



СПЕЦПОЖИНЖИНИРИНГ
ПОЖАРНАЯ И ГАЗОВАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ



Введение в технологии
обнаружения газов

Введение

Мы живем в газовой атмосфере Земли. Атмосфера делает нашу жизнь возможной, комфортной и безопасной.

Атмосферный воздух достаточно стабилен по составу и своей стабильностью обеспечивает постоянное поддержание жизни.

Состав воздуха иногда претерпевает изменения в локальных масштабах. Причиной этих изменений могут служить как природные явления (например, извержения вулканов), так и техногенные ситуации (выбросы газов с промышленных предприятий, утечки из трубопроводов, прочие аварии).

Организм человека и животных, а также растения привыкли к стабильному составу воздуха и не выживут, если он будет изменен.

Кроме этого, некоторые вещества, которые мы добываем, перерабатываем и используем в энергетике и промышленности таят в себе еще одну опасность - в смеси с воздухом они могут воспламеняться.

Опасные концентрации газов и паров в подавляющем большинстве случаев невозможно обнаружить органами чувств человека, поэтому важно изучать и знать свойства газов и паров, чтобы выбрать надежный способ защиты с помощью специальных технических средств, одними из которых являются газоанализаторы (или датчики газов).

Примечание

Настоящая статья содержит справочную информацию и некоторые общие данные и не может служить руководством для проектирования и выбора конкретных технических решений.

Вся информация для подготовки настоящей статьи была собрана в соответствии со знаниями специалистов АО «Спецпожинжиниринг», имеющих более 20 лет опыта в сфере технологий по обнаружению взрывоопасных и токсичных газов. Однако, эта информация не имеет обязательной юридической силы и АО «Спецпожинжиниринг» не несет никакой ответственности за последствия в виду частично утративших силу данных или их неточностях, а также в силу неверной трактовки данных.

Информация и данные, представленные в данной статье, постоянно претерпевают технические изменения и не всегда могут соответствовать последним достижениям науки и технологий.

Цель статьи - донести до читателя наиболее часто используемые на практике принципы и технологии обнаружения опасных концентраций газов через познание некоторых основных свойств этих газов.

При использовании продукции АО «Спецпожинжиниринг» должны применяться только руководства по эксплуатации и другая эксплуатационная документация, прилагаемая к оборудованию или системам.

При проектировании систем нужно сверять данные с актуальными нормами и стандартами, действующими на территории страны, где располагается объект проектирования.

Некоторые факты о газах



Вещество начинает интенсивно переходить в газообразное состояние при воздействии температуры, достигающей его точки кипения (в этой температурной точке давление паров становится равным атмосферному давлению).

При нормальных условиях окружающей среды (20 °С, 101,3 кПа) все вещества, температура кипения которых ниже 20 °С, являются газами.

Водород (H_2) является самым легким из газов (в 14 раз легче воздуха), а гексафторид вольфрама (WF_6) - самый тяжелый газ (примерно в 10 раз тяжелее воздуха).

Некоторые факты о газах



При нормальных условиях один кубический сантиметр газа содержит 30 триллионов молекул, среднее расстояние которых друг от друга составляет около трех нанометров.

Они перемещаются в пространстве со скоростью от нескольких сотен до тысяч м/с и каждую секунду они также сталкиваются с другими молекулами много миллиардов раз, при этом постоянно меняют свое направление и передают энергию другим молекулам, с которыми сталкиваются.

Некоторые факты о газах



$$PV = \frac{m}{M}RT$$

Температура, давление и объем газа всегда находятся в постоянном соотношении друг с другом и в идеальной ситуации эти три параметра подчиняются так называемому “Закону идеального газа”.

Температура воздуха, которую мы ощущаем, на самом деле ни что другое, как осязаемая нами энергия молекул всех входящих в состав воздуха газов.

При абсолютном нуле ($-273,15^{\circ}\text{C}$) энергия движения молекул и атомов сводится к своему минимуму.

Давление - это сила, действующая на поверхность всеми ударяющимися о нее молекулами.

Объем - понятие объемное :) и в нашем частном случае его можно принять за область пространства, в котором присутствует интересный нам газ или пар.

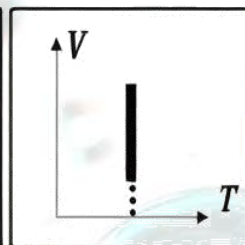
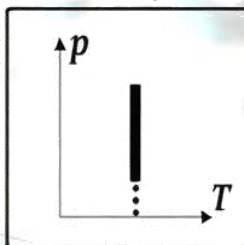
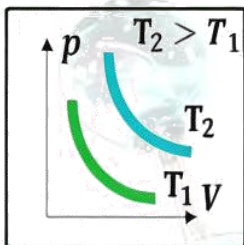
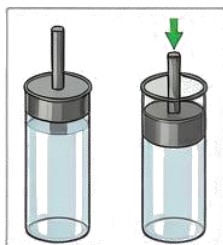
Изопроцессы

Из “Закона идеального газа” следуют частные законы - изопроцессы.

Изотермический процесс ($T = \text{const}, m = \text{const}$) $V \uparrow \Rightarrow N_{\text{уд}} \downarrow, E_{\text{к}} = \text{const} \Rightarrow p \downarrow$

$$pV = \text{const}$$

Закон Бойля-
Мариотта

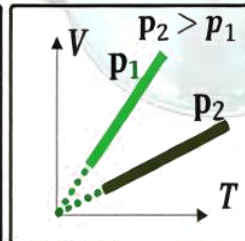
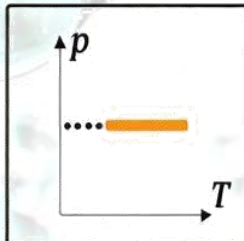
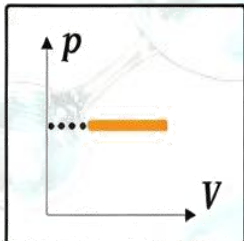


Изобарный процесс ($p = \text{const}, m = \text{const}$)

$T \uparrow \Rightarrow \overline{E}_{\text{к}} \uparrow \Rightarrow V \uparrow$

$$\frac{V}{T} = \text{const}$$

Закон Гей-
Люсака

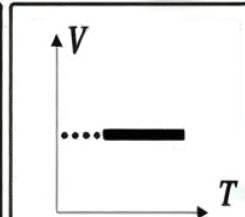
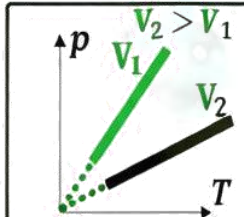
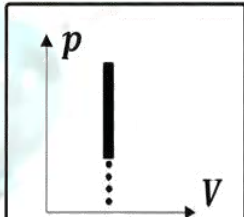


Изохорный процесс ($V = \text{const}, m = \text{const}$)

