

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»
Кафедра безопасности жизнедеятельности

В.А. Солопова, В.А. Литвинов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА В ПОМЕЩЕНИИ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических указаний для студентов, обучающихся по программам высшего образования по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность

Оренбург
2017

УДК 658.3 (076.5)
ББК 30 н я 7
С 60

Рецензент - кандидат технических наук, доцент Е.Л. Горшенина

- Солопова, В.А.**
С 60 Определение содержания кислорода в помещении: методические указания / В.А. Солопова, В.А. Литвинов; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2017. – 22 с.

Методические указания предназначены для проведения лабораторных работ с прибором ГХ-М. Работы с прибором предполагают анализ воздушной среды на содержание кислорода с помощью индикаторных трубок. В методических указаниях приведена краткая теоретическая часть, позволяющая студенту самостоятельно освоить данный вопрос, представлено описание используемых приборов, порядок измерения, техника безопасности и указания по составлению отчета.

Методические указания предназначены для бакалавров, изучающих курс безопасность труда.

УДК 658.3 (076.5)
ББК 30 н я 7

© Солопова В.А.,
Литвинов В.А., 2017
© ОГУ, 2017

Содержание

1	Цель работы.....	4
2	Теоретическая часть.....	4
2.1	Кислород и его влияние на жизнедеятельность организма человека.....	4
2.2	Устройство индикаторных трубок.....	6
2.3	Измерение атмосферного давления.....	8
3	Экспериментальная часть.....	12
3.1	Применяемые приборы и оборудование.....	12
3.2	Указания по технике безопасности.....	16
3.3	Порядок проведения эксперимента.....	17
4	Обработка, анализ полученных результатов и выводы.....	18
5	Указания по составлению отчета.....	18
6	Вопросы для самоконтроля.....	19
	Список использованных источников	20
	Приложение А Таблица А.1 – Значения поправочного коэффициента для корректировки показаний газоопределителя в зависимости от атмосферного давления.....	21
	Приложение Б Таблица Б.1 – Сравнительная характеристика содержания кислорода в воздухе помещений.....	22

1 Цель работы

1.1 Изучить методику определения содержания кислорода с помощью газоопределителя ГХ-М.

1.2 Дать оценку анализируемого вещества в воздухе, определяемого по длине слоя индикаторного порошка.

2 Теоретическая часть

2.1 Кислород и его влияние на жизнедеятельность организма человека

Кислород – второй по количественному содержанию газ атмосферы, играющий важнейшую роль во многих процессах биосферы, критически необходимый для самого процесса жизни на Земле. Основной формой существования кислорода является двухатомная молекула O_2 . Кислород является самым распространенным элементом на Земле. В атмосферном воздухе содержится 23,15 % (по весу) и 20,93 % (по объему) кислорода. Кислород находится в свободном состоянии, он занимает второе место после азота. Кислород входит в состав всех веществ, из которых построены живые организмы; в организме человека его содержится около 65 %. Он входит в состав белков, жиров, углеводов, из которых построены все организмы в растительном и животном мире.

Присутствие кислорода в воздухе является необходимым условием для основного жизненного акта – дыхания. Кислород относится к органогенам, которые составляют основу живых систем. Организму человека в состоянии покоя требуется кислорода 264 мл/мин. За сутки его потребляется порядка 300 л, а при тяжелой работе потребность в кислороде в десятки раз больше. Кислород имеет исключительно большое биологическое значение. Роль

кислорода в жизнедеятельности организма обусловлена наличием в нем неспаренных электронов, обладающих высокой реакционной способностью, потому кислород характеризуется высокими окислительными свойствами и является своеобразным акцептором электронов в биологических системах.

