удельному сопротивлению, называют **удельной электрической проводимостью** – κ . Удельная электропроводность раствора ($\text{См} \cdot \text{см}^{-1}$ или Ом^{-1}) – это электропроводность 1см^3 раствора, находящегося между электродами площадью 1см^2 , расстояние между которыми равно 1см . Из выше представленных уравнений следует, что она численно равна току, проходящему через слой раствора с поперечным сечением, равным единице, под действием градиента потенциала 1В на единицу длины.

Кроме этого различают **эквивалентную λ** электропроводность раствора или подвижность, которая характеризует электрическую проводимость разбавленных растворов, и зависит от

суммарного числа ионов в растворе (то есть от концентрации), числа элементарных зарядов, переносимых каждым ионом (то есть от заряда иона), и от скорости движения одинаково заряженных ионов к катоду или аноду под действием электрического поля.

Электропроводность раствора (или его сопротивление) измеряют в электрохимической ячейке, представляющей собой стеклянный сосуд, с смонтированными электродами (для большей площади электродов их платинируют, то есть покрывают платиновой чернью). Конструкция ячейки для кондуктометрических измерений должна соответствовать интервалу измеряемых сопротивлений и константа ячейки при этих измерениях должна оставаться постоянной. Константа ячейки или постоянная ячейки (Θ , см⁻¹) определяется площадью электродов (S , см²) и расстоянием между ними (d , см): $\Theta = d/S$

Так как геометрическое определение d и S связано с трудностями, поэтому отношение d/S , называемое постоянной (константой) ячейки Θ , определяют с помощью растворов с известной удельной проводимостью и рассчитывается по формуле:

$$\Theta = \alpha \cdot R_p \text{ или } \Theta = \alpha / W, \text{ т.к. } R_p = 1/W,$$

где R_p – активное сопротивление, а W – измеряемая проводимость (измеряется по шкале измерительного прибора).

Метод кондуктометрии может быть реализован в варианте прямой кондуктометрии или кондуктометрического титрования.

Потенциометрические методы основаны на измерении электродвижущих сил (ЭДС): Э.Д.С. = $E_1 - E_2$, где E_1 и E_2 – потенциалы окислителя и восстановителя.

В основе потенциометрических измерений лежит зависимость равновесного потенциала электрода от активности (концентрации) определяемого иона. Потенциал электрода (E) связан с активной концентрацией веществ, участвующих в электродном процессе, уравнением Нернста:

$$E = E^0 + (RT / nF) \cdot \ln a_{Ox} / a_{Red}$$

В потенциометрическом методе измеряют разность потенциалов (напряжение) между индикаторным электродом и электродом сравнения, имеющим постоянный потенциал. Индикаторный электрод должен быстро и необратимо реагировать на изменение концентрации определяемого иона.

Потенциометрические методы анализа подразделяются на прямую потенциометрию (ионометрию) и потенциометрическое титрование. Ионометрия основана на прямом применении уравнения Нернста для нахождения активностей или концентраций участника электродной реакции по экспериментально измеренной ЭДС цепи или потенциалу соответствующего электрода. При потенциометрическом титровании точку эквивалентности определяют по резкому изменению (скачку) потенциала вблизи точки эквивалентности.

Исторически первыми методами прямой потенциометрии были способы определения водородного показателя pH. Появление мембранных ионоселективных электродов привело к возникновению ионометрии (pX-метрии), где $pX = -\lg(a_x)$, a_x – активность компонента X электрохимической реакции. Иногда pH-метрию рассматривают как частный случай ионометрии. Градуировка шкал приборов потенциометров по значениям pX затруднена из-за отсутствия соответствующих стандартов. Поэтому при использовании ионоселективных электродов активности (концентрации) ионов определяют, как правило, с помощью градуировочного графика или методом добавок.

Электрогравиметрический анализ основан на разделении металлов из водных растворов электролизом. Массу выделившегося на электроде металла определяют взвешиванием. В электрогравиметрическом методе хорошо выполняются требования, предъявляемые к осадкам: их практическая нерастворимость, чистота и соответствие определенной формуле, отсутствие процессов соосаждения. Осадок удобен для промывания и взвешивания.

Электроанализ используется для точного определения некоторых металлов: Cu, Zn, Cd, Ni, Pb, так как значительная часть металлов не могут быть выделены путем электролиза или осаждаются медленно. Поэтому применение электролитического осаждения ограничено.

