

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»  
Институт естественных наук  
Кафедра фундаментальной и прикладной химии

**Т.Н. Кропачева**

## **ХИМИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ**

Учебно-методическое пособие



Ижевск  
2023

УДК 543 (075.8)  
ББК 24.439.2я73  
К835

*Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом УдГУ*

**Рецензент:** канд. хим. наук, доцент М.А. Шумилова

**Кропачева Т.Н.**

К835 Химические сенсоры : учеб.-метод. пособие. –  
Ижевск : Удмуртский университет, 2023. – 82 с.

**ISBN 978-5-4312-1086-0**

Пособие предназначено для проведения лабораторных занятий по курсу «Химические сенсоры» со студентами направления подготовки 04.03.01 «Химия». Пособие знакомит студентов с наиболее часто применяемыми в лабораторной и повседневной практике сенсорами и биосенсорами, включая сведения о принципах их работы, конструкции, правилах эксплуатации, методике проведения измерений.

Предлагаемые лабораторные работы демонстрируют конкретное применение химических сенсоров для проведения анализов клинической и экологической направленности.

УДК 543 (075.8)  
ББК 24.439.2 я73

**ISBN 978-5-4312-1086-0**

© Т.Н. Кропачева, 2023  
© ФГБОУ ВО «Удмуртский  
государственный университет», 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ .....	7
Лабораторная работа «рН-Метр: определение кислотности среды» .....	7
Лабораторная работа «Нитратомер: определение содержания нитрат-ионов в овощах и фруктах» .....	16
АМПЕРОМЕТРИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ .....	25
Лабораторная работа «Кислородомер: определение содержания растворенного кислорода» .....	26
Лабораторная работа «Вольтамперометрический анализатор: определение тяжелых металлов в воде» .....	35
Лабораторная работа «Электрохимический глюкометр: определение глюкозы в крови» .....	41
КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ .....	51
Лабораторная работа «Солемер: определение минерализации воды» .....	51
Лабораторная работа «Алкотестер: определение содержания этанола в выдыхаемом воздухе» .....	63
ОПТИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ .....	70
Лабораторная работа «Портативный фотометр: определение железа в воде» .....	70
Лабораторная работа «Фотометрический глюкометр: определение глюкозы в крови» .....	77
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	81

## ВВЕДЕНИЕ

Одно из новых направлений развития современной аналитической химии связано с созданием и применением *химических сенсоров* – специализированных приборов (устройств), способных избирательно определять концентрацию того или иного вещества. Интенсивное развитие химической сенсорики связано с успехами в смежных областях, таких как физика твердого тела, микроэлектроника, микропроцессорная техника, материаловедение, интегральная оптика и др.

*В состав* любого химического сенсора входят:

- чувствительный (распознающий) элемент – материал, «узнающий» определяемый аналит за счет селективной химической, электрохимической или биохимической реакции;
- преобразователь (транздьюсер) аналитического сигнала в какой-либо измеряемый физический параметр;
- устройство для обработки сигнала

Биологическим аналогом химического сенсора может быть нос, где в роли распознающего элемента выступает обонятельная мембрана, в роли транздьюсера – нейроны, а обрабатывает электрический сигнал нейронов мозг, преобразуя полученную информацию в ощущение того или иного запаха.

Распознающие элементы сенсора могут быть основаны на применении чисто химических материалов или биологических материалов (ферменты, антитела, нуклеиновые кислоты растительные и животные ткани, микроорганизмы и др.) В последнем случае речь идет о *биосенсорах*, селективность которых, как правило, выше, чем у химических сенсоров.

В зависимости от типа транздьюсера выделяют *четыре группы* химических сенсоров (биосенсоров):

- электрохимические;
- оптические;
- термометрические/калориметрические;
- гравиметрические/масс-чувствительные.

По сравнению с более сложными аналитическими приборами, *преимуществами сенсоров является* то, что они имеют небольшой размер и массу, что позволяет им зачастую уместиться даже в кармане. Переносные портативные устройства имеют невысокую стоимость, хорошо подходят для анализа в полевых условиях и для непрерывного контроля химических параметров в реальном масштабе времени. Анализ с использованием сенсоров как правило не требуют пробоподготовки, а процедура расчета содержания аналита автоматизирована и «защита» в самом сенсоре, что позволяет легко применять сенсоры даже неспециалистам. Широкомасштабное производство отдельных видов сенсоров привело к их повсеместному применению для проведения *клинических медицинских анализов* (определение глюкозы, мочевины, холестерина, натрия, кальция, кислорода и др.), выполняемых зачастую даже в домашних условиях. Сенсоры применяются *в экологических анализах* для контроля содержания загрязняющих веществ в окружающей среде, включая непрерывный мониторинг за состоянием атмосферы (оксиды азота и серы, угарный газ, озон и др.), анализ природных и сточных вод (кислотность, кислород, тяжелые металлы, нефтепродукты и др.). Сенсоры находят применение *в контроле промышленных и биотехнологических процессов, в сфере безопасности* (обнаружение наркотических, пожаро- и взрывоопасных веществ и др.). Мультисенсорные системы, способные распознавать сложные запахи и вкусы, («электронный нос» и «электронный

язык») применяются для оценки качества и подтверждения подлинности *пищевых продуктов*, такие как соки, чай, кофе, вина, заменяя тем самым работу дегустаторов. Устойчивая тенденция развития аналитической химии – миниатюризация приборов и упрощение самой процедуры измерений обеспечивает химической сенсорике большое будущее, требующее в первую очередь поиска новых материалов и принципов для селективного определения разнообразных аналитов.

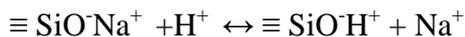
## ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ

*Потенциометрические сенсоры* в качестве распознающего элемента содержат *ионселективные электроды*, которые дают селективный отклик на присутствие определяемых веществ (ионов, молекул) в растворе. Аналитическим сигналом является потенциал индикаторного электрода, измеряемый относительно электрода сравнения. В потенциометрических сенсорах могут быть использованы все типы ионселективных мембран – полимерные, твердые, стеклянные.

### Лабораторная работа

#### «рН-Метр: определение кислотности среды»

Одним из самых известных потенциометрических сенсоров, широко применяемым для измерения концентрации (активности) ионов водорода в растворах, является *стеклянный электрод*. Стеклянный рН-электрод изготавливают в виде шарика из очень тонкого стекла (толщина 0,1 мм), содержащего обычно 72% SiO<sub>2</sub>, 22% Na<sub>2</sub>O, 6% CaO. Стеклянная мембрана проявляет чрезвычайно высокую селективность в отношении ионов водорода, обусловленную их участием в ионообменной реакции с ионами натрия, входящими в состав мембраны:



Зависимость потенциала стеклянного электрода от активности ионов водорода выглядит следующим образом:

$$E = E^0 + S \cdot \lg (a_{\text{H}^+} + K_{\text{H}^+/\text{M}^+} \cdot a_{\text{M}^+}),$$

где  $S = 2,303 \text{ RT/F}$  – крутизна электродной функции;  $a_{\text{H}^+}$  – активность ионов водорода;  $a_{\text{M}^+}$  – активность мешающих ионов щелочных металлов (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>).

Потенциометрический коэффициент селективности для ионов водорода в присутствии этих ионов имеет чрезвычайно низкие значения ( $K_{H^+/M^+} = 10^{-12} \dots 10^{-14}$ ), что обуславливает *уникально высокую избирательность отклика на ионы водорода* и возможность использования стеклянного электрода для измерения рН даже при очень высоких концентрациях однозарядных катионов. В отсутствие мешающих ионов зависимость потенциала стеклянного электрода от кислотности среды выглядит следующим образом:

$$E = E^0 + S \cdot \lg a_{H^+} = E^0 - S \cdot \text{pH}$$

Для 25°C значение  $S=59$ , мВ/ед. рН, т.е.  $E \text{ (мВ)} = E^0 - 59,1 \cdot \text{pH}$ .

*Линейный диапазон* потенциала стеклянного электрода очень большой – от рН 0 до рН 12–14 (в зависимости от сорта стекла). *Время отклика* стеклянного электрода небольшое: от нескольких десятков секунд до нескольких минут (в слабо буференных растворах). В зависимости от марки стекла электроды работают при температурах от 0°C до 100°C. Измерение возможно в мутных, окрашенных растворах, в присутствии органических веществ, ПАВ и пр. Все это обуславливает широкие области применения этого сенсора в контроле различных технологических процессов, медицине, экологических анализах и пр.

Измерительные устройства, применяемые для измерения потенциала стеклянного электрода, называются *рН-метрами*. Наряду со стационарными рН-метрами, выпускаемыми серийно многими фирмами и предназначенными для эксплуатации только в лабораторных условиях, производятся и более простые модели, часто называемые *рН-тестерами*. рН-тестеры имеют небольшие размеры и массу (могут легко по-

меститься в кармане), работают на автономных источниках энергии (батарейки). Простая процедура калибровки рН-тестеров не требует специальных навыков, что удобно для широкого круга потребителей. Недостатком рН-тестеров является их более низкая точность в измерении рН (обычно  $\pm 0,1$  ед. рН) в сравнении с рН-метрами ( $\pm 0,001 - 0,01$  ед. рН).

#### *Оборудование и реактивы*

- лабораторный (стационарный) рН-метр/иономер с комплектом электродов – стеклянный и хлорсеребряный (любой марки с инструкцией по эксплуатации);
- рН-тестер (любой марки с инструкцией по эксплуатации);
- магнитная мешалка;
- буферные растворы (рН=1,65; 4,01; 6,86; 9,18; 12,43).

#### *Ход работы*

– Приготовить стандартные буферные растворы с рН 1,65; 4,01; 6,86; 9,18; 12,43 из стандарт-титров. (ГОСТ 8.135–2004 Стандарт-титры для приготовления буферных растворов-рабочих эталонов рН 2-го и 3-го разрядов).

Для приготовления образцов буферных растворов необходимо содержимое ампулы количественно перенести в литровую мерную колбу и растворить в дистиллированной воде. Для приготовления растворов со значением рН > 6 дистиллированную воду необходимо прокипятить и охладить до температуры 25 – 30 °С. Остальные буферные растворы могут готовиться на обычной дистиллированной воде. Образцовые буферные растворы калия виннокислого и гидроксида кальция должны быть насыщенными при 25 °С. При приготовлении их необходимо взбалтывать и термостатировать при 25 °С не менее 4 ч. Избыток реактива удаляется фильтрованием или декантацией.

Рабочие эталоны рН хранят в плотно закрытой стеклянной таре или пластмассовой (полиэтиленовой) посуде в затемненном месте при температуре не выше 25°C. Срок хранения эталонов – 1 месяц с момента приготовления, за исключением растворов калия виннокислого и гидроксида кальция, которые готовят непосредственно перед измерением рН и которые хранению не подлежат.

### Состав и рН стандартных буферных растворов при 25°C

Номер	Состав	Масса вещества (г) для приготовления 1 л буферного раствора	рН
1	Калий тетраоксалатдигидрат $\text{KН}_3(\text{C}_2\text{O}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	12,610	1,65
2	Калий гидротартрат $\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$	9,50* (нас. раствор)	3,56
3	Калий гидрофталат $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$	10, 120	4,01
4	Калий дигидрофосфат $\text{KН}_2\text{P}\text{O}_4$ Натрий моногидрофосфат $\text{Na}_2\text{H}\text{P}\text{O}_4$	3,3800 3,5330	6,86
5	Натрий тетраборат десятиводный $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	3, 8068	9,18
6	Кальций гидроксид $\text{Ca}(\text{OH})_2$	1,75 (нас. раствор)	12,43

### Зависимость значений рН буферных растворов от температуры

	Температура, °С							
	5	10	15	20	25	30	40	50
1	-	1,64	1,64	1,64	1,65	1,65	1,65	1,65
3	4,00	4,00	4,00	4,00	4,01	4,01	4,03	4,05
4	6,94	6,91	6,89	6,87	6,86	6,84	6,82	6,81
5	9,41	9,35	9, 9	9,23	9,18	9,13	9,05	8,98
6	13,16	12,97	12,78	12,60	12,433	12,27	11,96	11,68

– Используя инструкцию, ознакомьтесь с характеристиками и панелью управления используемого лабораторного анализатора Экотест- 2000 Т.



Анализатор Экотест- 2000 Т (НПП «Эжоникс»)

### Технические характеристики Экотест- 2000 Т

Диапазон измерений pH	0,00–14,00
Погрешность	±0,02
Температура	0-80°C
Питание	Батареи 2шт LR-44 или от внешнего блока питания
Масса	500 г
Габариты	20x10,5x6 см

– Ознакомьтесь с конструкцией и характеристиками измерительных электродов. Подготовить их к работе.



Стекланный рН-электрод  
ЭС-10601/7

Электрод сравнения  
ЭСр-10101

ООО «Измерительная техника»

### Технические характеристики ЭС-10601/7 лабораторный общего назначения

Рабочая температура, °С	0...100
Диапазон измерения рН	0...12
Электрическое сопротивление, МОм	10...80
Координаты изопотенциальной точки	$pH_i=7,0$ , $E_i=-25$ мВ

### Технические характеристики ЭСр-10101/3,5 лабораторный двухключевой хлорсеребряный

Рабочая температура, °С	+5...+100
Потенциал электрода отн. н.в.э (при 20°С), мВ	208±3
Электрическое сопротивление, кОм	2...20
Электролит	3,5 М КСl
Температурный коэффициент	Меньше 0,25 мВ/°С
Скорость истечения КСl через наружный электролитический ключ при 20±5 °С	от 0,3 до 3,90 см <sup>3</sup> /сут.