$T \uparrow \Rightarrow \overline{E}_{\text{к}} \uparrow, n = \text{const} \Rightarrow p \uparrow$

$$\frac{p}{T} = \text{const}$$

Закон Шарля

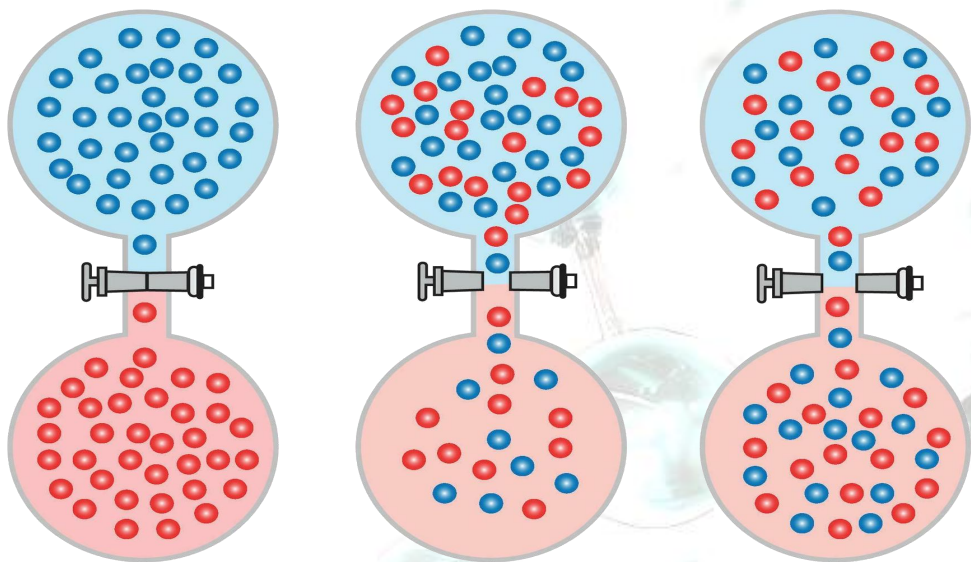


- При постоянной температуре давление изменяется обратно пропорционально объему – например, внутреннее давление повышается при сжатии газа.

- При постоянном давлении объем изменяется пропорционально температуре – например, газ расширяется при нагревании.

- В закрытом сосуде давление изменяется пропорционально температуре – например, давление внутри сосуда увеличивается при нагревании.

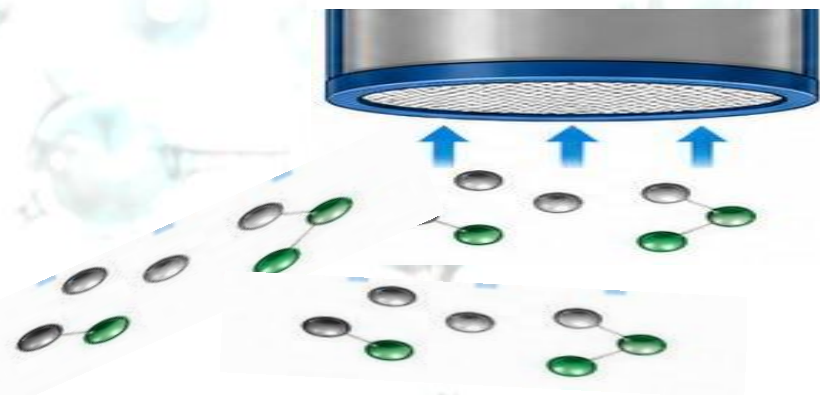
Использование свойств газа для их обнаружения



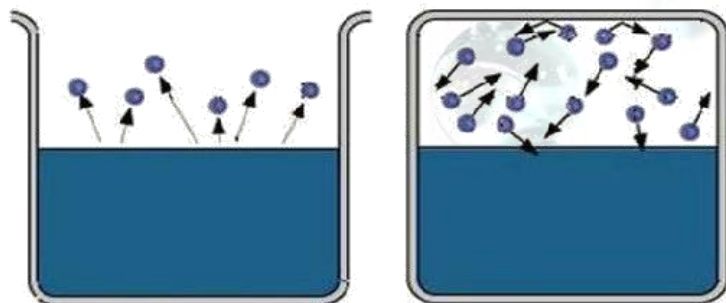
Быстрое хаотичное движение молекул газа является причиной того, что **газы свободно смешиваются и никогда больше не разделяются** в естественных условиях.

Такое поведение газов также объясняет их диффузию, что играет важную роль в технологии обнаружения газов.

Эти процессы ускоряются тем быстрее, чем быстрее движутся молекулы (чем горячее газ) и чем ниже молекулярный вес (чем легче газ и меньше сама его молекула).



Что такое пар?



ненасыщенный пар насыщенный пар

Пар - это газообразное состояние материала при температурах ниже критической.

Пар стремится быть в равновесии со своей жидкой (а иногда и твердой фазой вещества): он постоянно конденсируется и испаряется.

При температуре выше критической вещество полностью переходит в газообразное состояние и остается в нем, как бы ни повышалось давление.