Пребывая на свежем воздухе, человек насыщается кислородом, и клетки головного мозга качественно снабжаются кислородом, вследствие этого улучшается самочувствие и настроение в целом. При кислородном голодании возникает сбой в работе любого органа, потому что не только головной мозг нуждается в питании кислородом. Проживание в мегаполисе, с его густо населенностью и загазованностью, приводит к приступам удушья у людей среднего возраста. Это объясняется тем, что загазованный воздух – благоприятная среда для развития патогенной микрофлоры (различных вирусов и инфекций).

От кислорода зависит все многообразие реакций, протекающих в организме, также кислород участвует во всех видах обмена веществ. Длительное пребывание в непроветриваемых помещениях, лишенных кислорода – негативно сказывается на самочувствии работающего человека. При этом важное значение имеет процентное содержание кислорода в газовой смеси, вдыхаемой человеком. Снижение содержания кислорода до 19 % при нормальном атмосферном давлении без увеличения содержания углекислого газа практически не влияет на дыхательную функцию и работоспособность работающего человека. Снижение содержания кислорода до 17 % приводит к увеличению частоты дыхания, снижению чувствительности глаз, иногда к нарушению координации движений. При дальнейшем уменьшении кислорода появляется ощущение слабости, головокружения, замедленная реакция на раздражители. А напротив стопроцентное содержание кислорода во вдыхаемом воздухе приводит к поражению легочной ткани. Влияние содержания кислорода в воздухе помещений на здоровье человека представлено в таблице Б.1 приложения Б.

2.2 Устройство индикаторных трубок

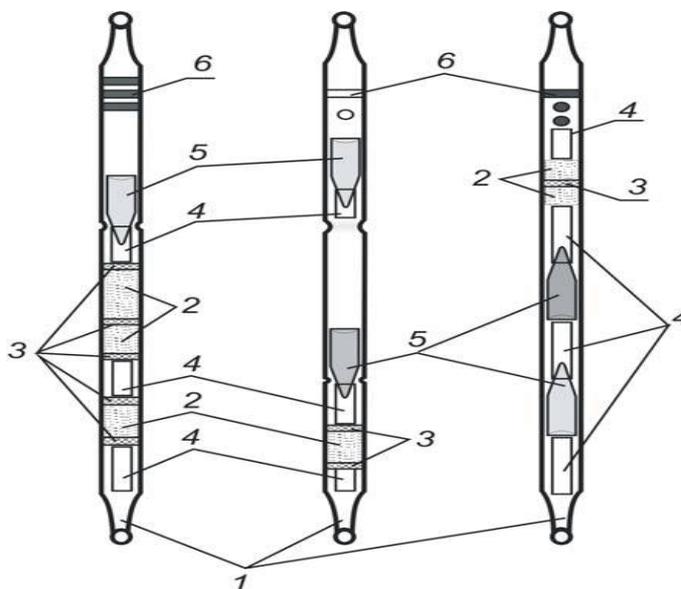
Для определения содержания кислорода в воздухе необходимо использовать методы, основанные на химических реакциях сорбента с помощью индикаторных трубок. Индикаторная трубка представляет собой герметичную стеклянную (в редких случаях полимерную) трубку, заполненную твердым носителем (сорбентом), обработанным активным реагентом. Положение наполнителя (индикаторного порошка) в трубке фиксируется воздухопроницаемыми прокладками (тампонами). Трубки герметизируют запаиванием.

Известно большое число конструкций индикаторных трубок: трубки, весь заполняющий слой в которых является индикаторным; с разрушаемыми ампулами; комбинированные трубки, содержащие несколько реакционных слоев, помещенных в отдельные трубки, которые соединены эластичными пластмассовыми трубками; трубки с продольными секциями и другие конструкции (рисунок 1). Габаритные размеры индикаторных трубок лежат в пределах: длина от 80 до 160 мм, диаметр от 4,0 до 6,5 мм. Наполнитель индикаторной трубки может состоять из нескольких слоев, если последние устойчивы при совместном хранении.