- Подключить к рН- метру измерительные электроды и датчик температуры.
- Включить прибор и дать ему прогреться.
- Провести градуировку рН-метра с использованием двух стандартных буферных растворов согласно инструкции по эксплуатации.

**Для этого:**

- Нажать кнопку **КЛБ**.
- Нажать кнопку **N**.
- Кнопками ← и → выбрать 2 точки градуировки и нажать кнопку **ВВОД**;
- погрузить электроды в первый стандартный раствор;
- Нажать кнопку **ЧИСЛО** и с помощью клавиатуры ввести значение рН стандартного раствора.
- Нажать два раза клавишу **ВВОД**.
- Нажать кнопку **ИЗМ**, после чего начинается измерение э.д.с. После того, как значение э.д.с. установится (в течение 1 мин изменение не более ±1 мВ), нажать два раза кнопку **ВВОД**.
- Промыть и обсушить электроды, погрузить их во второй стандартный раствор.
- Кнопкой → перейти ко второй точке градуировки, которая провести аналогично.
- После окончания градуировки нажать клавишу **ОТМ**.
- Измерить рН контрольных буферных раствора. Данные занести в таблицу.
- Измерить рН исследуемых растворов. Данные занести в таблицу:

рН буферов при 25°С	Измеренные значения рН (рН-метр)	Измеренные значения рН (рН-тестер)
1,65	Использовать для градуировки	
4,01		
6,88		Использовать для градуировки

9,18	Использовать для градуировки	
12,43		
<i>Исследуемые растворы</i>		
Вода (водопроводная)		
Вода (минеральная, речная, подземная и пр.)		
Сок (томатный, апельсиновый и пр.)		
.....		

– Ознакомиться с конструкцией и характеристиками используемого *pH-тестера*.



EcoTesrt pH 2 Waterproof Pocket Tester

### Технические характеристики EcoTesrt pH 2

Диапазон измерений pH	0,0–14,0
Погрешность	±0,1
Температура	0-50°C
Температурная компенсация	Автоматическая
Точки калибровки pH	3 (авто) pH=4,0; 7,0; 10,0
Питание	Батареи 4шт×1,5 В А76
Масса	90 г (
Габариты	16x4x3 см Водонепроницаемый

- Используя инструкцию, ознакомится с техникой измерения рН с использованием тестера.
- Перед первым использованием или после длительного хранения в сухом состоянии погрузить электроды тестера не менее чем на один час в слегка подкисленную дистиллированную воду.
- Провести калибровку тестера по одному буферному раствору с рН 7,0 согласно инструкции.

**Для этого:**

- Погрузить датчик в буферный раствор и аккуратно перемешать. Подождать, пока отображаемое значение не стабилизируется на уровне рН 7,0 или около него.
- Нажать кнопку калибровки (**cal**). Значение на экране на мгновение замигает, а затем отобразится мигающее значение по умолчанию. Тестер автоматически подтвердит калибровку (**end**) через 15 секунд.
- Измерить рН буферных растворов и занести данные в таблицу (Для этого погрузить тестер в буферный раствор, перемешать и дать показаниям стабилизироваться. Для удержания показания нажмите кнопку **hold/ent**, чтобы отменить удержание вновь нажмите кнопку **hold/end**).
- Измерить рН исследуемых растворов и занести данные в таблицу.
- Сделать выводы по всей проделанной работе. В выводах сопоставить портативный рН-метр и рН-тестер с точки зрения
  - 1) точности результата измерения рН,
  - 2) времени измерения,
  - 3) простоты в использовании,
  - 4) удобства использования в полевых условиях,
  - 5) стоимости прибора.

*Контрольные вопросы*

1. Как устроен стеклянный электрод? Каковы правила хранения, подготовки к работе и эксплуатации стеклянного электрода?

2. Как устроен хлорсеребряный электрод? Каковы правила хранения, подготовки к работе и эксплуатации хлорсеребряного электрода?
3. Чему равна крутизна электродной функции стеклянного электрода? Каков рабочий диапазон рН работы стеклянного электрода?
4. С чем связана щелочная ошибка стеклянного электрода? Как потенциал стеклянного электрода зависит от активности ионов щелочных металлов? Каковы типичные значения потенциометрического коэффициента селективности  $K_{H^+/Na^+}$  ?
5. Какие буферные растворы (химический состав, значения рН) используют для градуировки рН-метра?
6. Для чего необходимо проводить измерение температуры при градуировке рН-метра и измерениях рН?
7. Какова норма рН для питьевой воды? Чему равно значение рН в природных водах? в различных жидкостях организма человека?

### **Лабораторная работа**

#### **«Нитратомер: определение содержания нитрат-ионов в овощах и фруктах»**

Портативное устройство, предназначенное для определения концентрации нитрат-ионов, называемое *нитратомер*, и использующее в качестве распознающего элемента нитрат-селективный электрод, относится к числу потенциометрических сенсоров. Мембрана нитрат-селективного пленочного электрода (пластифицированный поливинилхлорид) содержит активные компоненты – анионообменники на основе нитратов гидрофобных катионов, таких как  $Ni(phen)_3^{2+}$ ,  $Fe(phen)_3^{2+}$ ,  $R_4N^+$  ( $R = -C_8H_{17}$ ,  $-C_{10}H_{21}$ ,  $-C_{16}H_{33}$ ), катион кристаллического фиолетового и др.). Ионная селективность достигается за счет различия коэффициентов распределения, устойчивости ком-

плексов и различной подвижности нитрат-ионов и мешающих ионов в фазе мембраны. Из числа обычно присутствующих,  $\text{NO}_3^-$  селективные электроды проявляют определенную чувствительность к нитрит-ионам ( $K_{\text{NO}_3/\text{NO}_2} \approx 6 \cdot 10^{-2}$ ), хлорид-ионам ( $K_{\text{NO}_3/\text{Cl}^-} \approx 6 \cdot 10^{-3}$ ), сульфат-ионам ( $K_{\text{NO}_3/\text{SO}_4} \approx 6 \cdot 10^{-4}$ ). Присутствие ионов  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$  не допустимо ( $K_{\text{NO}_3/\text{Br}^-} \approx 0,9$ ,  $K_{\text{NO}_3/\text{I}^-} \approx 20$ ). В отсутствии мешающих ионов зависимость потенциала нитрат-селективного электрода от активности  $\text{NO}_3^-$  ионов выглядит следующим образом (для  $25^\circ\text{C}$ ):

$$E(\text{мВ}) = E^0 - 59,1 \cdot \lg a_{\text{NO}_3^-} \text{ или } E(\text{мВ}) = E^0 + 59,1 \cdot \text{pNO}_3^-$$

Стационарные иономеры, оснащенные нитрат-селективным электродом, а также специализированные нитратомеры находят широкое применение для контроля содержания нитрат-ионов в минеральных и питьевых водах, почвах, продуктах питания. Источниками нитратов в подземных и поверхностных водах являются азотные удобрения, городские стоки, недостаточно обработанные и необработанные промышленные сточные воды, утечки из канализации, фильтраты полигонов хранения твердых бытовых отходов и неорганизованные свалки, экскременты животных, а также оксиды азота в составе отходящих или отработанных газов. Нитраты – подвижные соединения, и они могут вымываться из почвы или подвергаться биологической денитрификации (образованию газообразных форм). Избыточное внесение различных азотных удобрений приводит к повышенному содержанию нитратов в почве с дальнейшим их накоплением в растениях. Нитрат-ионы представляют опасность для здоровья человека и животных (нитратная метгемоглобинемия), а легко образующиеся из них нитриты ( $\text{NO}_2^-$ ) и нитрозамины ( $\text{RR}'\text{NNO}$ ) еще более высокотоксичны. Предельно допустимая концентрация (ПДК) нитратов для питьевой воды составляет

45 мг/л., а для продуктов питания данные приведены в таблице ниже. Увеличению содержания нитратов в растениях способствуют подкормки нитратными удобрениями и навозом, теплые и влажные условия выращивания растений, нарушения режимов освещения вегетирующих культур, а также повреждение и неправильное хранение готовой продукции.

Продукт	ПДК, мг/кг	Продукт	ПДК, мг/кг	Продукт	ПДК, мг/кг
Абрикос	60	Капуста -ранняя -поздняя	900 500	Петрушка	2000
Арбуз	60	Картофель	250	Редис	1500
Банан	200	Клубника	100		
Баклажан	300	Лук -репчатый -зеленый	80 600	Редька	1000
Виноград	60	Морковь -ранняя -поздняя	400 200	Салат	2000
Груша	60	Огурец -грунтовой -тепличный	150 400	Свекла	1400
Зелень	2000	Перец сладкий	200	Укроп	2000
Дыня	90	Персик	60	Хурма	60
Кабачки	400	Помидор -грунтовой -тепличный	150 300	Яблоко	60

### *Оборудование и реактивы*

- нитратомер ИТ-1201 с руководством по эксплуатации;
- нитрат-селективный электрод (любой марки с инструкцией по эксплуатации);
- хлорсеребряный электрод сравнения (любой марки с инструкцией по эксплуатации);
- магнитная мешалка;
- теххимические весы;
- градуировочные растворы  $\text{KNO}_3$  с известными значениями  $p\text{NO}_3$  4,00; 3,00; 2,00; и 1,00 (растворы  $\text{KNO}_3$  на фоне 1% алюмокалиевых квасцов).

### *Ход работы*

- Ознакомиться с конструкцией и характеристикам нитрат-селективного электрода. Подготовить электрод к работе. Для этого поместить электрод в раствор  $\text{KNO}_3$  (0, 1 моль/дм<sup>3</sup>) на несколько часов и затем тщательно промыть дистиллированной водой.



Пленочный нитрат-селективный электрод (НПФ «Вольта»).

## Технические характеристики нитрат-селективного электрода

Диапазон измерения молярной концентрации $\text{NO}_3^-$ , моль/дм <sup>3</sup>	$5 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-1}$
Диапазон рабочих температур, °C	15 – 45
Рабочая область pH, ед. pH	1 – 10
Крутизна электродной функции при температуре (20±5)°C, мВ/pX	56±2
Размеры электрода, мм	диаметр 10 мм, длина 140 мм
Мешающие ионы (коэффициент селективности)	$\text{Cl}^- (5 \cdot 10^{-3})$ , $\text{CO}_3^{2-} (4 \cdot 10^{-4})$ , $\text{NO}_2^- (2 \cdot 10^{-2})$

– Используя инструкцию, ознакомиться с характеристиками используемого нитратомера, его панелью управления (режимы Измерение, Градуировка, Контроль) и правилами градуировки.



Нитратомер ИТ-1201 (ООО «Измерительная техника»)

### Технические характеристики Нитратомера ИТ-1201

	Измеряемая величина			
	pNO <sub>3</sub>	cNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , г/л	ЭДС, мВ	t, °C
Диапазон измерений	от 0,3 до 4,3	10 <sup>-6</sup> ..32,00	0..999	0..60
Дискретность	0,01	автоматически	1	1

Погрешность преобразователя	$\pm 0,02$	$\pm 5\%$	$\pm 2$	$\pm 2$
Погрешность прибора	$\pm 0,05$	$\pm 11\%$		$\pm 2$
Питание		Сетевое 220 В, от встроенного аккумулятора		
Масса				
Габариты		19x13,5x5,5 см		

- Подключить к нитратомеру электроды (нират-селективный электрод и электрод сравнения) и датчик температуры. Включить прибор и дать ему прогреться.
- Провести градуировку с использованием четырех стандартных растворов  $KNO_3$  (на фоне 1% раствора  $KAl(SO_4)_2$ ) с  $pNO_3 = 4,00; 3,00; 2,00; 1,00$  согласно инструкции

#### Для этого:

- Нажать и удерживать кнопку ВКЛ/ВЫКЛ.
- Нажать и удерживать несколько секунд кнопку «НАСТР.». Раздастся звуковой сигнал и прибор перейдет в режим градуировки.
- Задать количество контрольных растворов для градуировки (4) и нажать клавишу «ВВОД».
- Установить значение  $pNO_3(4,00)$  первого контрольного раствора;
- Поместить электроды и термодатчик в первый контрольный раствор и нажать кнопку «ВВОД».
- Дождаться установления постоянного значения ЭДС электродной системы во вспомогательном. Звуковой сигнал является подсказкой. Нажать кнопку «ВВОД».
- Установить значение  $pNO_3(3,00)$  второго контрольного раствора.
- Поместить электроды и термодатчик во второй контрольный раствор и нажать кнопку «ВВОД». Мигает соответствующий символ. После установления постоянного значения ЭДС электродной системы нажать кнопку «ВВОД».
- На дисплей выводится рассчитанное значение крутизны электродной системы для первой пары растворов ( в % от теоретического). Для продолжения нажать кнопку «ВВОД».

- Установить значение  $pNO_3(2,00)$  третьего контрольного раствора.
- Поместить электроды и термодатчик в третий контрольный раствор и нажать кнопку «ВВОД». После установления постоянного значения ЭДС электродной системы нажать кнопку «ВВОД». На дисплей выводится рассчитанное значение крутизны электродной системы для второй пары растворов. Для продолжения нажать кнопку «ВВОД».
- Установить значение  $pNO_3(1,00)$  четвертого контрольного раствора.
- Поместить электроды и термодатчик в четвертый контрольный раствор и нажать кнопку «ВВОД». - После установления постоянного значения ЭДС электродной системы нажать кнопку «ВВОД». На дисплей выводится рассчитанное значение крутизны электродной системы для третьей пары растворов. Для продолжения нажать кнопку «ВВОД».
- Прибор переходит в режим ИЗМЕРЕНИЕ.