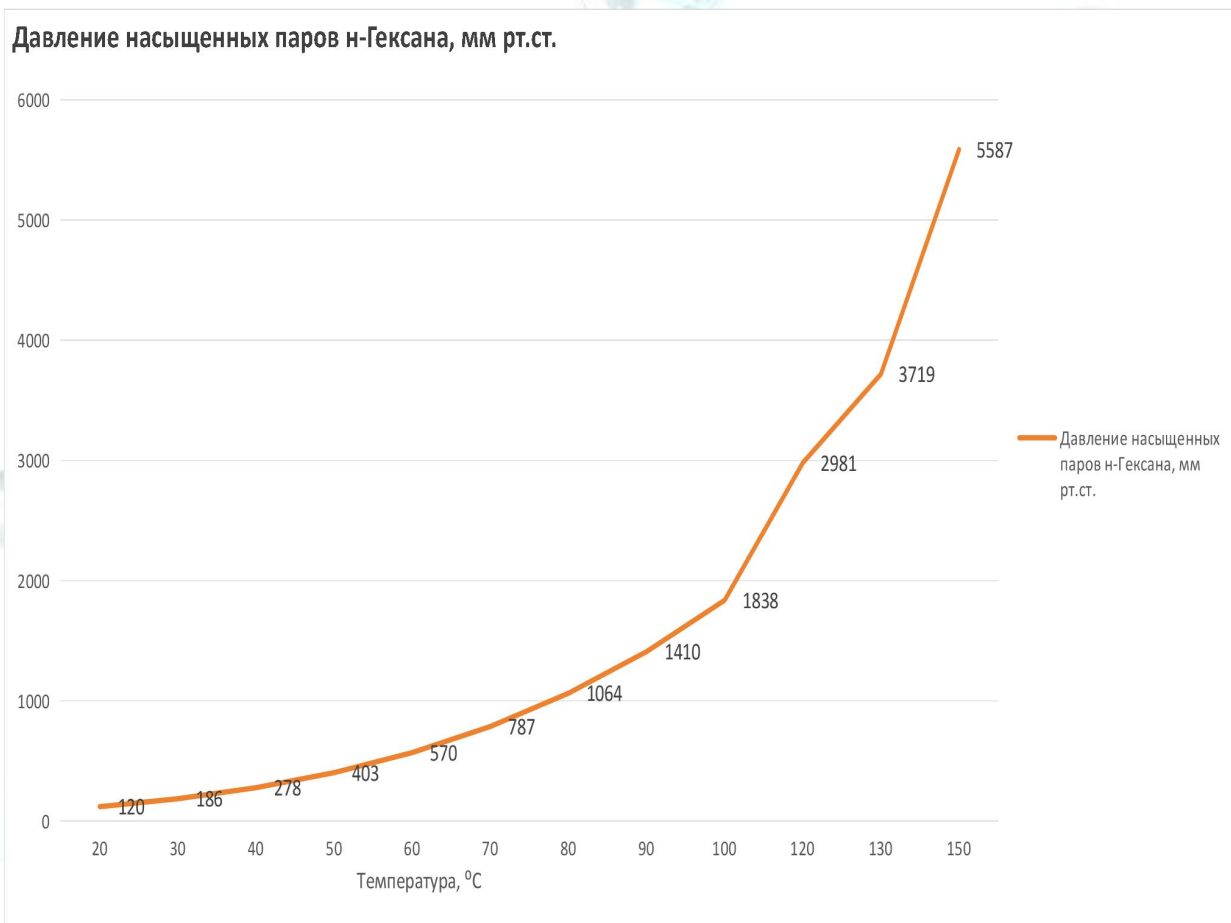
В закрытой ёмкости над поверхностью жидкости всегда сохраняется максимальная концентрация паров. Эта концентрация зависит от температуры.

На микроскопическом уровне пар является результатом случайного движения молекул жидкости в сочетании с их способностью преодолевать поверхностное натяжение и смешиваться с молекулами воздуха над поверхностью.

Давление насыщенных паров

Давление пара зависит от температуры и достигает атмосферного давления в точке кипения.

На графике показана кривая давления пара н-Гексана, отображающая максимально возможное давление паров при заданной температуре (давление насыщенного пара).



Если разделить давление насыщенного пара на атмосферное давление при заданной температуре, то мы получим максимальную объёмную концентрацию пара при данной температуре и атмосферном давлении:

$$P_{\text{н-гексан}(20^{\circ}\text{C})} / P_{\text{атм (норм. Москва)}} = 120_{\text{мм рт.ст.}} / 740_{\text{мм рт.ст.}} = 0,162,$$

что соответствует 16,2 % об. д.

Таким образом, при атмосферном давлении 740 мм рт. ст. и температуре 20 °C максимальная концентрация паров н-Гексана будет составлять 16,2 % об. д.

Атмосфера Земли

Масса атмосферы Земли приблизительно равна пяти квадриллионам тонн.

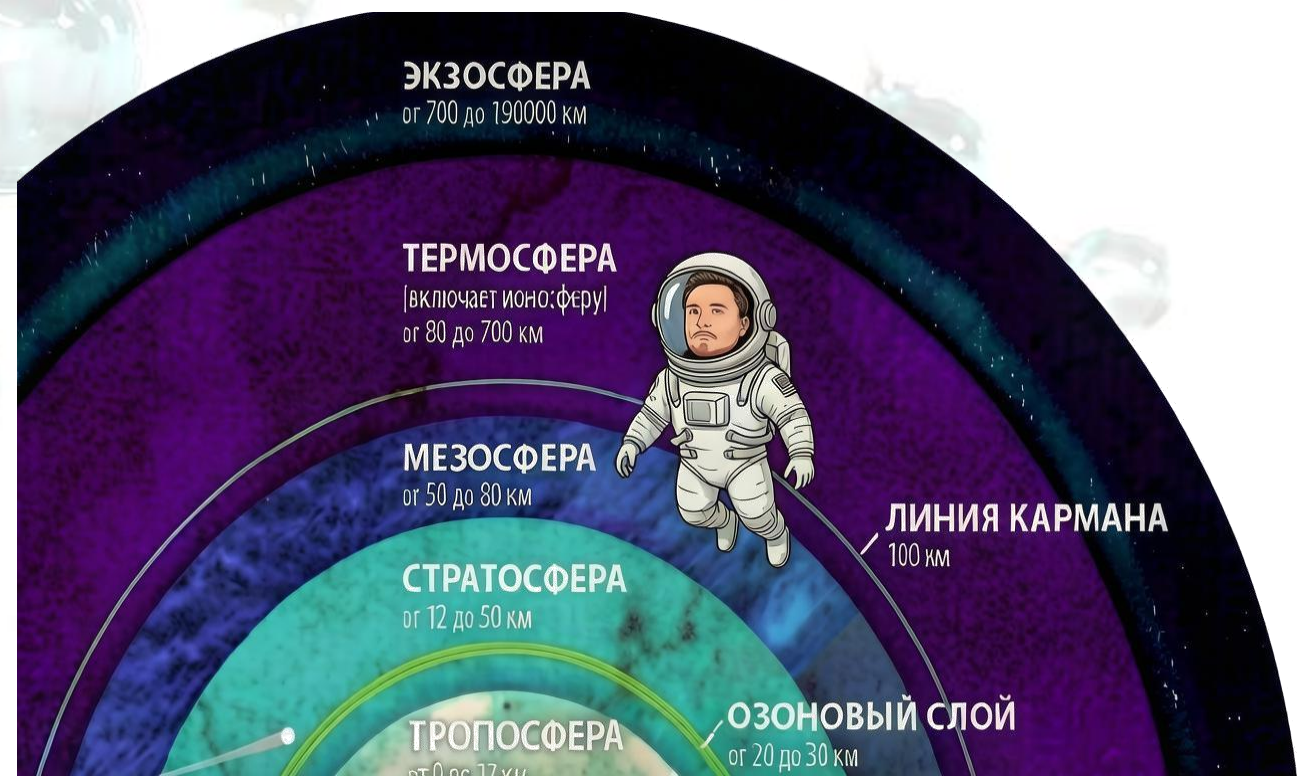
На уровне моря атмосфера оказывает давление в 10 тонн на 1 м³, что соответствует 101,325 кПа или 760 мм рт.ст.

С увеличением высоты давление атмосферных газов уменьшается.