Рисунок 1 - Внешний вид индикаторных трубок

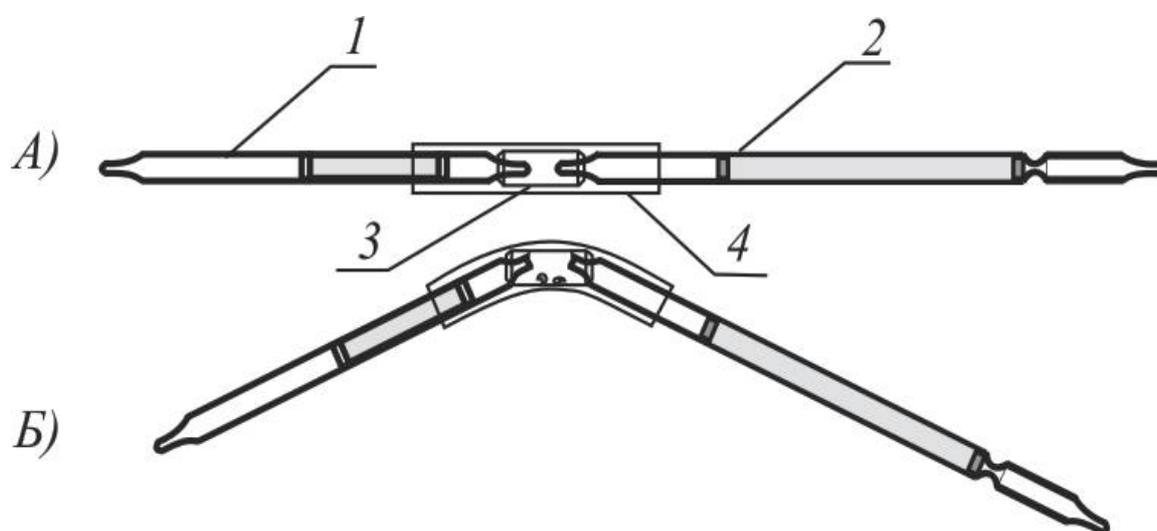
Наполнитель в таких трубках ограничен с двух сторон тампонами из гигроскопической ваты или стекловолокна в зависимости от окислительной способности порошка. Положение одного из тампонов в трубке может фиксироваться перетяжкой, обтекателем или перфорированной прокладкой. Второй тампон закрепляется в определенном положении за счет упругости материалов наполнителя и тампона или с помощью сетчатого колпачка. Некоторые индикаторные трубки содержат между наполнителем и тампонами слой силикагеля. В некоторых индикаторных трубках используют реагенты, состоящие из нескольких компонентов, которые при длительном совместном хранении разрушаются. Вследствие этого часть компонентов помещают в ампулы или выделяют во вспомогательную трубку (фильтрующую). Если один из компонентов реактивов индикаторной трубки в виде жидкости или твердого тела (гранулы) располагается в ампуле, то компоненты смешиваются непосредственно при использовании индикаторной трубки (рисунок 2).



1 – корпус трубки; 2 – наполнитель; 3 – ватный тампон; 4 – обтекатель;
5 – ампулы с индикатором; 6 – маркировочное кольцо

Рисунок 2 – Примеры конструкций индикаторных трубок с разрушаемыми ампулами на примере общевойсковых трубок

Фильтрующая трубка, как правило, представляет собой герметично запаянную стеклянную трубку, заполненную фильтрующим порошком, который может состоять из одного или нескольких фильтрующих слоев. Перед выполнением измерений вскрытые фильтрующую и индикаторную трубки соединяют отрезком шланга. Существуют и неразборные комбинации из двух трубок, соединенных отрезком шланга со встроенным вскрывателем для внутренних концов трубок (рисунок 3). Комбинация фильтрующей и индикаторной трубок представляет собой «измерительный модуль».