Расшифровка условных символов, выводимых на дисплей, для оценки состояния электродной системы и качества градуировки приведена в таблице:

Символ	S, %	Оценка
☺	95... 100	Электродная система находится в идеальном состоянии. Ошибок при градуировке нет.
☹	90... 94,9	Электродная система находится в удовлетворительном состоянии. Ошибок при градуировке нет.
	100,1... 104	Возможна ошибка при градуировке.
☹	70... 89,9	Электродная система имеет дефекты или ошибки при градуировке.
	104,1... 110	Ошибка градуировки.
	0... 69,9	Электродная система имеет дефекты или ошибки при градуировке
	>110	Ошибка градуировки.

– В ходе градуировки следует также записывать показания потенциала ИСЭ для последующей «ручной» обработки результатов анализа

$pNO_3$ [моль/л]	E, мВ
1,00	
2,00	
3,00	
4,00	

*Определение содержания нитратов  
в продукции растениеводства*

Используемый алгоритм определения основан на положениях ГОСТ 29270-95 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения нитратов». Для анализа могут быть взяты: картофель, свекла, лук-репка, капуста, морковь, томаты, огурцы, кабачки, яблоки, груши, виноград, дыня, арбуз, тыква. Метод основан на извлечении нитратов раствором алюмокалиевых квасцов с последующим измерением концентрации нитратов с помощью ионоселективного электрода.

- Измельчить пробу с помощью терки, мясорубки, гомогенизатора.
- Взять навеску измельченной пробы 10 г с погрешностью не более 0,01 г.
- Поместить навеску в стакан гомогенизатора, прилить туда мерным цилиндром 50 мл 1% раствора алюмокалиевых квасцов, гомогенизировать (в течении 1 мин при вращении 6000 мин<sup>-1</sup>). При отсутствии гомогенизатора измельченную пробу помещают в химический стакан, добавляют 50 мл экстрагирующего раствора и перемешивают с помощью мешалки в течении 5 минут.
- В полученную суспензию погрузить электроды и провести измерения.
- Определить содержание нитратов в продукте двумя способами:

1) «Автоматический расчет». Определить содержание нитратов в исследуемом образце с использованием нитратомера. Для пересчета показателя  $pNO_3$  в единицы массовой концентрации в различных объектах применяется коэффициент пересчета **К**. Для включения режима ввода **К** нажать и удерживать кнопку **К**. Нажимая кнопку **К** можно выбрать одно из предустановленных значений. Кнопками **▲ ▼** выбрать **К**. Для перевода показателя  $pNO_3$  в массовое содержание нитратов в продукте (мг/кг)  $K = 4,8$ . Для записи установленного значения **К** в память прибора нажать **ВВОД**. Результат анализа появится и на дисплее нитратомера.

2) «Ручной расчет». Построить график зависимости потенциала нитрат-селективного электрода от  $pNO_3$ . Определить уравнение градуировочной кривой. Рассчитать концентрацию нитрат ионов в экстракте по уравнению градуировочной кривой. Рассчитать содержание нитратов в исследуемом образце (в мг/кг продукта) и сравнить с ПДК.

$$\omega(NO_3^-) = \frac{C(NO_3^-) * V_{\text{выт}} * M(NO_3^-)}{m(\text{обр})} \cdot 10^3 \text{ (мг/кг)}$$

$C(NO_3^-)$  концентрация нитрат-ионов в экстракте (вытяжке), моль/л

$C(NO_3^-) = 10^{-pNO_3}$ ;

$V(\text{выт})$ -объем вытяжки, л;

$m(\text{обр})$ - масса анализируемого образца, кг;

$M(NO_3^-)$  молярная масса, г/моль;

$10^3$ - поправочный коэффициент (пересчет на мг).

– Сравнить полученные двумя способами значения.

– Сравнить полученное значение с ПДК нитратов в исследуемом продукте.

– Сделать выводы по проделанной работе.

### *Контрольные вопросы*

1. Каковы правила хранения, подготовки к работе и эксплуатации нитрат-селективного электрода?
2. Чему равна крутизна электродной функции нитрат-селективного электрода? Каков рабочий диапазон работы нитрат-селективного электрода?
3. Что входит в состав пленочной мембраны нитрат-селективного электрода?
4. Какие ионы являются мешающими при работе с нитрат-селективным электродом. Каковы типичные значения потенциометрического коэффициента селективности нитрат-селективного электрода?
5. Что такое прямая потенциометрия и какое она имеет отношение к работе нитратомера?
6. Как проводят градуировку нитратомера? Как определяется концентрация нитрат-ионов на основе этой градуировки?
7. Что является причинами увеличения содержания нитратов в воде и растениях? Каково значение ПДК для нитратов в питьевой воде? в огурцах? арбузах? в зелени?

### **АМПЕРОМЕТРИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ**

Действие *амперометрических сенсоров* основано на селективном окислении или восстановлении определяемого вещества на рабочем электроде при наложении на него определенного внешнего потенциала. Селективность амперометрического сенсора определяется природой материала электрода (часто химически модифицированного специальными соединениями), величиной устанавливаемого потенциала, природой фонового электролита, режимом измерений и др. В *амперометрических биосенсорах* чрезвычайно высокая селектив-

ность достигается наличием на поверхности рабочего иммобилизованного фермента, катализирующего реакцию окисления (восстановления) аналита-субстрата. Измеряемым сигналом в амперометрических сенсорах является сила тока, возникающего при электроокислении (восстановлении) аналита.

### **Лабораторная работа** **«Кислородомер: определение содержания** **растворенного кислорода»**

Для измерения концентрации растворенного в воде кислорода используют кислородный амперометрический датчик. Наиболее часто этот датчик представлен электродом Кларка, в котором на платиновом катоде закреплена газопроницаемая мембрана, отделенная от него тонкой пленкой электролита, куда из внешнего раствора диффундируют молекулы кислорода. На катоде поддерживают потенциал около  $-800$  мВ (относительно серебряного анода), при котором происходит восстановление кислорода:  $O_2 + 4H^+ + 4e = 2H_2O$ . Измеряется проходящий при этом через ячейку ток и по его величине определяется концентрация растворенного кислорода. Датчик необходимо калибровать, используя стандартные растворы с известной концентрацией растворенного кислорода.

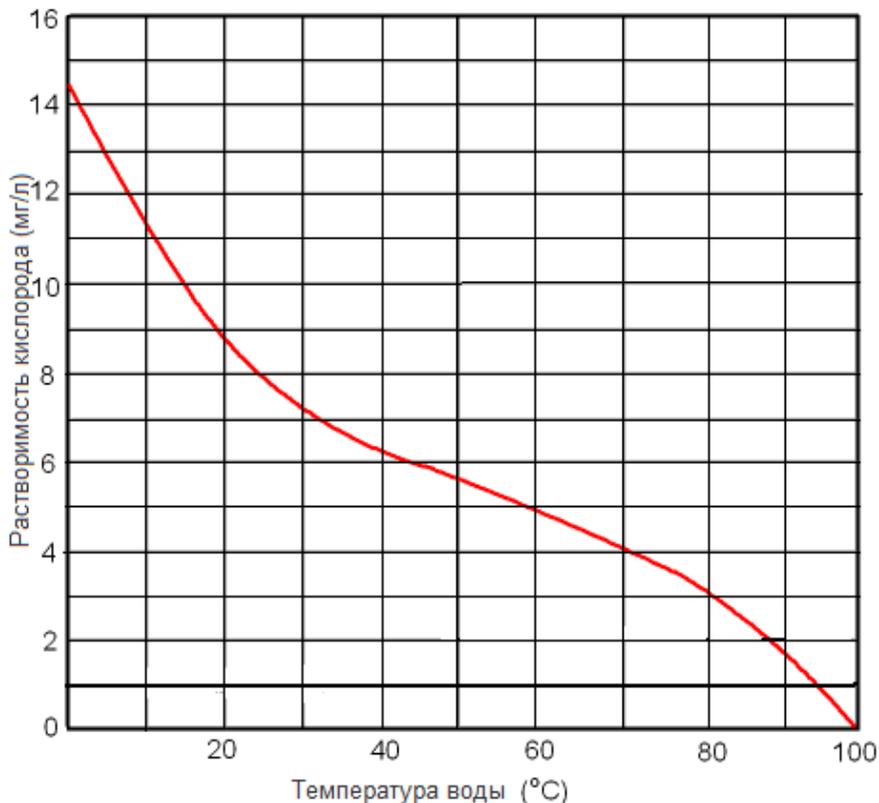
Содержание *растворенного кислорода (PK)* в воде характеризует кислородный режим водоема и имеет важнейшее значение для оценки его экологического и санитарного состояния. Кислород должен содержаться в воде в достаточном количестве, обеспечивая условия для дыхания гидробионтов. Он также необходим для самоочищения водоемов, т.к. участвует в процессах окисления органических и других примесей, разложения отмерших организмов. Снижение концентрации PK свидетельствует об изменении биологических процессов

в водоеме, о загрязнении водоема биохимически интенсивно окисляющимися веществами (в первую очередь органическими). Поступление кислорода в водоем происходит путем растворения его при контакте с воздухом, а также в результате фотосинтеза водными растениями. Содержание РК зависит от температуры, атмосферного давления, степени турбулизации воды, количества осадков, минерализации воды др. Растворимость кислорода возрастает с уменьшением температуры и минерализации и с увеличением атмосферного давления. В поверхностных водах содержание растворенного кислорода может колебаться *от 0 до 14 мг/л* и подвержено значительным сезонным и суточным колебаниям. В евтрофированных и сильно загрязненных органическими соединениями водных объектах может иметь место значительный дефицит кислорода. Уменьшение концентрации РК до 2 мг/л вызывает массовую гибель рыб и других гидробионтов. Определение кислорода в водах включено во все программы наблюдения и контроля состояния водных объектов. *ПДК растворенного в воде кислорода* для рыбохозяйственных водоемов установлена 6 мг/л (для ценных пород рыбы) либо 4 мг/л (для остальных пород).

Относительное содержание кислорода в воде, выраженное в процентах его нормального содержания, называется *степенью насыщения* кислородом. Этот параметр зависит от температуры воды, атмосферного давления и уровня минерализации. Вычислить степень насыщения R можно по формуле:

$$R = \frac{C^*_{760}}{C(\text{насыщ})^*P} \cdot 100\%$$

$C$  – концентрация кислорода в воде, мг/л;  $P$  – атмосферное давление, мм.рт.ст;  $C(\text{насыщ})$  – концентрация насыщенного раствора кислорода в воде при данной температуре и атмосферном давлении 760 мм.рт.ст.



Температурная зависимость растворимости кислорода в дистиллированной воде при 760 мм рт. ст.

**Концентрация насыщенного раствора кислорода в дистиллированной воде (при 760 мм.рт.ст.)**

$t, ^\circ\text{C}$	$C, \text{мг/дм}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$C, \text{мг/дм}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$C, \text{мг/дм}^3$
4	13,11	18	9,47	27	7,97
6	12,45	19	9,28	28	7,83

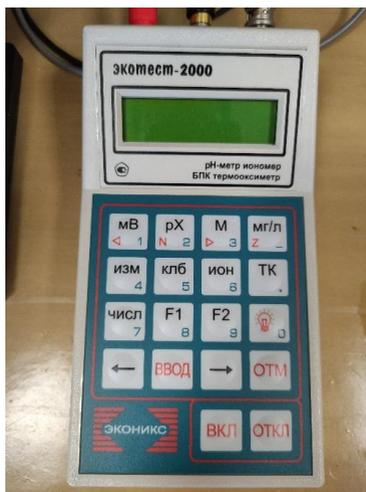
8	11,84	20	9,09	29	7,69
10	11,29	21	8,91	30	7,56
12	10,78	22	8,74	31	7,44
14	10,31	23	8,68	32	7,33
15	10,08	24	8,42	33	7,22
16	9,87	25	8,26	34	7,10
17	9,66	26	8,11	35	6,99

*Оборудование и реактивы:*

– Кислородомер (оксиметр) любой марки с измерительным электродом.

*Ход работы*

– Ознакомиться с внешним видом и техническими характеристиками кислородомера.



Экотест-2000-Г/АТС-термоксиметр («НПО «Эконикс»)

## Технические характеристики

Параметр	Диапазон измерений	Погрешность
Активность, едрХ (рН)	-20... +20	± 0,02
ЭДС, Еh, мВ	-3200... +3200	± 1
Температура, °С	-5... +150	± 0,05
Кислород, мг/дм <sup>3</sup>	0... 30	± 2,5
Диапазон автоматической и ручной компенсации, °С	-20... +150	
Габаритные размеры, мм	150 ×160× 30	
Масса, кг	0,4	

– Время установления показаний анализаторов  $t_{0,9}$  при изменении концентрации кислорода и температуры в режиме «Термооксиметр», мин: 3

– Габаритные размеры составных частей анализаторов: амперометрического датчика растворенного в воде кислорода с термоэлектрическим преобразователем ДКТП, мм, не более  $\varnothing 20 \times 100$ ;

– Масса составных частей анализаторов: амперометрического датчика растворенного в воде кислорода с термоэлектрическим преобразователем ДКТП, кг, не более 0,2. Датчики кислорода ДКТП заменяемые.

Процедура градуировки кислородомера выполнена самим производителем, однако, периодически необходима проверка правильности показаний прибора путем его градуировки в соответствии с инструкцией производителя. Градуировка анализатора производится с целью подстройки чувствительности по концентрации кислорода в автоматическом режиме по четырем точкам: по нулевому значению кислорода в растворе сульфита натрия и по 100%-ному насыщению воды кислородом воздуха при трех температурах диапазона температурной компенсации, расположенных на начальном (5 - 10 °С), сред-

нем (20 - 25 °С) и конечном (30 - 35 °С) участках диапазона с точностью поддержания температуры  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ .

#### **Для этого:**

– Готовят раствор сульфита натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) в дистиллированной воде концентрацией 80 г/л. Раствор после приготовления необходимо выдерживать не менее 8 часов.

– Включают анализатор, входят в режим «Опции» и нажимают кнопку «ВВОД». Вводят в память анализатора значение атмосферного давления. Для этого с помощью кнопок “←” и “→” входят в опцию “[Давление мм.рт.ст]”, нажимают кнопку “ВВОД”.

– Нажимают кнопку “Числ”. После сообщения “Введите число” вводят значение атмосферного давления, измеренное барометром и нажимают кнопку “ВВОД”.

– После появившегося запроса на экране «вводить изменения?», нажимают последовательно кнопки “ВВОД” и “ОТМ”. Прибор вернется в режим “Опции”.

– Кнопками “←” и “→” входят в опцию “Калибр.О2” и нажимают кнопку “ВВОД”. Вводят количество точек градуировки. Для этого нажимают кнопку “N”.

– Кнопками “←” и “→” устанавливают число 4 и нажимают кнопку “ВВОД”.

– Помещают датчик ДКТП в приготовленный раствор сульфита натрия и выдерживают не менее 30 мин. Нажимают кнопку “Изм”. После установления постоянного значения градуировочного числа в нижней строке нажимают кнопку “ВВОД”. После появившегося запроса на экране «вводить изменения?», нажимают кнопку “ВВОД”

– Переходят ко второй точке градуировки, т.е. к раствору, который насыщают кислородом воздуха с помощью микрокомпрессора до 100% насыщения не менее 30 минут и термостатируют с точностью поддержания температуры  $\pm 0,1$ .

– Кнопкой “→” выбирают окно с обозначением номера точки градуировки в нижней строке n2. Затем нажимают кнопку “Изм”. Появится меняющееся значение градуировочного числа. После установления его постоянного значения нажимают кнопку “ВВОД”. После появившегося запроса на экране «вводить изменения?», нажимают кнопку “ВВОД”.

– Затем нажимают кнопку “Числ”. Появится сообщение “Введите число”.

Вводят значение температуры, измеренное эталонным термометром и нажимают кнопку “ВВОД”. После появившегося запроса на экране «вводить изменения?», нажимают кнопку “ВВОД”.

– Аналогично проводят градуировку в третьей и четвертой точках градуировки, например при температурах  $(20 \pm 0,1) \text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $(35 \pm 0,1) \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

– Ознакомиться с внешним видом, конструкцией и техникой работы датчика для измерения концентрации растворенного кислорода (ДКТП-02 НПО «Эконикс»). Амперометрический датчик растворённого кислорода с термоэлектрическим преобразователем ДКТП-02 предназначен для решения широкого круга задач, включающих определение содержания растворённого кислорода в водах различной природы в лабораторных и полевых условиях, измерение биохимического потребления кислорода (БПК) в природных и сточных водах. Действие преобразователя концентрации кислорода основано на электрохимическом восстановлении кислорода, диффундирующего на его катод через мембрану (мембрана непроницаема для воды и растворенных веществ, но пропускает кислород, а также некоторое количество других газов). Генерируемый при этом электрический ток пропорционален концентрации кислорода в анализируемой воде. Средний срок службы датчика – не менее 1 года. Замена датчика и первичная его градуировка производится предприятием-изготовителем.



ДКТП-02 (НПО «Эконикс»)

### Технические характеристики

Режим работы	Измеряемая величина и единица измерения	Диапазон измерения величины		Дискретность
		вторичного измерительного преобразователя	анализатора*	
Термооксиметр	кислород (O <sub>2</sub> ), мг/дм <sup>3</sup> %	0...20 0...200	0...20 0...200	0,01 0,1
	Температура(T), °C		5...35	0,1

– Подключить кислородный датчик и датчик температуры к прибору и измерить концентрацию РК в нескольких образцах воды. Для измерения концентрации растворенного кислорода и температуры в анализируемой среде необходимо:

- кнопками “←” и “→” установить режим “Термооксиметр”,
- затем нажать кнопку “ИЗМ”. На дисплее появится результат измерения температуры и концентрации кислорода;
- считать установившиеся значения результата измерения;
- выход из режима измерений осуществляется нажатием кнопки “ОТМ”.
- Зафиксировать атмосферное давление в момент отбора пробы воды для измерения концентрации РК. Данные записать в таблицу:

Образец воды	t, °C	P, мм. рт.ст	C, мг/л	R, %
Дистиллированная вода, хранящаяся на открытом воздухе				
Дегазированная дистиллированная вода (кипячение в течении 10 минут, хранение в закрытой емкости)				

Вода из аквариума с рыбками				
Водопроводная вода				
Водопроводная вода с добавлением $\text{Na}_2\text{SO}_3$				

- Дать объяснения полученным результатам
- Сделать выводы по всей работе.

### *Контрольные вопросы*

1. Где и почему необходимо определять содержание растворенного в воде кислорода?
2. Какие существуют химические методы определения содержания растворенного кислорода?
3. На чем основан амперометрический способ определения содержания растворенного в воде кислорода? В чем его преимущество перед химическими методами?
4. Как устроен электрод Кларка? Что является в нем катодом (рабочий электрод)? анодом (вспомогательный электрод)? электродом сравнения? Для чего нужна газопроницаемая мембрана, покрывающая электрод?
5. Напишите уравнения реакций восстановления кислорода в кислой среде и в щелочной среде с учетом того, что процесс протекает в две стадии- первая стадия- восстановление до перекиси водорода, вторая- восстановление перекиси водорода до воды.
6. Какой потенциал поддерживается на рабочем электроде сенсора Кларка? Могут ли другие растворенные в воде вещества мешать определению кислорода этим методом?
7. Для чего необходимо контролировать температуру при работе с кислородомером?

## **Лабораторная работа** **«Вольтамперометрический анализатор:** **определение тяжелых металлов в воде»**

Под тяжелыми металлами и металлоидами подразумевают группу элементов с атомной массой больше 50 наиболее опасных для окружающей среды и человека, такие как Hg, Pb, Cu, Cd, Zn, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Bi, Sb, As, Se, V, Mo, Sn, Ag и др. Существует множество источников загрязнения окружающей среды металлами, включая природные (выветривание горных пород и минералов, вулканическая деятельность и др.) и техногенные (сжигание топлива, работа транспорта, промышленная и сельскохозяйственная деятельность и др.).

Определение тяжелых металлов в воде, почвах, пищевых продуктах и др. на уровне ПДК (таблица ниже) требует современного оборудования с низкими пределами обнаружения. Одним из таких методов является инверсионная вольтамперометрия (ИВА) с использованием твердых электродов. Определение тяжелых металлов данным методом состоит из:

- 1) стадия накопления (концентрирования) металла на поверхности рабочего электрода при потенциале ниже потенциала восстановления металла (обычно за счет реакции  $Me^{n+} + n e^- \rightarrow Me$ );
- 2) анодная развертки потенциала, приводящей к окислению накопленного металла;
- 3) очистка электрода (механическая, электрохимическая);
- 4) расшифровка полученной вольтамперограммы: определение потенциалов пиков (качественный анализ) и тока пиков (количественный анализ).

Предел обнаружения метода ИВА составляет  $10^{-8} \dots 10^{-12}$  М, что ниже ПДК тяжелых металлов в объектах окружающей среды. Существует большое количество специализированных

анализаторов тяжелых металлов, основанных на методе ИВА, включая портативные модели, работающие в полевых условиях (Экотест- ВА, АВС 1.1, АВА и др.)

### *Оборудование и реактивы*

- вольтамперометрический анализатор (любая модель) или потенциостат-гальваностат (любая модель)
- углеситалловый электрод (рабочий), платиновый электрод (вспомогательный), хлорсеребряный электрод сравнения.
- стандартные растворы солей  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  с концентрацией 100 мг/л (приготовить из растворов с концентрацией 1г/л в день анализа),
- фоновый электролит (смесь  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ ).

В колбу на 250 мл внести 40 мл раствора  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  (0,003 моль/л), добавить 5 мл раствора  $\text{HCl}$  (1моль/л) и довести насыщенным раствором  $\text{KCl}$  до метки. Раствор  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  (0,003 моль/л) : В мерную колбу на 100 мл поместить около 50 мл воды, внести 0,1026 г  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и 5 мл конц.  $\text{HNO}_3$ , довести до метки водой.

### *Ход работы*

–Ознакомиться с устройством, техническими характеристиками и правилами работы на потенциостате-гальваностате ИПС («Вольта»)



Потенциостат-гальваностат ИПС (ООО НТФ «Вольта»)

## Технические характеристики

Режимы работы	потенциостат, гальваностат
Выходное напряжение	$\pm 12$ В
Конфигурация ячейки	2-, 3-электродная
Диапазон потенциалов	$\pm 5$ В
Точность измерения потенциала	$\leq 0.05$ %
Максимальный ток	$\pm 1$ А
Диапазоны тока	1 мкА, 10 мкА, 100 мкА, 1 mA, 10 mA, 100 mA, 1 А
Скорость развертки потенциала	от 1 до 1000 мВ/с
Входное сопротивление	$10^{12}$ Ом
Интерфейс	USB
Питание	220 В, 50 Гц
Габаритные размеры, вес	(250 × 230 × 135) мм; 2 кг

Программа управления ИПС позволяет осуществлять следующие операции:

- задание и редактирование программ-алгоритмов измерений;
- графическое представление и запись результатов;
- преобразование исходных файлов в формат, совместимый

с другими стандартными пакетами (Excel, Origin);

- процедуры сглаживания кривых;
- автоматическое определение площадей волн и пиков.

### Вольтамперометрия модельных растворов

– Провести механическую очистку рабочего углеситаллового электрода пастой  $Al_2O_3$ , ополоснуть электрод дистиллированной водой.

– В электрохимическую ячейку поместить 20 мл раствора фона и погрузить электроды. Записать анодную инверсионную вольтамперограмму (ИВА) фона, для чего выбрать следующие параметры регистрации в режиме *Инверсионная вольтамперометрия*;

- время накопления 60 сек(при перемешивании с постоянной скоростью);
- время успокоения 10 с;
- потенциал накопления -800 мВ;
- амплитуда развертки от -800 мВ до +200 мВ;
- скорость развертки потенциала 50 мВ/с;
- потенциал очистки +200 мВ;
- время очистки 60 с.

– Внести в ячейку по 20 мкл растворов солей металлов  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  с концентрацией 100 мг/л (раствор 1). Записать анодную ИВА. Идентифицировать пики, используя таблицу.

### **Положения аналитического пика на ИВА металлов (отн. насыщ. ХСЭ) на РПЭ (фон KCl+ HCl)**

Металл	Cu	Pb	Cd	Zn	Bi	Sb
Ер, В	-0,20- 0,05	-0,45- 0,40	-0,65- 0,60	-0,90	-0,08	-0,20

– Проверить зависимость тока пика от концентрации металлов. Для этого к предыдущему раствору последовательно добавлять по 20 мкл растворов солей (растворы 2-5) и после каждой добавки записать ИВА.

– Определить положение пиков на ИВА. Определить амплитуды пиков данные занести в таблицу.

Образец	Конц. металлов, мг/л	Cu <sup>2+</sup>		Pb <sup>2+</sup>		Cd <sup>2+</sup>	
		E <sub>p</sub> , В	I <sub>p</sub> , мкА	E <sub>p</sub> , В	I <sub>p</sub> , мкА	E <sub>p</sub> , В	I <sub>p</sub> , мкА
Фон	0						
Раствор 1	0,1						
Раствор 2	0,2						
Раствор 3	0,3						
Раствор 4	0,4						
Раствор 5	0,5						
Проба воды							
Проба воды+ + станд. до- бавка)							

– Построить график зависимости тока пика от концентрации иона металла (для всех металлов). Используя программу Excel (или аналогичные), определить параметры уравнения градуировочной прямой.

### Определение тяжелых металлов в воде

Используемый алгоритм определения основан на положениях ГОСТ Р 52180-2003 «Вода питьевая. Определение содержания элементов методом инверсионной вольтамперометрии».

– В электрохимическую ячейку поместить 20 мл раствора фона и погрузить электроды. Записать ИВА фона, увеличив время накопления до 5–10 мин.

- Прибавить в ячейку 20 мл исследуемой питьевой воды. Записать ИВА.
- Идентифицировать полученные пики и определить амплитуды тока пиков ( $I_x$ ).
- Определить содержание металлов в анализируемой воде методом добавок. Для этого внести по 10 мкл стандартных растворов обнаруженных металлов с концентрацией 100 мг/л, записать ИВА и определить амплитуды полученных пиков ( $I_{x+доб}$ ).
- Рассчитать концентрацию тяжелых металлов в воде ( в мг/л) по формуле:  $C_x = C_{доб} / (I_{x+доб} / I_x - 1)$ . Указать погрешность определения, используя таблицу.

**Характеристиками погрешности измерений концентрации металлов (для диапазона 0,05-5 мг/л)**

Металл	Cu	Pb	Cd	Zn	Bi	Sb
Отн. погрешность	25%	20%	20%	25%	30%	30%

- Сопоставить полученные значения с ПДК металлов в питьевой воде.

Металл	Найдено	ПДК мг/л
Cu		1
Pb		0,03
Cd		0,001

- Сделать выводы по проделанной работе.