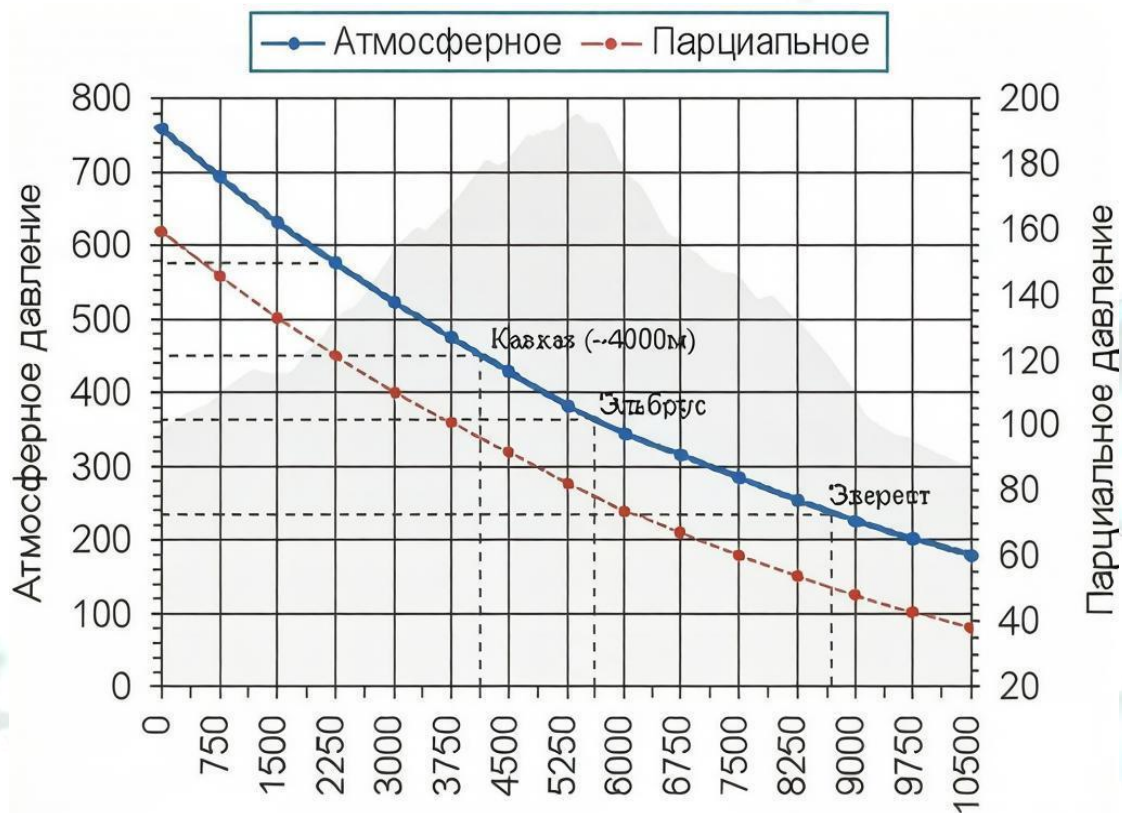
Принято считать, что на высоте 100 км (линия Кармана) воздух настолько разрежен, что уже невозможны аэродинамические полёты.

Состав атмосферы

Газ		Содержание в сухом воздухе, %
N ₂	Азот	78,08
O ₂	Кислород	20,95
Ar	Аргон	0,93
CO ₂	Углекислый газ	0,03
Ne	Неон	0,0018
He	Гелий	0,0005
Kr	Криптон	0,0001
H ₂	Водород	0,00005
Xe	Ксенон	0,000009



Атмосфера Земли



Содержание кислорода в атмосферном воздухе приблизительно равно 21 % об.д.

Доля содержания кислорода в воздухе не зависит от высоты над уровнем моря, но от высоты зависит его парциальное давление.

Так как общее давление газов в атмосфере снижается с увеличением высоты, то пропорционально снижается и парциальное давление кислорода.

Для жизнедеятельности на Земле важно именно парциальное давление кислорода в воздухе, а не его процентное содержание.

Важно! При выборе сенсоров газоанализаторов на кислород важно уточнять, как работает сенсор: на измерение процентного содержания или на измерение парциального давления. Выбирать сенсор нужно исходя из задачи (технологический контроль или промышленная безопасность).

Кислород для дыхания

Последствия недостатка кислорода в воздухе

Объемная доля кислорода в воздухе, %	СИМПТОМЫ
Более 18	Граница безопасного уровня
12 - 16	Учащение пульса и дыхания, головная боль, рассеянное внимание
9 - 12	Ухудшение мыслительных способностей, тошнота, повышенная температура тела
Менее 9	Галлюцинации, потеря сознания

Дефицит кислорода также может быть вызван утечками газов, при которых будет замещаться кислород.

Например, не являющиеся токсичными, инертные газы опасны тем, что они вытесняют кислород.

Поскольку атмосфера состоит примерно на одну пятую из кислорода, концентрация кислорода снижается на одну пятую от концентрации выпущенного стороннего газа.

Например, если 10 % объема окружающего воздуха вытесняется гелием, то концентрация кислорода уменьшается на 2 % об.д., а концентрация азота на 8 % об.д.

Также испарение жидкого азота, часто применяющегося в промышленности, может быстро вызвать опасную кислородную недостаточность (асфиксию).

Для обеспечения безопасности в таких случаях могут применяться сенсоры, измеряющие содержание кислорода.

ЕХ-ТОХ-ОХ...опасность!

Отклонение концентраций газов от нормальных или допустимых значений связано с определенным риском. Как правило, без специальных технических средств человек не может определить этот риск.



ЕХ, от английского “Explosive”: Взрывоопасные газы вызывают риск взрыва при их достаточном содержании в воздухе (концентрация $\geq$ НКПР*) и достаточном количестве кислорода (концентрация газа $\leq$ ВКПР*).

ТОХ, от английского “Toxic”: В промышленности и естественных условиях встречается множество токсичных газов.

Их повышенная концентрация (выше ПДК*) приводит к отравлению организма человека и животных.

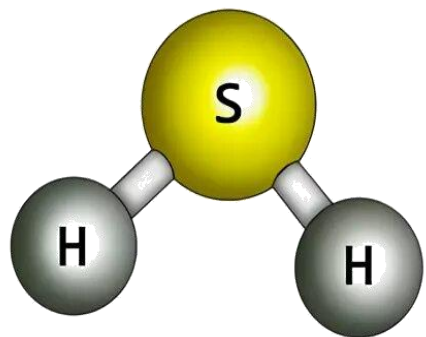
ОХ, от английского “Oxygen”: Недостаток кислорода в воздухе ставит под угрозу безопасность дыхания, а избыток кислорода приводит к повышенной взрыво- и пожароопасности.

*НКПР и ВКПР - соответственно, нижний и верхний концентрационный предел распространения пламени;

ПДК - предельно допустимая концентрация

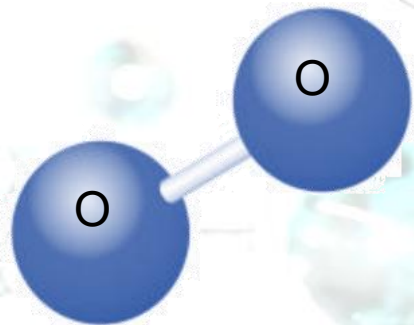
ЕХ-ТОХ-ОХ...опасность!