А) Внешний вид (1 – фильтрующая трубка, 2 – индикаторная трубка, 3 – вскрыватель, 4 – соединительный шланг);

Б) Вскрытие внутренних концов трубок при перегибании соединения

Рисунок 3 – Неразборная комбинация из двух трубок

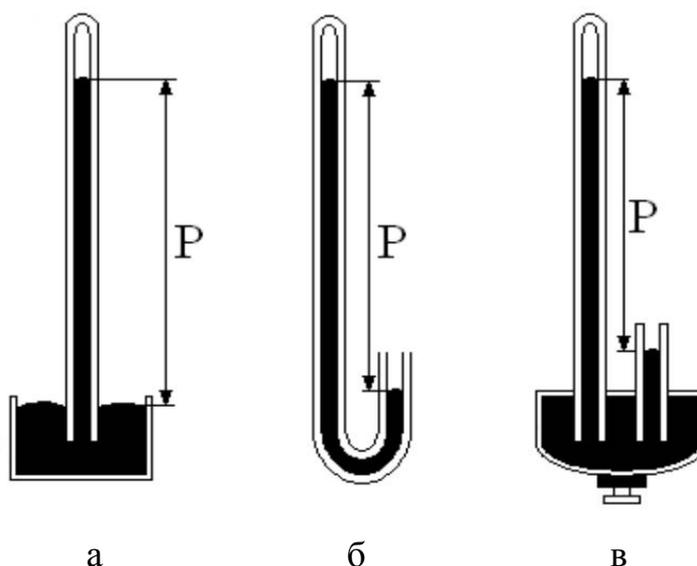
2.3 Измерение атмосферного давления

Для расчета содержания кислорода в воздухе необходимо учитывать значения поправочного коэффициента на величину атмосферного давления. Изменение атмосферного давления приводит к нарушению равновесия

между газовой и растворенной фазами веществ организма и снижению качества газообмена. При резком повышении давления нарушается дыхательная деятельность, возможен разрыв ткани легких. При атмосферном давлении до 70 мм.рт. ст. кислород не поступает в организм из-за разности парциальных давлений паров воды и углекислого газа, которые всегда присутствуют в организме и сумма их давлений приблизительно равна 70 мм.рт. ст.

Атмосферное давление на горизонтальную поверхность – это действующая на единицу площади этой поверхности сила, обусловленная весом вышележащей атмосферы. Давление равно весу вертикального столба воздуха, простирающегося от рассматриваемой поверхности до внешней границы атмосферы, с основанием, равным единице площади.

В метеорологии атмосферное давление измеряется с помощью ртутных, деформационных и других барометров. Различают три типа ртутных барометров: чашечные, сифонно-чашечные и сифонные (рисунок 4).



а – чашечного; б – сифонного; в – сифонно-чашечного

Рисунок 4 – Схематическое представление ртутных барометров

В автоматических станциях применяют компенсационные барометры, в которых изменение атмосферного давления уравнивается весом груза, перемещаемого по плечу рычага. Разрабатываются частотные барометры, в которых атмосферное давление определяют по собственной частоте колебаний резонатора. Эти барометры позволяют обеспечить наряду с высокой точностью измерений еще и экологическую чистоту, и безопасность измерения давления.

2.2.1 Методы измерения давления

Метод, базирующийся на измерении веса. Этот метод основан на измерении веса столба жидкости, которая уравнивает вес вертикального столба атмосферы, т.е. давление атмосферы. На этом принципе работают ртутные барометры. Если трубку длиной 900 мм, запаянную с одного конца, наполнить ртутью, а другой ее конец опустить в чашку (сосуд) с ртутью, то вытечет только то количество ртути, которое не уравнивается атмосферным давлением. Таким образом, если трубка находится в вертикальном положении, в ней останется столб ртути, уравниваемый атмосферным давлением. Если трубка в достаточной степени вакуумирована, т.е. давление $P_0 \leq 10^{-2}$ гПа, то давление, оказываемое ртутным столбом высотой H , равно атмосферному:

$$H\rho g = P_a \quad (1)$$

где ρ - плотность ртути, г/см³;

g - ускорение свободного падения, м/с²;

P_a - атмосферное давление, Па.