*Контрольные вопросы*

1. Какие металлы называются «тяжелыми»? В каких объектах необходимо определять их содержание?
2. За счет чего достигается очень высокая чувствительность анализа в инверсионной вольтамперометрии?

3. Какие существуют способы накопления металлов на электроде?
4. Чем анодная инверсионная вольтамперометрия отличается от катодной? Приведите примеры.
5. Что такое ртутный пленочный электрод? Как его можно получить? В чем его преимущество перед ртутным капаящим электродом и перед твердыми электродами?
6. Какую роль играет фоновый электролит в вольтамперометрии?
7. От каких факторов и как зависит положение и ток пика на инверсионной вольтамперограмме?

**Лабораторная работа**  
**«Электрохимический глюкометр:**  
**определение глюкозы в крови»**

*Глюкометр* является *биосенсором*, т.е. устройством, в котором чувствительный слой, содержащий биологический материал (ферменты, ткани, бактерии, дрожжи и др.), непосредственно реагирует на присутствие определяемого компонента и генерирует сигнал, функционально связанный с концентрацией этого компонента. В качестве биологического материала в глюкометрах используется *фермент глюкозооксидаза*, селективно окисляющий глюкозу до глюконовой кислоты:



Глюкозооксидаза – это димерный белок, состоящий из 580 остатков аминокислот, ФАД-кофактора, шесть N-ацетилглюкозаминных остатков и трех остатков маннозы.

В настоящее время для определения глюкозы в крови чаще всего используются электрохимические глюкометры, основанные на *амперометрии* (измерение силы тока) или *кулонометрии* (измерение количества электричества). В современных электро-

химических глюкометрах используются *медиаторы* (посредники) переноса электрона от активного центра фермента к электроду, такие как ферроцен, берлинская лазурь, органические красители, комплексы рутения и др.

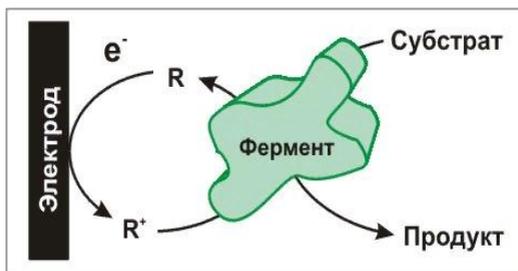
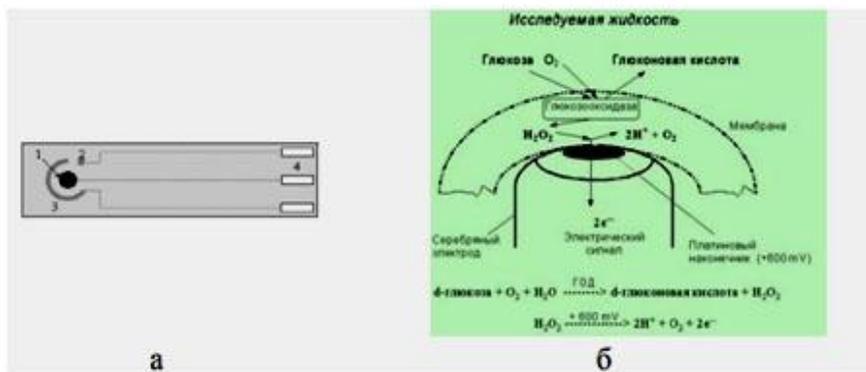


Схема работы амперометрического биосенсора с медиатором (R)

Преимуществами медиаторного глюкометра является то, что определение не зависит от концентрации кислорода в образце, а также то, что медиатор окисляется на электроде при менее высоком потенциале, чем перекись водорода, что устраняет мешающее влияние других окисляющихся соединений, которые могут присутствовать в образцах крови (мочевая кислота, витамин С и др.). К каждой модели глюкометра производится свой расходный материал – тест-полоска, сделанная из материала, обладающего капиллярными свойствами, на которую помещается капля крови. Кровь поступает в реакционную зону, в которой размещены три электрода, включая рабочий электрод (в центре), покрытый глюкозооксидазой и медиатором.



Устройство тест-полоски (а) и схема процессов, происходящих при анализе на рабочем электроде тест-полоски (б)

Ход определения глюкозы является несложной процедурой и состоит в получении капли крови пациента путем укола в палец, нанесении ее на полоску и размещении полоски в глюкометре. Через 20–30 с на экране указывается концентрация глюкозы. Глюкометры обеспечивают цифровое считывание концентрации глюкозы. Большинство глюкометров способны определять концентрацию глюкозы в пределах 1,7–33,3 ммоль/л (30–600 мг/100 мл). *В норме (натощак)* содержание глюкозы в крови составляет 3,9–6,1 ммоль/л; после еды до 7,8 ммоль/л.

#### *Оборудование и реактивы*

– электрохимический глюкометр любой модели с набором тест-полосок и инструкцией по применению.

#### *Ход работы*

– Используя инструкцию, ознакомиться с характеристиками глюкометра, его панелью управления, правилами работы.



ГлюкометрSDCheckGold

### Технические характеристики

- Метод: электрохимический, глюкозооксидазный
- Объем капли крови: 0,9 мкл;
- Время измерения: 5 с;
- Диапазон измерений: 0,6-33,3 ммоль/л
- Объем памяти: 400 результатов измерений с датой и временем;
- Расчет средних значений: за 7, 14 и 30 дней;
- Звуковой сигнал при получении результата;
- Дисплей: жидкокристаллический;
- Автоматическая проверка срока годности тест-полосок;
- Автоматическое выключение;
- Набор 2-х уровневых жидких контрольных материалов для проверки точности измерений;
- Энергопотребление: выполнение более 5000 тестов без замены батарейки;
- Элементы питания: 1 батарейка типа CR 2032;
- Габариты: 44x92x18 мм;
- Вес: 50 г (с батарейкой).

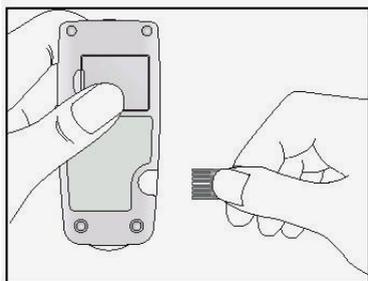
– Изучить внешний вид тест-полосок и правила их использования.

Тест-полоски предназначены для одноразового использования. Не пытайтесь использовать их повторно. Тест-полоски SDCHECKGOLD должны использоваться с соответствующим глюкометром. Перед тестированием, проверьте, чтобы номер кода на дисплее глюкометра совпадал с кодом на флаконе с тест-полосками, который вы используете. Вставьте тест-полоску и кодирующий чип в соответствующие гнезда глюкометра: тест-полоску надо вставлять в гнездо, чтобы позолоченная сторона с надписью 'SDCHECK' была обращена к вам (к лицевой части прибора) и направлена в сторону глюкометра. Тест-полоски чувствительны к влажности. Их следует хранить их в предназначенном для этого флаконе и после извлечения тест-полоски, сразу же закрывать его. После извлечения тест-полоски из флакона, использовать тест-полоску в течение 3 минут. Не используйте тест-полоски, если прошло более 3 месяцев с момента вскрытия флакона. После истечения 3 месяцев после первого открытия флакона тест-полоски нужно выбросить. Если вы вставляете тест-полоску в гнездо с силой, её легко согнуть. Поэтому её надо вставлять осторожно и до конца. Объем капли крови для анализа должен составлять, по крайней мере, 0,9 мкл. Если объем меньше, результат теста будет неточным, и вы выбросите тест-полоску. Нельзя наносить кровь на другие места тест-полоски, кроме жёлтого окна.

– Измерьте содержание глюкозы в крови.

– Перед тем, как использовать глюкометр первый раз или каждый раз, как открываете новый набор тест-полосок, нужно настроить прибор на тест-полоски. Этот процесс называют кодированием. Для правильной работы системы вы должны вводить номер кода каждый раз при открытии нового комплекта (флакона) тест-полосок. Чип содержит информацию о сроке годности и других характеристиках тест-полосок.

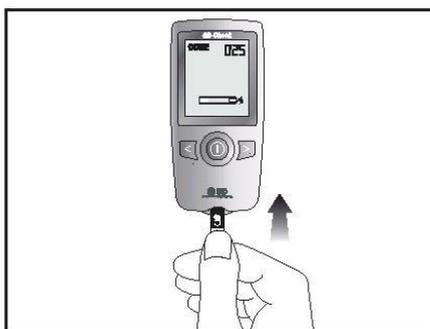
– Убедитесь, что глюкометр выключен. Поверните прибор к себе тыльной стороной. Достаньте старый кодирующий чип, если он был вставлен. Вставьте в гнездо новый чип до щелчка.



– Включите глюкометр. На дисплее появится 3-значный код. Это число должно соответствовать числу на флаконе с тест-полосками.



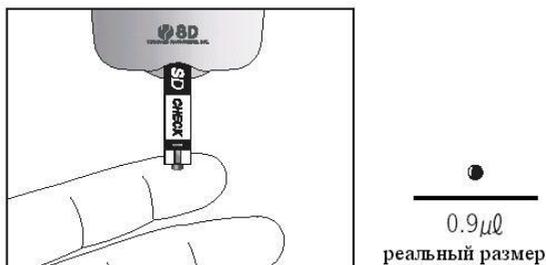
Достаньте новую тест-полоску из флакона. Плотно закройте флакон с тест-полосками крышкой. Вставьте тест-полоску в гнездо глюкометра до упора, чтобы надпись на полоске была с лицевой стороны прибора и направлена в сторону глюкометра.



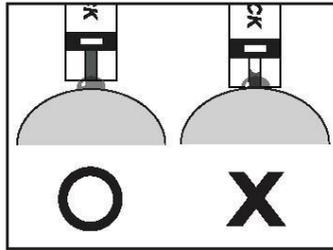
При этом глюкометр автоматически включается. Проверьте, чтобы появившийся на дисплее номер кода соответствовал номеру кода на флаконе с тест-полосками.



– Осуществите прокол пальца, используя ланцет и прокалыватель. После образования капли крови прикоснитесь к её поверхности кромкой реакционной зоны тест-полоски и продолжайте держать. Кровь втягивается на тест-полоску и заполняет жёлтое окно. Продолжайте держать, пока кровь полностью не заполнит его.



Опускайте тест-полоску в каплю крови не глубже 1 мм, чтобы она не касалась кожи пальца.

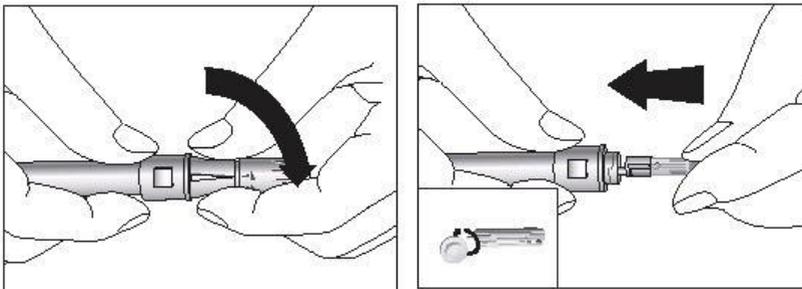


Если объём крови недостаточен, результат теста будет ошибочным.

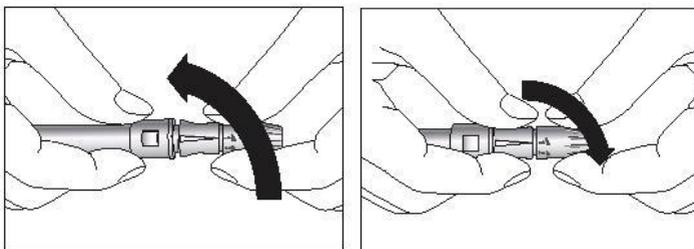
- Когда процесс заполнения закончится, на дисплее запустится обратный отсчёт от 5 до 1, затем на дисплее появится результат.
- Достаньте из гнезда и выбросьте использованную тест-полоску.

### *Процедура забора крови*

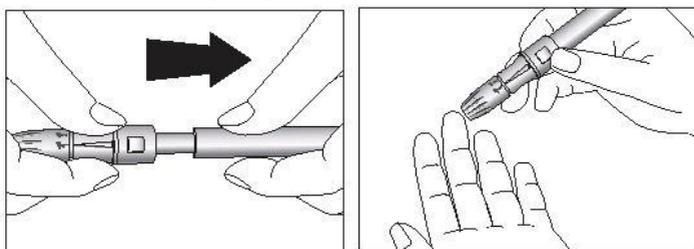
- Вымойте руки тёплой водой с мылом. Хорошо сполосните и высушите. Снимите колпачок с прокалывателя, повернув его против часовой стрелки. Вставьте в крепление прокалывателя ланцет и вставьте его в гнездо до полной установки. Снимите защитный диск с ланцета.



- Наденьте обратно колпачок прокалывателя и плотно закрутите его по часовой стрелке. Настройте глубину прокола ланцета, повернув головку колпачка прокалывателя на необходимый (от 1 до 5 по шкале) уровень. Более высокий уровень соответствует более глубокому проколу кожи.



Оттяните назад ручку прокалывателя, взведя его. Прижмите прокалыватель к месту пальца, где собираетесь сделать прокол и нажмите кнопку спуска.



Чтобы уменьшить риск заражения использованным ланцетом, сразу выбросьте его.

Натощак у здоровых взрослых концентрация глюкозы в крови находится *в пределах от 3,9 до 6,1 ммоль/л*. Через 2 часа после еды, в норме уровень глюкозы должен быть не больше 7,8 ммоль/л. Повышенный уровень аскорбиновой кислоты, мочевой кислоты, парацетамола, общего билирубина или триглицеридов в крови могут исказить результаты теста.