Примеры



При низких концентрациях сероводород может быть обнаружен человеком, поскольку он пахнет тухлыми яйцами.

Однако, из-за поражения рецепторов, нос человека не воспринимает смертельные высокие концентрации этого газа. Многие несчастные случаи со смертельным исходом происходили из-за того, что люди бежали туда, где, по их мнению, не было запаха сероводорода.



Даже такие, казалось бы, безвредные газы, как аргон, гелий или азот, могут стать опасными при внезапном выделении, вытесняя необходимый для дыхания кислород и, тем самым, приводя к риску удушья. Концентрация кислорода менее 9 % об. д. смертельно опасна, а избыток кислорода увеличивает риск возникновения пожара и может привести к самовоспламенению материалов.

Токсичные вещества (контроль ПДК)



На момент создания данной статьи (2026 год) в РФ действуют нормы СанПиН 1.2.3685-21, устанавливающие предельно допустимые концентрации веществ как в воздухе населенных мест, так и в воздухе рабочей зоны.

Для воздуха населенных мест ПДК часто имеют более низкие значения, чем для воздуха рабочей зоны.

ПДК классифицируются в зависимости от времени допустимого воздействия.

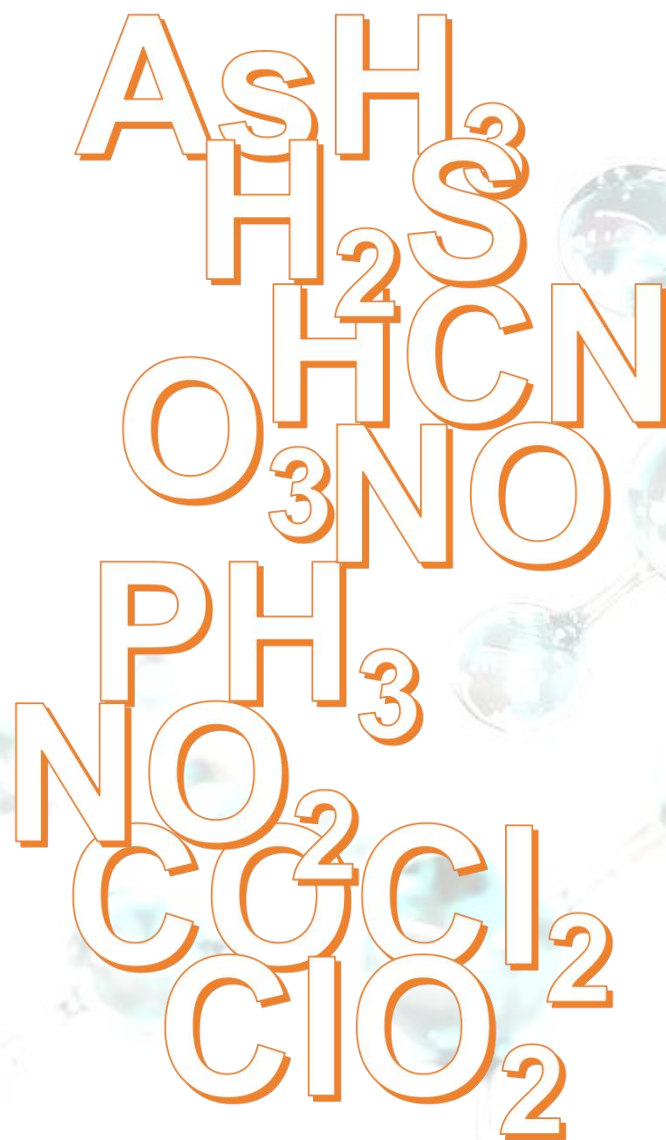
ПДК м.р. (максимально разовая) - концентрация, которая считается безопасной при кратковременном воздействии — примерно 20–30 минут.

ПДК с.с. (среднесуточная/среднесменная) - безопасная концентрация при круглосуточном пребывании людей в населенных местах или в течение смены в воздухе рабочей зоны.

ПДК с.г. (среднегодовая) - устанавливает безопасные концентрации с учетом возможности проявления хронических осложнений при постоянном пребывании (в течение года и более).

Также есть такой показатель, как ОБУВ (ориентировочный безопасный уровень воздействия) - это временный норматив, действующий до утверждения конкретного значения ПДК.

Очень токсичные газы



Среди токсичных веществ, которые могут появиться в воздухе, могут быть такие, чьи концентрации в пределах нескольких молекул на миллиард молекул воздуха (в единицах ppb или млрд⁻¹) будут являться смертельно опасными.

Например, для газа Арсин (AsH₃), обращающегося в металлургии и в производстве полупроводников, установлен ПДК в.р.з. = 0,1 мг/м³ = 30 ppb.

Другие газы, такие как цианистый водород, диборан, фтор, фтористый водород, озон, фосген, фосфин, третрафторид серы, сероводород, диоксид азота, монооксид азота также являются очень опасными из-за их остронаправленного действия на организм.

Классы опасности веществ



ГОСТ 12.1.007-76

1-й - вещества чрезвычайно опасные;

2-й - вещества высокоопасные;

3-й - вещества умеренно опасные;

4-й - вещества малоопасные.

Наименование показателя	Нормы для класса опасности			
	1-го	2-го	3-го	4-го
Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/ м ³	Менее 0,1	0,1-1,0	1,1-10,0	Более 10,0
Средняя смертельная концентрация в воздухе, мг/м ³	Менее 500	500-5000	5001-50000	Более 50000

1.3. Отнесение вредного вещества к классу опасности производят по показателю, значение которого соответствует наиболее высокому классу опасности.

Решения для контроля концентраций токсичных газов



Концентрация веществ, имеющих остронаправленное действие на организм и относящихся к различным классам опасности, должна контролироваться в постоянном автоматическом режиме.

Для автоматического непрерывного контроля ПДК в.р.з., контроля кислорода, а также для обнаружения аварийных утечек токсичных газов АО «Спецпожинжиниринг» предлагает газоанализаторы СПАРК-БГ с электрохимическими и инфракрасными сенсорами, газоанализаторы СПАРК-МИГ с электрохимическими, инфракрасными и фотоионизационными сенсорами, а также газоаналитические системы на базе газоанализаторов СПАРК-БГ и СПАРК-МИГ под управлением шкафов контроля загазованности СПАРК-КЗ.

Свойства взрывоопасных веществ

На момент создания данной статьи (2026 год) в РФ действует ГОСТ 31610.20-1-2020, в котором приводятся параметры взрывоопасных веществ (в том числе НКПРП, ВКПРП, температура вспышки, температуры воспламенения и самовоспламенения, а также относительная плотность по воздуху).