Таким образом, измерение атмосферного давления ртутными барометрами предусматривает точное измерение высоты ртутного столба над поверхностью ртути в чашке (сосуде).

Метод, базирующийся на измерении деформации. Мембрана из эластичного материала будет деформироваться, если давление на одной ее стороне будет больше, чем на другой. На практике используются запаянная металлическая коробка или несколько коробок (бароблок), сильфон, полностью или частично вакуумированные, с сильной металлической пружиной для предотвращения разрушения коробки под воздействием внешнего атмосферного давления. Для измерения деформации под воздействием разности давления внутренней и внешней среды коробки используются механические и электрические средства. На основе деформационного принципа с применением механических средств измерения сконструированы широко известные барометры – анероиды. Барометры–анероиды имеют недостаточно высокую стабильность измерения атмосферного давления во времени вследствие гистерезиса и нуждаются в частой калибровке.

Гипсометрический метод. Гипсометрический метод определения атмосферного давления основан на зависимости температуры кипения жидкости от давления. Жидкость начинает кипеть при температуре, при которой парциальное давление паров равно внешнему давлению на ее поверхности. В качестве жидкости при измерении давления гипсотермометром используется дистиллированная вода. Зная температуру кипящей воды, можно по специальным таблицам найти парциальное давление пара, а поскольку оно равно внешнему давлению, то, следовательно, равно и атмосферному. Этот метод измерения атмосферного давления применяется редко (в экспедициях, на речных или морских судах).

3 Экспериментальная часть

3.1 Применяемые приборы и оборудование

Для определения содержания паров и газов химических веществ в воздухе, появляющихся в процессе индустриального производства и при иных видах антропогенной деятельности, применяется газоанализатор химический многокомпонентный (ГХК). Газоанализатор ГХК состоит из насоса-пробоотборщика (рисунок 5) и индикаторных трубок, предназначенных для определения процентного содержания в атмосфере следующих газов и паров химических веществ: окислов азота, аммиака, сероводорода, углекислого газа, диоксида серы, хлора, хлороводорода, бензола, бензина, керосина, ацетона, толуола, ксилола, брома, уксусной кислоты, озона, бутанола, изобутана, уайт-спирита, пропанола, этанола, эфира, формальдегида, диэтилового, ацетилен.



Рисунок 5 – Внешний вид насоса-пробоотборщика

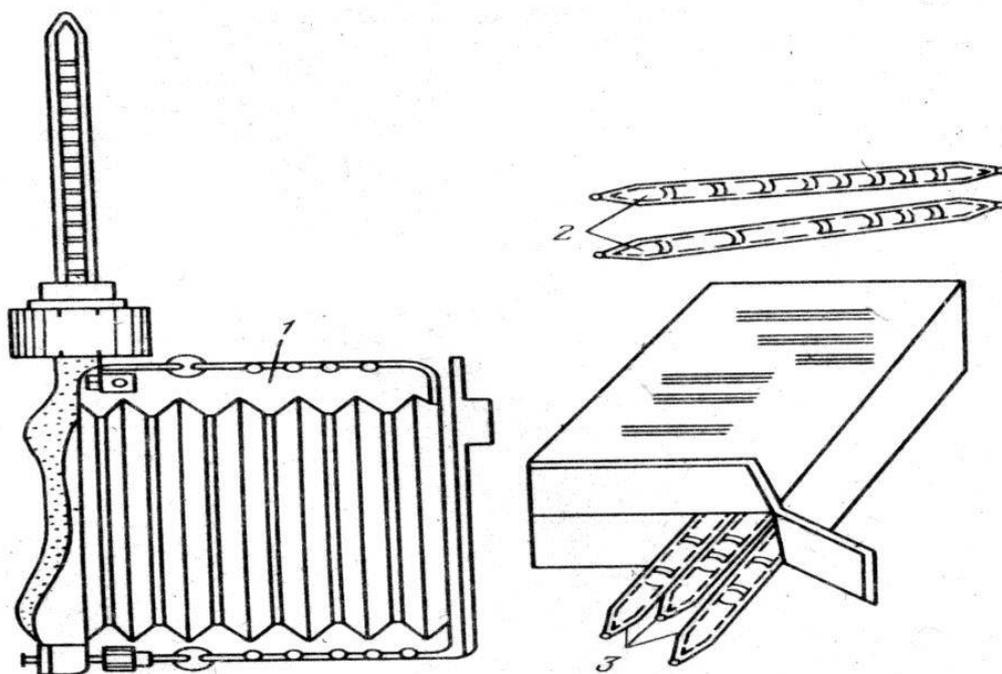
В таблице 1 показаны подробные характеристики для ГХ-М O₂-21.