Вещество	Ограничение
Аскорбиновая кислота	> 43мкмоль/л
Мочевая кислота	>476 мкмоль/л
Парацетамол	>400 мкмоль/л
Общий билирубин	>34мкмоль/л
Триглицериды	> 10 г/л

Повышение уровня глюкозы (*гипергликемия*) может быть связано с различными факторами, включая сахарный диабет, физические нагрузки, сильные эмоции, стресс, курение, выброс адреналина при инъекции, эндокринная патология, заболевания поджелудочной железы, заболевания печени и почек, прием тиазидов, кофеина, эстрогенов, глюкокортикоидов.

### *Контрольные вопросы*

1. Что входит в состав тест-полосок электрохимического глюкометра? Какую роль играет глюкозооксидаза? Для чего необходим медиатор переноса электронов. Какие вещества выполняют функцию медиатора?
2. Изобразите схему электрохимических реакций с участием глюкозы и компонентов, закрепленных на электроде при работе биосенсора. До какого продукта окисляется глюкоза?
3. Какой электрический сигнал измеряется в глюкометре? Как он преобразуется в концентрацию глюкозы?
4. Что обеспечивает высокую селективность определения глюкозы с помощью биосенсора? Какие компоненты, содержащиеся в крови, могут вызвать помехи при работе глюкометра? Почему?
5. Для чего проводится контроль содержания глюкозы в крови человека? Каковы нормы содержания глюкозы в крови?
6. Как проводится лабораторный анализ глюкозы в крови? В чем его преимущества и недостатки по сравнению с методом, основанным на использовании глюкометра?
7. В каких объектах, помимо крови, и для чего необходимо определять содержание глюкозы? Какие продукты питания содержат большое количество глюкозы?

## КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ

Действие *кондуктометрических сенсоров* основано на измерении электропроводности растворов (солемеры) или полупроводниковых материалов (полупроводниковые газовые сенсоры), которая зависит от содержания анализируемого вещества.

### Лабораторная работа

#### «Солемер: определение минерализации воды»

Приборы для измерения электропроводности растворов – кондуктометры не являются селективными, поскольку измеряемая характеристика (удельная электропроводность, УЭП) зависит от суммарной концентрации всех присутствующих в растворе ионов. Однако в случае однокомпонентных растворов электролитов кондуктометрические измерения позволяют точно определять концентрацию электролита. Для определения *«общей минерализации воды» («солесодержания»)* природного происхождения, в состав которой обычно входят ионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , по результатам измерения УЭП используют приближенную формулу (\*):

$$S = k * \text{УЭП}_{25}$$

S – содержание солей в воде, мг/кг;

$k=0,4-0,6$ ;

$\text{УЭП}_{25}$  – УЭП воды при 25°C, мкСм/см.

В соответствии с нормами СанПиН 2.1.4.1116-02 физиологически полноценной считается вода, *минимальный показатель* общей минерализации которой равен 100 мг/л, *максимальный* – 1000 мг/л. В бутилированной воде высшей категории значение суммарной концентрации растворенных солей должно быть от 200 мг/л до 500 мг/л. Для расфасованной воды первой категории нормативная величина составляет 1000 мг/л.

Порог ощущений для сульфатов находится на уровне 500 мг/л, а для хлоридов – на уровне 350 мг/л. Показатели, равные 1200 мг/л вызывают присутствие горечи. Привязанности, привычки людей отличаются. В регионах, где вода всегда имела повышенную или пониженную минерализацию происходит адаптация вкуса. Большинству потребителей нравится вкус воды, содержащей около 600 мг/л солей.

### **Классификация воды по уровню общей минерализации**

<b>Класс</b>	<b>Минерализация, г/л</b>
Пресные	<1
Слабоминерализованная вода	1 - 2
Вода малой минерализации	2 - 5
Вода средней минерализации	5 - 15
Вода высокой минерализации	15 - 30
Рассольная вода	35 - 150
Крепкорассольная вода	≥ 150

#### *Оборудование и реактивы*

- кондуктометр лабораторный любой модели с инструкцией по применению
- кондуктометрический датчик погружного типа с инструкцией по применению
- портативный солемер (TDS-тестер) любой марки с инструкцией по эксплуатации
- стандартные растворы NaCl с концентрацией 0,1 – 4 г/л

#### *Ход работы*

- Ознакомиться с внешним видом, техническими характеристикам и правилами работы на лабораторном кондуктометре Эксперт-002.



Эксперт -002 (НПП Эконикс)

**Технические характеристики Эксперт-002  
(модификация 2-6)**

Диапазоны измерений величин УЭП	от 0,01 до 19,99 мкСм/см	от 0,1 до 199,9 мкСм/см	от 1 до 1999 мкСм/см	от 0,01 до 19,99 мСм/см	от 0,1 до 199,9 мСм/см
Дискретность представления результатов УЭП	0,01 мкСм/см	0,1 мкСм/см	1 мкСм/см	0,01 мСм/см	0,1 мСм/см
Режим переключения поддиапазонов измерения	автоматический/ручной				
Пределы допускаемой основной приведенной к верхнему значению поддиапазона погрешности измерений УЭП: $\pm 2\%$					
Температура контролируемой среды	+ 5 .....+55°C				
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений температуры контролируемой среды: $\pm 0.5$ °C					
Продолжительность выхода в режим измерений	не более 20 секунд				

Подключение к USB-порту ПК	есть, требуется адаптер COM-USB
Подключение термомпринтера	Есть
Питание аккумуляторное / сетевое	Да
Продолжительность непрерывной работы от полностью заряженного аккумулятора емкостью 1,2 А/ч: не менее 50 часов	
Габаритные размеры измерительного преобразователя, мм	240×340×100
Масса измерительного преобразователя	не более 2 кг

Кондуктометр относится к автоматизированным переносным кондуктометрическим анализаторам жидкости по ГОСТ 16851-71. Кондуктометр предназначен для измерения УЭП, температуры и расчетов по результатам измерений УЭП, приведенной к заданной температуре, удельного сопротивления, общей минерализации контролируемой среды. Контролируемая среда – вода, водные растворы веществ, прочие жидкости, сыпучие материалы, почва, не разрушающие материалы, применяемые в конструкции первичных преобразователей. Кондуктометры предназначены для использования в химико-технологических, агрохимических, экологических и аналитических лабораториях промышленных предприятий, научно-исследовательских учреждений, органов контроля, инспекции и надзора. Кондуктометры могут быть использованы в промышленных, лабораторных и полевых условиях.

– Ознакомиться с внешним видом, конструкцией и характеристиками кондуктометрического датчика (датчик УЭП) погружного типа, модель УЭП-П-С). В основу измерения УЭП растворов положен контактный метод измерения с использованием

четырёхэлектродной кондуктометрической ячейки. На токовые электроды ячейки подают переменное напряжение, на двух потенциальных электродах измеряют амплитуду напряжения и измеряют ток, проходящий через всю систему. По этим показаниям с учетом постоянной ячейки автоматически рассчитывают УЭП раствора.

В основу измерения температуры растворов положена зависимость сопротивления термочувствительного элемента при постоянном токе от температуры. Конструктивно термочувствительный элемент встроен в датчик УЭП. Приведение результатов измерения УЭП к заданной температуре производится кондуктометром автоматически в зависимости от температурного коэффициента УЭП контролируемой среды.



Датчик УЭП-П-С

– Измерить УЭП в стандартных растворах NaCl с известной концентрацией. Измерения проводить в порядке увеличения концентрации NaCl. Зафиксировать температуру растворов в ходе измерений.

**Для этого:**

– Ознакомиться с клавиатурой кондуктометра. Органы управления работой кондуктометра представлены клавиатурой, расположенной на лицевой панели блока измерений (БИ).

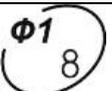
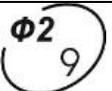
- Подключить датчик УЭП к соответствующему разъему БИ. Погрузить его в контролируемый раствор. В процессе измерений следует визуально контролировать отсутствие газовых пузырьков на электродах датчика УЭП. При их появлении встряхните датчик и удалите пузырьки.
- Включить прибор нажав клавишу «ВКЛ» и удерживая ее в течении 2 с. Дождаться входа прибора в режим измерений. На дисплее выводится следующая информация (для примера):



- По умолчанию, кондуктометр выполняет измерение УЭП в режиме автоматического выбора поддиапазона измерения УЭП.
- Дождаться стабильных показаний и записать результат.



Клавиатура кондуктометра Эксперт-002

	ввод цифры «1»; перебор веществ для пересчета общей минерализации раствора.
	ввод цифры «2».
	ввод цифры «3»; расчет удельного сопротивления (R, Ом/см) раствора; перебор веществ для пересчета общей минерализации раствора
	ввод знака «минус»; расчет общей минерализации в пересчете на выбранное вещество
	ввод цифры «5»; ввод температуры приведения
	ввод цифры «6».
	ввод знака «десятичная точка»; вход в режим измерения УЭП и R с приведением к заданной температуре; выбор автоматического или ручного режима ввода температуры.
	ввод цифры «7»; ввод значения температурного коэффициента и других численных данных.
	ввод цифры «8»; выбор режима приведения УЭП к заданной температуре по стандартам ISO; вход в программу настройки прибора.
	ввод цифры «9»; вызов справки.
	ввод цифры «0»; включение и отключение подсветки индикатора.

	перебор поддиапазонов измерений УЭП; переключение автоматического и ручного режимов ввода температуры.
	подтверждение ввода данных.
	включение питания кондуктометра (удерживать не менее 2 сек). отключение питания кондуктометра.

– Построить график зависимости УЭП от концентрации NaCl,

Концентрация NaCl, г/л	УЭП, мкСм/см	Температура, °С
0,1		
0,5		
1		
2		
4		
Контрольный раствор		

– Получить контрольный раствор NaCl определить его концентрацию по градуировочному графику.

Концентрация NaCl, г/л	
Полученное значение	Известное значение

– Сделать выводы.

*Определение минерализации воды с помощью кондуктометра*

В основу расчета общей минерализации водных растворов положен метод градуировочного графика. Метод градуировочного графика заключается в построении графика зависимости концентрации (или массовой доли) вещества в растворе от УЭП раствора. Для построения градуировочного графика могут использоваться растворы любых растворов электролитов. В память БИ вносятся градуировочные точки

зависимости содержания вещества в растворе (в мг/л или % масс.) от УЭП, по которым микропроцессор кондуктометра проводит автоматический расчет общей минерализации раствора в пересчете на данное вещество. В кондуктометре Эксперт – 002 в память БИ внесены градуировочные зависимости для хлористого натрия, хлористого калия и гидроксида натрия. Поэтому исходя из результатов расчета приведенной УЭП раствора можно сразу рассчитать общую минерализацию раствора в пересчете на любое из выбранных веществ.

– Измерить УЭП исследуемой воды с помощью кондуктометра. Для анализа взять водопроводную воду (без дополнительной очистки и после очистки с использованием различных фильтров), природную воду (речная, морская, прудовая, дождевая, подземная), бутилированную минеральную воду.

$$\text{УЭП} = \dots\dots$$

Определить общую минерализацию воды в пересчете на концентрации веществ, указанных в паспорте.

**Для этого:**

- Погрузить датчик в исследуемый раствор;
- Для перехода в режим измерения общей минерализации нажать клавишу «СОЛЬ». На дисплее выводится следующая информация (для примера):



- Выбор вещества для расчета общей минерализации осуществляется кнопками « $\blacktriangleleft$ » и « $\blacktriangleright$ ».
- При повторном нажатии кнопки «СОЛЬ» прибор вернется в режим измерения УЭП и температуры.

– Рассчитать минерализацию воды с использованием приближенной формулы (\*):

– Для приведения результата измерения УЭП к температуре, отличной от температуры контролируемой среды, находясь в состоянии измерения УЭП и температуры, включите режим «Термокомпенсация» нажатием кнопки «ТК». На дисплее выводится следующая информация (для примера):



Показания УЭП будут приведены к заданной температуре (по умолчанию, к 25°C с температурным коэффициентом  $K = 2,00\%$ , о чем свидетельствуют значения температуры приведения «25°C» и температурного коэффициента «K2.00%», проставленные рядом с номером поддиапазона). При повторном нажатии кнопки «ТК» прибор вернется в обычный режим измерения без приведения к заданной температуре.

<b>Минерализация исследуемой воды</b>			
В пересчете на NaCl, мг/л	В пересчете на KCl, мг/л	В пересчете на NaOH, %	Рассчитанная по формуле (*)

### *Определение минерализации воды с помощью TDS-тестера*

– Используя инструкцию, ознакомиться с характеристиками используемого EspadaTDSMeter 3 и правилами работы с ним.



Espada TDS Meter 3

### Технические характеристики Espada TDS Meter 3

Диапазон измерений TDS	0-999 ppm 1000-9900 ppm 1ppm (part per million)=1мг/л
Точность	+/-2%
Диапазон измерения температуры	0-80оС
АТС	автоматическая термокомпенсация (0-800С)
Калибровка	Заводская NaCl 342 ppm
Автоотключение	Через 10 мин
Источник питания	2X1,5 В тип 357А
Размеры (мм)	155X31X32
Вес ( с чехлом)	76,5 г
Сайт производителя	<a href="http://www.tdsmeter.com/products/ec3.html">www.tdsmeter.com/products/ec3.html</a>

Espada TDS Meter 3 предназначен для измерения солености и температуры воды. Он может быть использован для проверки качества водопроводной или сточной воды, мониторинга системы фильтрации воды, проверки питательных растворов для рыб и растений.