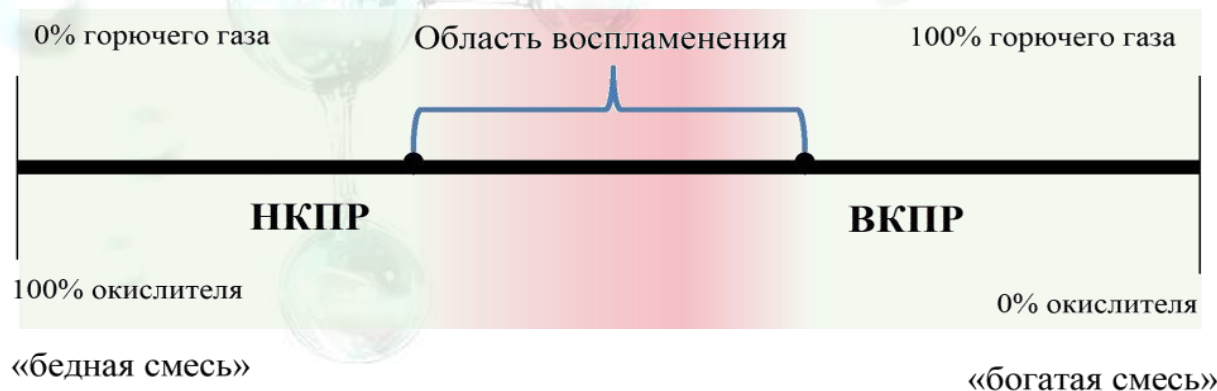
Эти параметры важны для правильного выбора электрооборудования, предназначенного для работы во взрывоопасных зонах, а также для выбора газоанализаторов горючих газов с целью обеспечения пожаро- и взрывобезопасности производств.

НКПРП - нижний концентрационный предел распространения пламени (часто «НКПР» или «НКПВ»).

ВКПРП - верхний концентрационный предел распространения пламени (часто «ВКПР» или «ВКПВ»).

Смесь вещества с воздухом считается взрывоопасной, когда концентрация горючего вещества в ней находится в диапазоне между НКПР и ВКПР.

по ГОСТу



Свойства взрывоопасных веществ



При **Температуре вспышки** (указывается только для жидкостей) над поверхностью жидкости образуются пары, способные вспыхивать при поднесении источника зажигания. После удаления источника зажигания устойчивое горение не продолжится.

При **Температуре воспламенения** и поджига смеси горение будет устойчивым даже в отсутствии источника зажигания.

При **Температуре самовоспламенения** возгорание может произойти без внешнего источника зажигания, просто под действием температуры.

Как предотвратить взрыв?

Если горючий газ не может воспламениться при концентрации ниже НКПР, защита от взрыва возможна путем постоянного измерения его концентрации и принятия соответствующих мер (таких как включение вентиляции, остановка технологического процесса и пр.) и недопущения превышения, например, половины НКПР (50% НКПР).

Часто проектными решениями предусматривают более высокие требования безопасности при контроле ДВК (довзрывоопасных концентраций), устанавливая пороговые уровни в 20% НКПР, 10% НКПР и даже ниже с диапазоном шкалы газоанализатора от 0 до 10% НКПР.

Как предотвратить взрыв?

Контроль ДВК - это основной метод превентивной взрывозащиты, так как он надежно предотвращает образование взрывоопасной атмосферы.

Контроль ДВК производится, как правило, с помощью инфракрасных или термокаталитических сенсоров газоанализаторов. При этом газоанализаторы и сенсоры должны соответствовать определенным техническим требованиям по безопасности для использования в потенциально взрывоопасной атмосфере.

Чуть позже мы коснемся темы выбора электрооборудования для работы во взрывоопасных зонах.

Как предотвратить взрыв?

Хотя мы говорим о легковоспламеняющихся жидкостях (ЛВЖ), воспламеняемой является не она сама, а её пар. Только пар может образовывать горючую смесь с воздухом.

Давление паров жидкости, как мы уже знаем, тем выше, чем выше температура.

Температура вспышки является одним из основных параметров, по которому можно судить о пожароопасности паров ЛВЖ.

Например, температура вспышки летнего ДТ составляет порядка 60 °С. При более низких температурах ДТ не будет гореть.

Температура вспышки бензина ориентировочно равна минус 40 °С.

Бензин являясь более пожароопасным топливом с точки зрения его производства, транспортировки и хранения, в то же время, дизельное топливо хуже испаряется и дольше горит, растекаясь по поверхности и пропитывая материалы, что усложняет тушение его пламени.

Как предотвратить взрыв?

Чем ниже температура воспламенения легковоспламеняющейся жидкости, тем она опаснее.

Поскольку пары легковоспламеняющихся жидкостей не могут воспламениться при температуре ниже их температуры вспышки, превентивную защиту можно обеспечить, применяя жидкости с температурой вспышки, значительно превышающей температуру окружающей среды.

Однако недостатком является то, что для испарения таких жидкостей, когда они используются в качестве растворителей, требуется большое количество энергии.

Пример:

В покрасочных цехах в процессе сушки в воздух выделяются пары растворителей, например, ацетон, толуол, ксилол, бутилацетат, уайт-спирит, сольвент. Для обеспечения безопасности этого техпроцесса необходим контроль ДВК паров растворителей. С другой стороны, важно поддерживать оптимальный процесс сушки лакокрасочного покрытия, поэтому задачи контроля взрывоопасной атмосферы в таких цехах находятся на стыке поддержания оптимального (достаточно быстрого) технологического процесса и обеспечения безопасности.

Концентрация и ее пересчёт

%Об.д.
%Vol.
млн⁻¹
мл/м³
ppm
млрд⁻¹
мкл/м³
ppb
мг/м³
%НКПР
%LEL

Чтобы обеспечить безопасность, нужно измерить опасность. Каким же образом?

В зависимости от задач (контроль ДВК, ПДК или аварийных утечек) используют различные единицы измерения, исходя из допустимой концентрации вещества в воздухе.

Если допустима высокая концентрация вещества, то используют единицу измерения «% об.д.» (лат. «% Vol.») - процент объемной доли.

Например, нормальное содержание кислорода в воздухе составляет около 21 % об.д. (21 молекула кислорода на 100 молекул других газов), а ПДК _{в.р.з.} CO₂ (углекислого газа) составляет ≈1,48 % об.д., при этом в СанПиН 1.2.3685-21 концентрация приводится в единицах не объемной доли, а массовой концентрации (ПДК_{м.р.} CO₂ = 27000 мг/м³).

Газоанализаторы редко имеют такую большую разрядность показаний, поэтому, как правило, для контроля CO₂ используют шкалу в объемных долях «% об.д.».

Для малых концентраций используются единицы измерения в частях на миллион (ppm, млн⁻¹ или мл/м³) или даже в частях на миллиард (ppb, млрд⁻¹ или мкл/м³).