На характер процессов, протекающих при электролизе, влияют природа электролита, его концентрация, природа электродов, pH среды, плотность тока. При пропускании тока через

раствор протекают процессы, вызывающие изменение потенциалов электродов и препятствующие электролизу. Такое явление называют поляризацией. Поляризация может быть химическая, концентрационная, электрохимическая. Для уменьшения поляризации в раствор прибавляют вещества-деполяризаторы, используют перемешивание и нагревание раствора, применяют оптимальную плотность тока.

В электрогравиметрическом анализе электрод, на котором происходит осаждение металла должен иметь возможно большую поверхность и возможно меньшую массу. Чаще всего применяют платиновые сетчатые электроды. Анодом служит платиновая проволока в виде спирали.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ

Приготовление растворов

Цель работы – повторить и закрепить методику расчетов и приготовления растворов заданной концентрации, сформировать навыки работы с химической посудой, оборудованием, весами.

Вопросы для изучения:

1. Какие существуют способы выражения концентраций растворов?
2. Как можно определить концентрацию раствора по его плотности?
3. Каково устройство и особенности использования ареометра?
4. В чем особенности приготовления растворов процентной концентрации?
5. В чем особенности приготовления растворов молярной и эквивалентной концентраций?
6. Каково назначения теххимических и аналитических весов?
7. Способы взвешивания на теххимических и аналитических весах.
8. Какие существуют виды мерной посуды?
9. Каковы особенности приготовления растворов из твердых безводных веществ, кристаллогидратов, концентрированных растворов?

Гравиметрический анализ. Определение содержания бария в хлориде бария

Цель работы – изучить методику проведения гравиметрического определения, сформировать умения по проведению аналитических операций: взятие навески, осаждение, фильтрование, промывание, высушивание и прокаливание осадков.

Вопросы для изучения:

1. В чем сущность гравиметрического анализа?
2. Что такое осаждаемая и гравиметрическая формы?
3. Какие операции используют в гравиметрическом анализе?
4. Какие существуют способы взятия навески?
5. В чем сущность теории осаждения?
6. На какие виды классифицируются осадки и каковы особенности их получения?
7. Как производится выбор осадителя?
8. Какие виды фильтров используют для фильтрования различных осадков?
9. Как проверить полноту осаждения, промывания?
10. Какие процессы протекают при озолении и прокаливании осадка?
11. Что такое соосаждение, окклюзия?
12. Что такое декантация?
13. Каковы достоинства и недостатки гравиметрического метода анализа?

Титриметрический анализ. Определение содержания карбоната натрия в растворе

Цель работы – изучить методику проведения титриметрического анализа, сформировать умения по проведению аналитических операций: приготовление стандартного раствора, стандартизация, титрование, фиксирование точки эквивалентности.

Вопросы для изучения:

1. В чем сущность титриметрического анализа?
2. На какие виды классифицируется титриметрический метод анализа?
3. Какие требования предъявляют к реакциям в титриметрическом анализе?

4. Что такое титрование, титрант, титр?
5. Что такое стандартные растворы? Какими способами их можно приготовить?
6. Что такое точка эквивалентности?
7. Какие методы используют для фиксирования точки эквивалентности?
8. Что такое кривые титрования и для чего они используются?
9. Как подготовить бюретку для титрования?
10. Каковы достоинства и недостатки титриметрического метода?

Титриметрический анализ. Определение содержания кальция, магния и общей жесткости воды

Цель работы – изучить методику проведения титриметрического анализа, сформировать умения по проведению аналитических операций: приготовление стандартного раствора, стандартизация, титрование, фиксирование точки эквивалентности.

Вопросы для изучения:

1. В чем сущность комплексонометрического титрования?
2. Что такое комплексоны?
3. Какие комплексоны применяют в комплексонометрии?
4. Какие индикаторы применяют в комплексонометрии?
5. Что такое жесткость воды? Чем она определяется?
6. Как классифицируется вода по степени жесткости?
7. Какие виды жесткости воды различают?
8. В каких единицах измеряется жесткость воды?
9. Как нормируется величина жесткости воды для питьевого назначения?

Хроматография. Определение меди в растворе сульфата меди методом колоночной ионообменной хроматографии

Цель работы – освоить метод ионообменной колоночной хроматографии и определить концентрацию исследуемого вещества.

Вопросы для изучения:

1. Что такое ионообменная хроматография?
2. Что такое ионообменники, как они классифицируются?
3. В чем сущность и методика проведения колоночной ионообменной хроматографии?