– Измерить минерализацию *исследуемой воды*.

### Для этого:

- Снять защитный колпачок.
- Включить прибор нажатием кнопки ON/OFF.
- Опустить нижнюю часть тестера в жидкость до максимального уровня 5 см.
- Слегка помешать для удаления воздушных пузырей.
- Дождаться стабилизации значений, выраженных в ppm, (примерно 10 с), нажать HOLD для запоминания результата. Мигающий результат  $\times 10$  означает необходимость умножения результата на 10.
- Если нажать на кнопку TEMP, то прибор переключится в режим измерения температуры в  $^{\circ}\text{C}$ . Для возврата в режим измерения TDS снова нажать кнопку TEMP.
- После использования промыть и высушить тестер, закрыть защитным колпачком.
- Сравнить полученное значение со значением минерализации (в пересчете на NaCl), измеренной с помощью лабораторного кондуктометра.

Минерализация воды	
TDS-тестер	Лабораторный кондуктометр (в пересчете на NaCl)

- К какому типу по уровню минерализации относится исследуемая вода?
- Сделать выводы по проделанной работе.

### *Контрольные вопросы*

1. Что такое удельная и эквивалентная (молярная) электропроводность раствора? Что такое подвижность ионов?
2. Как УЭП зависит от природы сильного электролита? От его концентрации?
3. Как УЭП зависит от температуры раствора?
4. Для чего при измерении электропроводности необходимо знать постоянную ячейки? Как она определяется?
5. На чем основан принцип работы солемера? Какие сущест-

вуют виды солемеров? Для чего они предназначены?

6. Что понимают под термином «общая минерализация воды» и «сухой остаток»? Как классифицируется вода по уровню общей минерализации?

7. Есть ли взаимосвязь между общей минерализацией и УЭП воды? Есть ли взаимосвязь между жесткостью и УЭП воды? Какой минерализацией характеризуется физиологически полноценная вода?

### **Лабораторная работа** **«Алкотестер: определение содержания этанола** **в выдыхаемом воздухе»**

*Алкотестеры* – это устройства для количественного определения содержания алкоголя в организме человека. Принцип работы различных моделей алкотестеров одинаков. При выдыхании воздуха из легких тестируемого человека воздух, попадает на датчик алкотестера. После обработки информации микропроцессор отображает результат по содержанию этанола в выдыхаемом воздухе на дисплее прибора.

Алкотестеры делятся на основные группы:

- 1) **Профессиональные.** Рассчитаны на проведение ежедневно не менее 150 тестов в день (до 300). Большинство профессиональных алкотестеров оборудованы электрохимическим датчиком (стоимость 8-90 тыс. руб.), также инфракрасным датчиком (стоимость 200-250 тыс. руб.). Такие устройства используют для обеспечения безопасных условий труда на крупных предприятиях. Профессиональные алкотестеры также применяются для процедуры освидетельствования медицинскими работниками или сотрудниками ГИБДД.
- 2) **Специальные.** Предназначены для проведения тестирования меньшего количества людей – от 5 до 30 тестов ежеднев-

но. Используются для контроля на небольших предприятиях. Для специальных алкотестеров предусмотрены и полупроводниковые, и электрохимические сенсоры. Некоторые модели могут применяться в медицинских учреждениях (стоимость от 4 тыс. руб.).

3) Индивидуальные (персональные). Предназначены для проведения в день не более 1-2 тестов. Его показания не могут использоваться как доказательства при спорных ситуациях, но позволяют водителю провести самоконтроль перед управлением транспортного средства (стоимость от 1 тыс. руб.).

По типу встроенного в прибор датчика выделяют три группы алкотестеров:

- 1) полупроводниковые (датчик полупроводниковый);
- 2) электрохимические (датчик электрохимический);
- 3) инфракрасный (датчик инфракрасный).

### **Сравнение алкотестеров с разными типами датчика**

<b>Тип датчика</b>	<b>полупроводниковый</b>	<b>электрохимический</b>	<b>инфракрасный</b>
Датчик	оксид олова, в состав которого добавлены катализирующие примеси	платиновый анод покрытый катализатором	ИК-излучатель
Предел измерения	до 1,9 ‰ или до 4*‰	до 2,5 ‰ или до 5 ‰	до 2 мг/л

Погрешность измерений, %	± 20	± 10	± 5
Температура эксплуатации, °С	0 ÷ 40	-5 ÷ 50	0 ÷ 50
Период регулировки	один раз в 1-2 мес.	1000 тестов или один раз в 12 мес.	один раз в 12 мес.
Стоимость	300 ÷ 9500 руб	1000 ÷ 150000 руб	200 ÷ 250 тыс. руб.
Преимущества	малое время отклика, простота использования	стабильность в работе, точность в измерениях, быстрая обработка полученных данных, температура окружающей среды практически не влияет на работу прибора	стабильность в работе, избирательность (по отношению к этанолу)
Недостатки	Частая регулировка прибора, Зависимость от окружающей температуры, большое время на обработку информации, пониженная избирательность		Много времени для получения обработанной информации, Большая зависимость от температуры окружающей среды

\*1 ‰ (промилле) =  $\frac{1}{1000} = 0,1\% = 0,001$

### *Принцип действия полупроводникового датчика.*

- Нагреватель увеличивает температуру датчика.
- При температуре 300-400°C поверхность датчика начинает адсорбировать (поглощать) содержащийся в воздухе кислород, образуется своеобразный барьер.
- Пары спирта вступают с адсорбированным кислородом в реакцию:  $C_2H_5OH + O_2 \rightarrow CH_3COOH + H_2O$
- В результате нарушается барьер на поверхности полупроводникового датчика этанола, и повышается его электрическая проводимость.
- Меняется электрический ток, проходящий через сенсор этанола. По изменению тока определяется концентрация этанола.
- На дисплее алкотестера появляются цифры или загорается определенный индикатор.



Полупроводниковый датчик этанола

### *Общая инструкция использования для алкотестеров.*

- Тестирование проводится не ранее, чем через 20-30 минут после употребления алкоголя.
- После первой неудачной попытки повторный продув проводить не ранее, чем через 10 минут, в некоторых устройствах позже.

- Не вдвухать в прибор воздух с содержанием сигаретного дыма, так как это может привести к повреждению датчика.
- Не промывать устройство спиртосодержащими жидкостями.
- Перед вдуханием воздуха рекомендуется прополоскать ротовую полость, чтобы исключить попадание на датчик остатков пищи и слюны.
- Перед вдуханием воздуха в алкотестер необходимо сделать глубокий вдох, затем в течение 4-6 секунд выдох в прибор. Рекомендуемый объем вдухаемого воздуха – около 1 литра.
- Степень опьянения и содержание этанола в выдыхаемом воздухе и в крови:

Степень опьянения	В выдыхаемом воздухе, мг/л	В крови, промилле*
Естественный уровень алкоголя в организме человека	0,045-0,17	0,1-0,3
<b>Состояние алкогольного опьянения (ГИБДД)</b>	<b>0,16 и более</b>	<b>0,3 и более</b>
Норма (по человеческим меркам)	0,18-0,44	0,4-0,9
Легкая степень опьянения	0,45-0,89	1,0-1,9
Средняя степень опьянения	0,9-1,34	2,0-2,9
Тяжелая степень опьянения	1,35-1,79	3,0-3,9
Коматозное состояние	1,8 и более	4,0 и более

$$*1 \text{ ‰ (промилле)} = \frac{1}{1000} = 0,1 \text{ ‰} = 0,001$$

### *Оборудование и реактивы*

– Полупроводниковый алкотестер любой модели с инструкцией по применению.

### *Ход работы*

– Изучить руководство по эксплуатации цифрового алкотестера.



Алкотестер Ritmix RAT-220

### Технические характеристики

- Персональный;
- полупроводниковый датчик;
- диапазон измерения: 0,00 - 1,9 ‰ или 0,0 - 1,9 г/л;
- точность измерения:  $\pm 0,01$  ‰ (0,1 г/л);
- время подготовки: до 10 сек;
- время измерения: до 10 сек;
- автоматическое выключение питания;
- размеры: 95\*35\*17 мм;
- рабочая температура:  $+5 \div +40^{\circ}\text{C}$ .

– Включить алкотестер нажатием на кнопку «питание». На дисплее отобразится символ «Warm-up» и начнется 10-секундный отсчет – это означает, что прибор находится в режиме разогрева.

– После процедуры разогрева устройство перейдет в режим «BLOW» (дыхание). Сделать спокойный выдох в ингалятор длительностью 3-5 секунд.

– На дисплее устройства отобразится результат содержания алкоголя в крови ВАС (BloodAlcoholContent), %

Показания будут отображаться на дисплее устройства примерно 8 секунд, после чего на дисплее устройства отобразится иконка «OFF» и устройство отключится.

Иконка *Caution* (Предупреждение) возникает при показаниях ВАС от 0,02 до 0,05 % (0,2-0,5 промилле). Иконка *Danger* (Опасность) при показаниях ВА Свыше 0, 05% (0,5 промилле).

– Время между повторяющимися тестами должно составлять примерно 3 минуты.

– Для последующих экспериментов выбрать студента с содержанием алкоголя до 0,03 %/

– Выпить около 100 мл кефира и через 10-20 минут провести определение алкоголя в выдыхаемом воздухе.

– Выпить около 100 мл чая (кофе) и через 10-20 провести определение алкоголя в выдыхаемом воздухе.

– Прополоскать рот спиртосодержащей жидкостью и снова провести определение алкоголя в выдыхаемом воздухе.

– Соответствуют ли полученные результаты нормам по содержанию алкоголя?

– Сделать выводы по проделанной работе.

### *Контрольные вопросы*

1. Что такое алкотестер? Какие бывают алкотестеры в зависимости от типа датчика?

2. В чем состоит принцип действия полупроводникового алкотестера?

3. В чем состоит принцип действия электрохимического алкотестера? Напишите уравнение реакции, протекающей на аноде.

4. В чем состоит принцип действия инфракрасного алкотестера?

5. Какие факторы могут повлиять на правильность показаний алкотестера?

6. Что такое промилле? Каковы нормы содержания этанола в крови? Какое количество этанола соответствует легкой, средней и тяжелой степени опьянения?

7. Дайте пояснения к таблице (0,3 промилле в зависимости от веса человека и типа алкогольного напитка)

Вес человека, кг	Пиво (5%), г	Сухое вино (10%), г	Водка, коньяк (40%), г	Чистый спирт, г
50	300	150	38	15
80	400	200	50	20
120	720	360	90	36

## ОПТИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ

В основе большинства оптических сенсоров лежит *молекулярная спектроскопия*, основанная на способности вещества поглощать или излучать электромагнитное излучение в *УФ, видимой или ИК- области спектра*. Измеряемый сигнал (оптическая плотность, интенсивность люминесценции) прямо пропорционален концентрации аналита в растворе. В случае неокрашенных или слабоокрашенных веществ перед измерением проводят реакцию аналита с подходящим фотометрическим реагентом.

### Лабораторная работа

#### «Портативный фотометр: определение железа в воде»

В природных водах вода может содержать железо в разных формах ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ). Содержание железа в воде выше 1–2 мг/л значительно ухудшает органолептические свойства, придавая ей неприятный вяжущий вкус, и делает воду непригодной для использования даже в технических целях. ПДК железа в питьевой воде составляет 0,3 мг /л.

Метод анализа железа основан на взаимодействии ионов  $\text{Fe}^{3+}$  в щелочной среде с сульфосалициловой кислотой с образованием окрашенного в желтый цвет комплексного соединения. Интенсивность окраски, пропорциональную массовой-

концентрации железа, измеряют при длине волны 400–430 нм. Диапазон измерения массовой концентрации общего железа без разбавления пробы 0,1–2,0 мг/л. (ГОСТ 4011-72).

#### *Реактивы и оборудование*

- спектрофотометр лабораторный любой модели с инструкцией по эксплуатации;
- портативный фотоколориметр любой модели с инструкцией по эксплуатации;
- стандартный раствор Fe(III) с концентрацией 1 г/ л;
- раствор сульфосалициловой кислоты (20 г кислоты в 100 мл воды);
- раствор хлорида аммония (10,7 г соли в 100 мл воды).

#### *Ход работы*

##### Определение железа с помощью спектрофотометра

- Ознакомиться с внешним видом, техническими характеристикам и правилами работы на спектрофотометре UNICO



Спектрофотометр лабораторный UNICO 2100

## Технические характеристики

Спектральный диапазон, нм	315 - 1000
Диапазон измерений спектральных коэффициентов направленного пропускания, %	1-99
Диапазон показаний спектральных коэффициентов направленного пропускания, %	0 – 125
Диапазон измерений оптической плотности, Б	0,01 – 2,0
Диапазон показаний оптической плотности, Б	-0,1 – 2,5
Пределы допускаемой абсолютной погрешности спектрофотометров при измерении спектральных коэффициентов направленного пропускания, %	±1,0
Пределы допускаемой абсолютной погрешности установки длин волн, нм	±2,0
Выделяемый спектральный интервал, нм	5
Уровень рассеянного света, %, не более	0,3
Дрейф показаний, Б/ч, не более	±0,002
Габаритные размеры (Д*Ш*В), мм	460*310*180
Масса, кг	10
Средний срок службы, лет	8
Потребляемая мощность, В·А	80
Напряжение питания частотой (50 ± 1) Гц, В	220 (+15 -20)%
<b>Условия эксплуатации:</b>	
-диапазон температур окружающего воздуха, °С	15 – 30
-диапазон относительной влажности окружающего воздуха (при 25 0С), %	20 – 80
- диапазон атмосферного давления, кПа	84 – 106

– Для построения градуировочного графика в мерные колбы вместимостью 50 мл добавить по 0, 1, 2, 5, 10, 20 мл раствора соли Fe(III) с концентрацией равной 5 мг/л (приготовить разбавлением исходного раствора в день анализа). Добавить 1 мл раствора  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 1 мл раствора сульфосалициловой кислоты, 1 мл раствора аммиака (1:1), довести до метки дистиллированной водой и тщательно перемешать. Оставить на 5 мин для развития окраски.