Концентрация и ее пересчёт

%Об.д.
%Vol.
млн⁻¹
мл/м³
ppm
млрд⁻¹
мкл/м³
ppb
мг/м³
%НКПР
%LEL

В качестве ассоциативного восприятия таких единиц концентрации можно привести следующие примеры:

1 ppm - Представьте себе кубик сахара в цистерне.

1 ppb - Представьте себе группу из восьми человек среди всего населения Земли.

Теперь рассмотрим, как можно перевести концентрации, представленные в различных единицах измерения:

$$1 \% \text{ Об.д. (одна сотая доля целого)} = 10\,000 \text{ ppm} = 10\,000\,000 \text{ ppb}$$

Помимо газообразных компонентов, воздух может также содержать “растворенные” твердые или жидкие вещества, известные как аэрозоли. Поскольку эти переносимые воздухом капли или частицы имеют определенные малые размеры и не обладают теми же свойствами, что и газы, используется единица массовой концентрации «мг/м³».

Как мы уже упомянули выше, ПДК, в том числе и газов, нормирован в этих же единицах «мг/м³». В связи с этим важно понимать, как переводятся единицы объемной доли в массовую концентрацию и обратно.

Концентрация и ее пересчёт

%Об.д.
%Vol.
млн⁻¹
мл/м³
ppm
млрд⁻¹
мкл/м³
ppb
мг/м³
%НКПР
%LEL

Объемные доли легко конвертируются в млн⁻¹ (ppm) или млрд⁻¹ (ppb), а вот их перевод в массовую концентрацию (мг/м³) связан со свойствами газов, которые мы рассмотрели ранее.

Ранее мы узнали, что газ расширяется при нагреве, также плотность газа зависит от давления.

Массовая концентрация «мг/м³» показывает сколько миллиграммов целевого газа содержится в одном кубическом метре другого газа (в задачах по обеспечению промышленной безопасности - это воздух рабочей зоны).

При разных температурах и давлении то же количество молекул газа может занимать разный объем (вспомните изобарный и изотермический процессы).

$6,02214076 \cdot 10^{23}$ - столько молекул газа содержатся в одном Моле газа.

Моль ввели для удобства расчетов в химии, чтобы не иметь дело с отдельными атомами и молекулами, а считать их в таких больших группах, которые можно измерить в макромасштабах.

Масса 1 Моля называется молярной массой и обозначается символом «М».

При температуре 0°C и давлении 101,325 кПа 1 Моль газа занимает объем $V_m = 22,4$ л.

Концентрация и ее пересчёт

При 0°C и 101,325 кПа формулы пересчета принимают следующий несложный вид:

ppm → мг/м³:

$$C_{\text{мг/м}^3} = C_{\text{ppm}} \times M / 22,4, \text{ где } 22,4 - \text{ это } V_m \text{ (молярный объем)}$$

мг/м³ → ppm:

$$C_{\text{ppm}} = C_{\text{мг/м}^3} \times 22,4 / M, \text{ где } 22,4 - \text{ это } V_m \text{ (молярный объем)}$$

Если температура и давление изменяются, то молярный объем (V_m) корректируется по следующей формуле:

$$V_m = 22,414 \times (T_K / 273,15) \times (101,325 / P_{\text{кПа}})$$

Пример: При 20°C и 99,7 кПа пересчитаем 28 800 мг/м³ метана в объемную долю.

Химическая формула метана CH_4 (метан содержит один атом углерода (C) и четыре атома водорода (H)). Относительную атомную массу химических элементов (выделена красным маркером) берем из таблицы Менделеева:

C Carbonium Углерод	6 12.011	H Hydrogenium Водород	1 1.00794
----------------------------------	-------------	------------------------------------	--------------

$$12 + 4 \times 1 = 16$$

Молярная масса метана, $M = 16$ (г/моль)

1. Рассчитаем молярный объем метана при заданном давлении и температуре ($20^\circ\text{C} = 293,15 \text{ K}$ - температура в Кельвинах):

$$V_{m(20^\circ\text{C}; 99,7 \text{ кПа})} = 22,414 \times (293,15 / 273,15) \times (101,325 / 99,7) = 24,447 \text{ (л/моль)}$$

%Об.д.
%Vol.
млн⁻¹
мл/м³
ppm
млрд⁻¹
мкл/м³
ppb
мг/м³
%НКПР
%LEL

Концентрация и ее пересчёт

2. Далее рассчитаем концентрацию метана в ppm:

$$C(CH_4)_{ppm} = 28800 \times 24,447 / 16 = \mathbf{44004 \text{ ppm}}$$

3. С учетом того, что 1 ppm - это 0,0001% Об.д.:

$$C(CH_4)_{\%Об.д.} = 44004 \times 0,0001\% = \mathbf{4,4 \% Об.д.} = 100\% \text{ НКПР (или 1НКПР)}$$

Мы получили 4,4 % Об.д. метана. Такая концентрация метана в воздухе соответствует его НКПР.

НКПР для газов и паров приведены в ГОСТ 31610.20-1-2020.

1 НКПР равен 100% НКПР и для разных веществ соответствующая объемная концентрация будет разной (для метана - это 4,4% Об.д, для пропана - 1,7% Об.д., для водорода - 4% Об.д).

Так как горение - это химическая реакция окисления (очень быстрое соединение молекул горючего вещества с молекулами кислорода), то значение НКПР также зависит от температуры и давления, так как при их изменении молекулы ведут себя по-разному.

Однако, в практике газового анализа воздуха рабочей зоны (контроль ДВК и аварийных утечек) применяют значение НКПР, рассчитанное для температуры 20 °С и давления 101,3 кПа.

%Об.д.
%Vol.
млн⁻¹
мл/м³
ppm
млрд⁻¹
мкл/м³
ppb
мг/м³
%НКПР
%LEL

Решения для контроля ДВК и аварийных утечек



Для автоматического непрерывного контроля ДВК, а также для обнаружения аварийных утечек взрывоопасных газов АО «Спецпожинжиниринг» предлагает газоанализаторы СПАРК-БГ и СПАРК-МИГ с инфракрасными и термокаталитическими сенсорами, газоанализатор ТГА с передовой инфракрасной оптической системой, а также газоаналитические комплексы на базе газоанализаторов СПАРК-БГ, СПАРК-МИГ и ТГА под управлением шкафов контроля загазованности СПАРК-КЗ.

Газоанализаторы, разработанные и производимые АО «Спецпожинжиниринг», могут применяться во взрывоопасных газовых средах (Зона 1 и 2), при этом газоанализаторы СПАРК-БГ и СПАРК-МИГ также сертифицированы для эксплуатации в Зонах 21 и 22 (взрывоопасные пылевые среды).

Выбор оборудования для работы во взрывоопасных зонах

Мы уже начали тему про электрооборудование для работы во взрывоопасных средах, упомянув про зоны 1, 2, 21 и 22.