Цифры в названии индикаторных трубок показывают, какую максимальную концентрацию газов с их помощью можно определить.

Таблица 1 – Метрологические и технические характеристики для ГХ-М O₂-21

Наименование характеристики	Значение характеристики
Диапазон измерения объемной доли, %	от 1 до 21
Пределы допускаемой основной погрешности, % - относительной	± 10
- абсолютной	-
Пределы допускаемой относительной дополнительной погрешности при отклонении температуры окружающей среды на каждые ± 10 °С, %	± 5
Объем исследуемой газовой пробы, см ³	100 ± 50
Время просасывания (100 ± 5) см ³ газовой пробы через трубку, с, не более	60
Габаритные размеры трубок, мм - длина	242 ± 3
- диаметр	8,8±0,6
Масса одного футляра с трубками, кг, не более	0,25

Газоопределитель химический ГХ-М (рисунок 6) представляет собой портативный химический прибор, принцип действия которого основан на изменении окраски индикаторной массы в трубке при пропускании через нее газовой смеси, содержащей определяемый газ, указываемый в названии трубки. На другие газы индикаторная масса реагировать не должна.



1 – аспиратор; 2 – индикаторная трубка; 3 – индикаторные трубки в футляре

Рисунок 6 – Газоопределитель химический ГХ-М

В результате химической реакции индикаторной массы и определяемого газа образуются химические вещества другого цвета. Чем больше окрашенный столбик в индикаторной трубке, при определённом количестве прокачиваний, тем преимущественно больше концентрация газа. Численное значение концентрации определяется по шкале, которая нанесена на индикаторной трубке или на коробке для данных трубок.

Метод определения кислорода газоопределителем основан на окислении кислородом хлорида хрома в соединении хрома с переходом окраски индикаторной массы из голубого в темно-зеленый цвет.

Аспиратор 1 представляет собой сифонный насос ручного действия, работающий на всасывание воздуха за счет раскрытия пружинами предварительно сжатого сиффона и выброса воздуха из сиффона через клапан при сжатии пружин.

Индикаторные и защитные трубки для газоопределителя ГХ-М представляют собой стеклянные трубки, герметизированные запайкой 2-х оттянутых концов. Индикаторные трубки заполнены индикаторными массами, взаимодействующими с определенным газом, защитная трубка – сорбентом, поглощающим углеводороды. Наполнитель трубок плотно удерживается в них фиксирующими фильтрами – прокладками.