– Измерить оптическую плотность градуировочных растворов в кювете с длиной оптического пути 1 см при длине волны 430 нм. В качестве раствора сравнения использовать дистиллированную воду.

### **Для этого:**

– Включить прибор и прогрейте его 30 мин.

– Установить кювету с раствором сравнения и рабочим раствором в кюветодержатель.

– Убедиться, что кюветы обращены прозрачной стенкой к окну светового луча, уровень границы раствора в кювете выше границы окна светового луча.

– С помощью рукоятки кюветодержателя установить ячейку с кюветой с раствором сравнения на пути светового луча.

– Закрыть крышку кюветного отделения.

– Выбрать режим измерения основной с помощью клавиш  $\Delta$ ,  $\nabla$  и нажать клавишу ВВОД.

– Установить необходимую длину волны, для этого нажать клавишу УСТ  $\lambda$  и с помощью клавиш ввести нужное значение, после чего нажать клавишу ВВОД.

– Произойдет автоматическое обнуление по раствору сравнения.

– С помощью рукоятки кюветодержателя установить ячейку с кюветой с рабочим раствором на пути светового луча.

– Записать результат измерения.

– С помощью рукоятки кюветодержателя установить ячейку с кюветой с раствором сравнения на пути светового луча.

– Заменить рабочий раствор в кювете на другой раствор, предварительно ополоснув кювету новым рабочим раствором.

- При каждой смене кювет с рабочим раствором рекомендуется проводить повторное обнуление, для этого нажать клавишу 0A/100%T.
- Вновь с помощью рукоятки кюветодержателя установить ячейку с кюветой с рабочим раствором на пути светового луча и запишите результат измерения. И т.д.
- Данные занести в таблицу (ниже).

Определение железа (III) с помощью  
портативного фотометра

- Ознакомиться с внешним видом, техническими характеристикам и правилами работы на фотоколориметре.

Фотоколориметр Экотест-22020 (ООО НПП Эконикс)

**Технические характеристики «Экотест-202**

Длины волн светодиодов, нм	400±5; 430±5; 470±5; 502±5; 525±5; 620±5; 660±5; 850±5
Диапазон измерений коэффициента пропускания, T%	1 – 100
Диапазон измерений оптической плотности A	0 – 2
Погрешность при изменении коэффициента пропускания не более	2 %
Длина оптического пути, мм	10
Масса, кг	0,6
Габаритные размеры, мм	230x120x50

Фотоколориметр представляет собой малогабаритный переносной прибор, выполненный на микропроцессоре с автономным питанием и индикацией результатов измерений на жидкокристаллическом дисплее. Принцип действия фотоколориметров основан на измерении коэффициентов зонального пропускания водных и неводных растворов с последующим определением массовых концентраций веществ по градуиро-

вочным графикам. В качестве источников излучения используется 1 или 8 высокостабильных полупроводниковых светодиода, определяющих рабочий диапазон длин волн излучения. В качестве приемника излучения используется фотодиод. Фотокориметр имеет интерфейс RS232 для связи с IBM-совместимыми компьютерами. Управление и обработка информации может проводиться как при помощи встроенной клавиатуры, так и внешнего компьютера со специализированным программным обеспечением.

– Измерить оптическую плотность градуировочных растворов в кювете с длиной оптического пути 1 см при длине волны 430 нм. В качестве раствора сравнения (фон) использовать дистиллированную воду.

#### **Для этого:**

- Включить прибор, нажав клавишу «ВКЛ».
- С помощью клавиш «←», «→» выбрать необходимую длину волны.
- Установить в кюветный отсек кювету с раствором сравнения и закрыть ее крышкой.
- Нажать клавишу «ВВОД», появится надпись «Измерить фон?». Нажать еще раз клавишу «ВВОД» для подтверждения.
- По окончании измерения заменить кювету с раствором сравнения на кювету с предварительно подготовленным исследуемым раствором и закрыть крышкой.
- Нажать клавишу «ВВОД», на экране прибора появится надпись «Изм. образец?». Нажать повторно клавишу «ВВОД» для подтверждения.
- По окончании измерения заменить раствор в кювете на другой раствор
- В зависимости от количества градуировочных растворов, повторить предыдущие пункты.
- Для выключения прибора нажмите клавишу «ОТКЛ».
- Данные занести в таблицу:

Концентрация Fe(III), мг/л	А спектрофотометр	А портативный фотоколориметр
0		
0,1		
0,2		
0,5		
1,0		
2,0		

– Построить градуировочные графики для измерений, сделанных с использованием спектрофотометра и фотоколориметра (на одном рисунке). Сопоставить их.

– Отобрать мерной пипеткой 25 мл *исследуемой воды* в мерную колбу объемом 50 мл. Добавить 1 мл раствора  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 1 мл раствора сульфосалициловой кислоты, 1 мл раствора аммиака (1:1), довести до метки дистиллированной водой и тщательно перемешать. Оставить на 5 мин для развития окраски. Измерить оптическую плотность раствора и рассчитать содержание железа в воде, используя градуировочные графики.

### Концентрация Fe(III) в воде

А спектрофотометр	Концентр. Fe(III), мг/л спектрофотометр	А портативный фотоколориметр	Концентр. Fe(III), мг/л портативный фотоколориметр

– Сопоставить между собой полученные с помощью различных приборов результаты. Сопоставить найденное значение с ПДК железа в питьевой воде.

– Сделать выводы по проделанной работе.

### *Контрольные вопросы*

1. Что используется в качестве источников излучения в спектрофотометрах и портативных фотометрах? Какова спектральная область работы этих приборов?
2. В оптических сенсорах для распространения света часто используют оптические волокна. Что это такое?
3. На чем основан качественный спектрофотометрический анализ? Приведите примеры.
4. Напишите формулу, отражающую закон Бугера-Ламберта-Бера. Поясните все входящие в нее величины.
5. Для количественного определения озона в воде бассейнов часто применяют портативные фотометры. На каких фотометрических реакциях может быть основан этот анализ?
6. Оптический сенсор для определения газообразного аммиака в качестве чувствительного элемента содержит тефлоновую мембрану, контактирующую с водным раствором, содержащим хлорид аммония и индикатор бромтимоловый синий ( $pK=7$ ,  $30 \lambda=618$  нм). Поясните как он работает?
7. В чем преимущество оптических сенсоров перед электрохимическими?

### **Лабораторная работа «Фотометрический глюкометр: определение глюкозы в крови»**

Фотометрический принцип работы глюкометра заключается в том, что в зависимости от уровня глюкозы происходит изменение цвета реагента, который нанесен на чувствительную зону тест-полоски. Сухие реагентные зоны тест-полосок содержат глюкозооксидазу и пероксидазу и реализуют глюкозооксидазно-пероксидазную реакцию, в ходе которой в результате взаимодействия с перекисью водорода, образующейся при окислении глюкозы, исходные неокрашенные реагенты образуют

окрашенный продукт (максимум поглощения при 505 нм).



Количество хромогенного продукта пропорционально концентрации глюкозы. Глюкометры в этом случае выполняют роль *портативных отражательных фотометров*. При работе с ранними моделями приборов приходилось через некоторое время удалять капельку крови с реакгентной зоны, чтобы не мешать работе фотометра. Большинство современных моделей предлагает более удобную, не требующую этой операции работу со специально сконструированными тест-полосками, имеющими особый слой, который выполняет роль фильтра, задерживающего клетки крови, губки-резервуара, собирающего необходимое количество жидкости, и гладкой поверхности, помогающей отражать свет. Фотометрический принцип измерения не совсем точен. На проведение анализов оказывают влияния многочисленные факторы, которые искажают получаемые результаты. Фотометрический принцип измерения имеют в основном глюкометры «старого поколения».

#### *Оборудование и реактивы*

– фотометрический глюкометр любой модели с набором тест-полосок и инструкцией по применению.



Глюкометр ACCU-CHECK Active

### Технические характеристики

- Метод: фотометрический, глюкозооксидазный.
- Диапазон измерений: 0,6-33,3 ммоль/л.
- Время измерения: 5 секунд.
- Объем капли крови: 1-2 мкл.
- Объем памяти: 500 результатов измерений с указанием времени и даты.
- Напоминание о проведении измерения после еды.
- Расчет средних значений за 7, 14, 30 и 90 дней до и после приема пищи.
- Автоматическое кодирование.
- Передача данных на ПК через микро-USB.
- Длительность работы батарейки: примерно 1000 измерений.
- Автоматическое включение и выключение.
- Автоматическое включение при введении тест-полоски.
- Прибор отключается через 30 секунд или 90 секунд в зависимости от режима работы.
- Предупреждение об истекшем сроке годности тест-полоски.

- Условия хранения: от  $-25^{\circ}\text{C}$  до  $+70^{\circ}\text{C}$  без батарейки / от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  с батарейкой.
- Рабочая температура системы: от  $+8^{\circ}\text{C}$  до  $+42^{\circ}\text{C}$ .
- Рабочий диапазон относительной влажности: более 85%.
- Рабочая высота: до 4000 м над уровнем моря.
- Дисплей: жидкокристаллический дисплей (ЖКД) с 96 сегментами.
- Размеры: 97,8 x 46,8 x 19,1 мм.
- Вес: 50 г с батарейкой.

### *Ход работы*

- Используя инструкцию, ознакомиться с характеристиками глюкометра, его панелью управления, правилами работы.
- Изучить внешний вид тест-полосок и правила их использования.
- Изучить технику применения устройства для прокалывания.
- Измерить содержание глюкозы в крови.
- Сделать выводы по проделанной работе.

### *Контрольные вопросы*

1. Что входит в состав тест-полосок фотометрического глюкометра? Объясните назначение каждого компонента.
2. Изобразите схемы химических реакций с участием глюкозы и компонентов, закрепленных на электроде при работе фотометрического биосенсора.
3. Каков принцип работы фотометрического глюкометра? Какой сигнал измеряется в этом биосенсоре?
4. Какие основные компоненты оптической системы фотометра присутствуют в фотометрическом глюкометре?
5. Как изменение окраски тест-полоски преобразуется в концентрацию глюкозы при работе глюкометра?
6. Какие вещества, содержащиеся в крови, могут вызывать помехи при использовании фотометрических глюкометров?
7. С чем связана меньшая точность фотометрических глюкометров по сравнению с электрохимическими?

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Баника Ф. Химические и биологические сенсоры: основы и применение. М.: Техносфера, 2014.– 880 с.

Эггинс. Б. Химические и биологические сенсоры. М.: Техносфера, 2005.– 336с.

Каттралл Р. В. Химические сенсоры. М.: Научный мир, 2000.– 144с.

Химические сенсоры. Проблемы аналитической химии. Том 14. М.: Наука, 2011.–399с.

Биосенсоры: основы и приложения (под ред. Тернера Э. и др.) М.: Мир, 1992. –588с.

Отто М. Современные методы п аналитической химии. М.: Техносфера, 2008. –544с.

Будников Г. К. Что такое химические сенсоры//Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 3. – С.72-76.

Егоров А. А., Егоров М. А., Царева Ю. И. Химические сенсоры: классификация, принципы работы, области применения // Физико-химическая кинетика в газовой динамике, 2008. – Т.6. С. – 1-17.

Власов Ю. Г. Легин А. В., Рудницкая А. М. Мультисенсорные системы типа электронный язык – новые возможности создания и применения химических сенсоров. // Успехи химии, 2006. – Т. 75. – № 2. – С. 141-150.

Петрухин О. М., Максименко О. О. Сенсоры в аналитической химии // Рос.хим.журн, 2008. – Т. 52. – №2. – С. 3-6.

Саввин С. Б., Кузнецов В. В., Шереметьев С. В., Михайлова А. В. Оптические химические сенсоры (микро- и наносистемы) для анализа жидкостей // Рос. хим. журн, 2008. – Т. 52. – №2. – С. 7-16.

Обвинцева Л. А. Полупроводниковые металлооксидные сенсоры для определения химически активных газовых примесей в воздушной среде // Рос. хим. журн, 2008. – Т. 52. – №2. – С.113-121.

Штыков С. Н., Русанова Т. Ю. Наноматериалы и нанотехнологии в химических и биохимических сенсорах: возможности и области применения // Рос. хим.журн. 2008. – Т. 52. – №2. – С. 92-100.

*Учебное издание*

Кропачева Татьяна Николаевна

## **ХИМИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ**

Учебно-методическое пособие

*Авторская редакция*

*Компьютерная верстка А.Ж. Фаттахова*

Подписано в печать 01.02.2023. Формат 60 x 84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Усл. печ. 4,77 Уч.-изд. л. 4,09.  
Тираж 26 экз. Заказ № 295.

Издательский центр «Удмуртский университет»  
426034, г. Ижевск, ул. Ломоносова, 4Б, каб 021  
тел :+7(3412)916-364 E-mail: editorial@udsu.ru

Типография  
Издательского центра «Удмуртский университет»  
426034 Ижевск, ул Университетская,1, корп.2.  
тел + 7(3412)685-718