Определение содержания железа в воде фотоэлектроколориметрическим методом

Цель работы – изучить прибор фотоэлектроколориметр (ФЭК); освоить методику определения коэффициента пропускания и оптической плотности на ФЭК, по градуировочному графику научиться определять концентрацию вещества в исследуемых растворах.

Вопросы для изучения:

1. В чем сущность фотометрических методов анализа?
2. В какой области спектра проводятся измерения в спектрофотометрии (фотоэлектроколориметрии)?
3. Как формулируется закон Бугера-Ламберта-Бэра?
4. Какие существуют отклонения от закона Бугера-Ламберта-Бэра?
5. Каков физический смысл молярного коэффициента поглощения?
6. Чем определяется выбор оптического прибора и длины кюветы для измерения оптической плотности раствора?
7. Для чего используются светофильтры в фотоэлектроколориметрии? Как осуществляется выбор светофильтра?
8. Какова зависимость оптической плотности и пропускания от концентрации вещества?
9. Как строится градуировочный график?
10. Как определить концентрацию вещества по градуировочному графику?

Рефрактометрия. Определение концентрации сахарозы в растворе

Цель работы – изучить прибор для определения показателя преломления и концентрации сахара - рефрактометр-сахариметр; научиться определять эти показатели в исследуемых растворах.

Вопросы для изучения:

1. Что такое рефракция, рефрактометрия?
2. Дайте определение коэффициента преломления.
3. Чем отличаются абсолютный и относительный показатели преломления?
4. Какова зависимость показателя преломления от концентрации и плотности вещества, температуры, длины волны света?

Кондуктометрия. Титрование сильной кислоты сильным основанием

Цель работы – изучить прибор кондуктометр и научиться проводить измерение электродной проводимости исследуемых растворов; освоить методику расчета постоянной ячейки и удельной электропроводности; научиться проводить кондуктометрическое титрование.

Вопросы для изучения:

1. В чем сущность кондуктометрического метода анализа?
2. Для чего предназначены кондуктометры?
3. От каких факторов: а) температура; б) концентрация иона; в) природа иона; г) скорость перемешивания раствора зависит подвижность иона в растворе?
4. Что такое электропроводность раствора?
5. Что такое удельная электропроводность раствора?
6. Какая зависимость положена в основу кондуктометрического титрования?
7. Для чего определяется константа электрохимической ячейки в кондуктометрии?
8. Каковы достоинства кондуктометрического титрования?

Потенциометрия. Определение водородного показателя и степени гидролиза солей

Цель работы – изучить прибор потенциометр (рН-метр) и научиться настраивать его по буферным растворам; освоить методику определения водородного показателя и степени гидролиза солей.

Вопросы для изучения:

1. В чем сущность потенциометрического метода анализа?
2. Что такое измерительный электрод и электрод сравнения и каково их устройство?
3. В чём заключается подготовка рН-метра к работе?
4. Какие растворы называются буферными?
5. Что такое водородный и гидроксильный показатели? Как они связаны с концентрацией катионов водорода и гидроксид-ионов?

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Самостоятельная работа является активной учебной деятельностью, направленной на качественное решение задач самообучения, самовоспитания и саморазвития. Самостоятельная работа студентов выполняется без непосредственного участия преподавателя, но по его заданию и в специально отведённое для этого время.

В структуре содержания самостоятельной работы по дисциплине аналитические методы экологического мониторинга можно выделить три основных блока: теоретические основы основных методов исследования, методология выбора анализа, методика применения анализа. Самостоятельная работа студентов включает самостоятельную проработку теоретического материала, работу с литературой, подготовку к лекциям и лабораторным занятиям, составление конспектов, проведение лабораторных испытаний, оформление отчетов по лабораторным занятиям, самостоятельное исследование теоретического материала, не выносимого на лекции или практические занятия, выполнение расчетов, построение графиков, подготовку к зачету.

Условием эффективности самостоятельной работы студентов по дисциплине является ее систематическое выполнение. Все формы СРС, а также методы контроля способствуют многократному повторению материала, что, в свою очередь, позволяет студенту лучше запомнить термины и определения, понять изучаемый материал, разобраться в алгоритме выполнения расчетов и лабораторных работ. Таким образом, СРС как одна из активных форм обучения студентов способствует формированию у них знаний, умений и навыков, направленных на самостоятельное, творческое решение задач, возникающих в практической деятельности.