В местах, где нужно определить концентрацию газов, вскрывают индикаторную трубку так, чтобы не нарушить прокладку и слой порошка. Запаянные концы трубок необходимо отламывать осторожно, во избежание попадания осколков в глаза, для чего необходимо держать аспиратор на расстоянии вытянутой руки, повернув голову в сторону. Индикаторную трубку плотно вставляют в резиновую трубку прибора. Стрелка на трубке при этом должна быть направлена к аспиратору. Сжимают резиновый мех до упора, а затем отпускают его. При этом исследуемый воздух просасывается через индикаторную трубку. Если окрашенная часть индикаторного порошка не достигла первого деления, делают столько просасываний, чтобы можно было наиболее точно определить концентрацию примеси. При этом подсчитывают количество просасываний. После чего индикаторную трубку накладывают на шкалу для определения концентрации исследуемого газа, которая, как правило, помещена на обратной стороне коробки с индикаторными трубками. Концентрации указаны здесь в процентах на 1000 мл просасываемого воздуха. Если количество просасываний было больше или меньше 10 (т. е. больше или меньше того объема, на который градуирована шкала), пересчет концентрации производится по формуле:

$$X = \frac{10 \cdot K}{n} \quad (2)$$

где X – определяемая концентрация, % об.;

K – концентрация по трубке, измеренная по шкале, % об.;

n – количество ходов меха (количество просасываний).

В некоторых случаях в зависимости от свойств анализируемого газа и состава индикаторного порошка отбор пробы воздуха проводится в объемах 100 или 1000 мл (10 просасываний). В этом случае расчет концентрации производится в соответствии с формулой, приведенной на упаковке индикаторных трубок.

Так как измерения проводятся в помещении лаборатории при постоянной температуре от 18 °С до 20 °С, то можно принять, что 1 грамм-молекула газа при нормальных условиях занимает объем 22,4 л. Таким образом, формула (3) примет вид:

$$K_x = \frac{X \cdot M \cdot 10^4}{22.4} \quad (3)$$

где K_x – концентрация газа в воздухе, мг/м³;

M – молярная масса газа, г.

3.2 Указания по технике безопасности

При подготовке и проведении анализов воздуха и других газовых сред при помощи индикаторных трубок и комплектов на их основе следует представлять основные факторы опасности. Соблюдение и учет требований безопасности позволит не только избежать риска травмирования студента, но и добиться хороших результатов измерений.

В процессе эксплуатации индикаторных трубок следует руководствоваться общими правилами безопасности, указанными в ГОСТ 12.1.005-88, ГОСТ 12.1.007-76, ГОСТ 12.1.014-84.

Некоторые операции, требующие осторожности и тщательности в работе, могут привести к травмам. Первую помощь при травмах можно оказать на месте, но после этого все равно необходимо сразу же обратиться к врачу. На рабочем месте в постоянной готовности должны быть средства для оказания первой медицинской помощи: пластырь, пакет с марлей, вата, 1–2 бинта (в том числе стерильный), ножницы, чистый платок.

3.3 Порядок проведения эксперимента

3.3.1 Ознакомиться с имеющимся прибором ГХ-М, принципом действия, правилами работы с ним и убедиться в его исправности.

3.3.2 Замерить температуру воздуха.

3.3.3 Замерить атмосферное давление воздуха с помощью лабораторного барометра-анероида.

3.3.4 Отломать конец трубки со стороны цифры 25 и вставить ее в аспиратор стрелкой к гнезду.

3.3.5 Отломать второй конец трубки и немедленно произвести просасывание воздуха через трубку одним ходом аспиратора.

3.3.6 Определить по шкале на трубке или на футляре содержание компонента в исследуемой газовой смеси по длине изменившего окраску слоя индикаторной массы, при этом если граница прореагировавшего слоя неровная, следует взять среднее значение длины.

3.3.7 Результат измерения и температуры занести в таблицу, при необходимости сделать соответствующую отметку на специальной полосе трубки (порядковый номер трубки, результат замера).

3.3.8 Полученное показание умножить на коэффициент К из таблицы А.1 приложения А.

3.3.9 Сделать вывод по таблице Б.1 приложения Б.

4 Обработка, анализ полученных результатов и выводы

4.1 Результаты проведенных измерений занести в таблицу 2.

4.2 Определить переход окраски индикаторной массы.

4.3 Сделать выводы об анализируемом элементе в воздухе.

Таблица 2 – Результаты проведенных измерений

Название элемента	Температура воздуха, °С	Давление, мм рт.ст.	Коэффициент, К	Цвет индикаторного порошка		Содержание O ₂ по шкале, %	Доля кислорода в исследуемой газовой смеси, %
				До опыта	После опыта		
кислород							

5 Указания по составлению отчета

Отчет должен содержать:

5.1 Цель работы.

5.2 Краткие сведения теоретической части.

5.3 Таблицу с результатами измерений.

5.4 Вывод по полученным результатам.

6 Вопросы для самоконтроля

- 6.1 Сколько в атмосферном воздухе содержится по весу и объему кислорода?
- 6.2 Какое значение имеет кислород для организма человека?
- 6.3 Изложить принцип действия индикаторных трубок.
- 6.4 Что показывают цифры в названии индикаторных трубок?
- 6.5 Назовите типы ртутных барометров.
- 6.6 Какие существуют методы измерения давления?
- 6.7 Изложить принцип действия и устройство химического газоопределителя ГХ-М.
- 6.8 Какой переход окраски индикаторной массы происходит при определении кислорода газоопределителем?

Список использованных источников

- 1 Белов, С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): учебник для академического бакалавриата / С. В. Белов. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Юрайт, 2015. – 702 с.
- 2 Макаров, Г.В. Охрана труда в химической промышленности : учебное пособие / Г.В. Макаров, А.Я. Васин, Л.К. Маринина. – М.: Химия, 2009. – 253 с.
- 3 Солопова, В.А. Лекции по эргономике: конспект лекций / В.А. Солопова. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009. – 115 с.
- 4 Корчагина, С. Х. Оценка воздушной среды по содержанию токсичных примесей : методические указания к лабораторной работе / С. Х. Корчагина, Л. Г. Проскурина. – Оренбург: Оренб. гос. техн. ун-т., 2002. – 14 с.
- 5 ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. - Введ. 1989-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 89 с.

Приложение А
(справочное)

**Поправочный коэффициент для корректировки показаний
газоопределителя**

Таблица А.1 – Значения поправочного коэффициента для корректировки показаний газоопределителя в зависимости от атмосферного давления

Атмосферное давление		Коэффициент, К
кПа	мм. рт.ст.	
96	720	1,03
97	730	1,01
99	740	1,00
100	750	0,98
101	760	0,97
103	770	0,96
104	780	0,95
105	790	0,93
107	800	0,92
108	810	0,91
109	820	0,90
111	830	0,89
112	840	0,88

Приложение Б (справочное)

Таблица Б.1 – Сравнительная характеристика содержания кислорода в воздухе помещений

Содержание кислорода, %	Характеристики	Состояние организма человека	Мероприятия
21,0	«эталон» свежего воздуха		
20,5	законодательно утвержденный стандарт минимального содержания кислорода в воздухе для помещений	Благоприятный для здоровья уровень содержания кислорода в воздухе	Не требуются
от 19 до 20,4	недостаточный уровень содержания кислорода в воздухе	Пребывание человека в помещениях с таким воздухом сопровождается быстрой утомляемостью, сонливостью, снижением умственной активности, головными болями	Необходима вентиляция
от 18 до 19	минимально допустимый уровень содержания кислорода	Длительное пребывание в помещениях с такой атмосферой опасно для здоровья	Необходима вентиляция
от 17 до 18	низкий уровень содержания кислорода	Пребывание в помещениях с такой атмосферой опасно для здоровья	Эвакуация из помещений
от 7 до 17	Опасно низкий уровень содержания кислорода в воздухе	Возникает головокружение, потеря сознания, а при дальнейшем уменьшении содержания кислорода - смерть	Эвакуация из помещений