Газоанализаторы часто размещают во взрывоопасных зонах предприятий.

Разделение на зоны и их классификацию осуществляют технологи и электрики проектной и эксплуатирующей организации в зависимости от наличия и возможной продолжительности существования взрывоопасной паро- или газовой смеси.

Не любое электрооборудование разрешено применять в таких зонах. Мы знаем, что для воспламенения взрывоопасной паро- или газовой смеси нужен источник энергии, которым и может послужить данное электрооборудование, так как в процессе работы или в случае неисправности оно нагревается, электрические цепи этого оборудования также могут искрить.

В связи с этим, необходим правильный выбор электрооборудования в зависимости от взрывоопасной зоны, а также в зависимости от свойств того или иного газа, пара ЛВЖ или взрывоопасной пыли (да, пыль тоже может воспламеняться!)

Выбор газоанализаторов для работы во взрывоопасных зонах

Итак, газо- и паровоздушные взрывоопасные среды образуют взрывоопасные зоны классов 0, 1, 2, а пылевоздушные — взрывоопасные зоны классов 20, 21, 22.

Зоны 0 и 20 являются самыми опасными, так как в них возможно постоянное присутствие опасных веществ. Зоны 1 и 21 допускают наличие взрывоопасных газов в течение непродолжительного периода, а Зоны 2 и 22 допускают наличие взрывоопасных газов, например, при авариях.

Далее мы рассмотрим принципы выбора электрооборудования на примере для наземных (не рудничных) взрывоопасных именно по газу (или парам ЛВЖ) производственных объектов. Другие примеры требуют более полного погружения в тему взрывозащиты, что не является целью данной статьи, в то же время целью данной статьи является уведомить читателя о связи применений оборудования газового обнаружения со свойствами газов.

Для удобства выбора электрооборудования для применения во взрывоопасных зонах существует маркировка взрывозащиты, которую нужно уметь правильно расшифровать, чтобы выбрать подходящее и безопасное устройство для конкретного применения, в том числе, в зависимости от свойств газов, которые обращаются на предприятии. Рассмотрим частный случай маркировки взрывозащиты в примере на рисунке далее.

Выбор газоанализаторов для работы во взрывоопасных зонах



СПЕЦПОЖИНЖИНИРИНГ
ПОЖАРНАЯ И ГАЗОВАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Ex

1

Ex

d

IIС

T6

Уровень взрывозащиты соответствует максимально опасной по газу зоне, в которой может применяться газоанализатор (в данном случае, устройство может быть применено в Зоне 1 и Зоне 2).

знак уровня взрывозащиты

Вид взрывозащиты указывает на то, какими техническими средствами он достигается. АО «Спецпожинжиниринг» производит оборудование с видом «взрывонепроницаемая оболочка» (вид d) и искробезопасная цепь (вид i).

знак указывающий на соответствие

электрооборудования стандартам
на взрывозащищенное электрооборудование

Вид d обеспечивает нераспространение энергии взрыва из оболочки во внешнюю среду, а вид i - обеспечивает недостижение электрической энергии, способной воспламенить взрывоопасную среду, т.е. гарантия не стать источником достаточно мощной для воспламенения искры.

знак вида взрывозащиты

Группа (II) и подгруппа (C) определяют, для каких сред (веществ) подходит оборудование, и зависит от воспламеняющей энергии этой среды. Для газов и паров ЛВЖ данные доступны в ГОСТ 31610.20-1-2020.

знак группы или подгруппы электрооборудования
с наивысшей категории взрывоопасной смеси

Температурный класс выбирается исходя из температуры самовоспламенения вещества. Высокий класс указывает на наименьшую температуру самовоспламенения, поэтому оборудования с маркировкой T6 можно применять в любых газовых средах.

знак температурного класса электрооборудования или наивысшей
группы взрывоопасной смеси

Итак, газоанализатор с маркировкой взрывозащиты **1 Ex d IIС T6** может применяться в любой газо- и паровоздушной среде, когда она существует не постоянно.

Выбор газоанализаторов для работы во взрывоопасных зонах

Параметры воспламеняемости некоторых веществ приведены в таблице ниже. При выборе электрооборудования по маркировке взрывозащиты нужно принимать во внимание данные параметры, которые частично совпадают с маркировкой взрывозащиты электрооборудования:

Газ или пар	Химическая формула	Температура самовоспламенения, градус по Цельсию	Группа Взрывоопасной смеси	Категория Взрывоопасной смеси
Ацетилен	$\text{CH} = \text{CH}$	305	T2	IIC
Аммиак	NH_3	630	T1	IIA
Водород	H_2	510	T1	IIC
Гептан	C_7H_{16}	215	T3	IIA
Пропан	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$	470	T1	IIA
Метан рудничный	CH_4	537	T1	I
Керосин	-	210	T3	IIA
Нефть	-	223-375	T2	IIA
Этанол	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	363	T2	IIA
Этилнитрит	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{ONO}$	95	T6	IIB

Где можно получить сведения об опасных веществах?

Существует множество источников информации, содержащих сведения об опасных веществах и их свойствах.

Автор статьи в своей повседневной работе пользуется многими источниками, включая ГОСТы, но есть очень удобные ресурсы, хотя они и не являются отечественными.

Одним из таких ресурсов может послужить китайский сайт:



На данном ресурсе можно найти многие химические и физические параметры веществ, включая их температуры вспышки, кипения и плавления, а также спектры поглощения, скачать паспорта безопасности. Однако, искать такую информацию, как ПДК или НКПР правильнее в стандартах стран применения, так как значения ПДК и НКПР в разных странах установлены разные.

Для точного поиска химического вещества в различных источниках правильно использовать не его название, так как при написании названия можно ошибиться (кроме того у одного и того же вещества могут быть разные названия), и также не его химическую формулу, так как одну химическую формулу в ее простом написании могут иметь многие изомеры - наиболее правильно использовать так называемый CAS-номер вещества. CAS-номер является своего рода «паспортным номером» конкретного вещества.

Выбор метода измерения

Мы уже узнали многое о свойствах газов, даже рассмотрели правила перевода единиц концентрации и принципы выбора оборудования для взрывоопасных зон, но самое главное в сфере обнаружения газов - выбрать правильный, подходящий сенсор (именно сенсор газоанализатора определяет его тип и принцип работы). Также очень важно расставить газоанализаторы таким образом, чтобы максимально надежно обеспечить безопасность (в данной статье делается упор именно на стационарные газоанализаторы для автоматического и непрерывного контроля воздуха рабочей зоны).

Выбор правильного принципа измерения имеет решающее значение для выявления рисков, связанных с газами. Каждый принцип измерения имеет свои преимущества и ограничения и оптимизирован для определенных групп газов (легковоспламеняющихся/токсичных газов, удушающих газов и кислорода).

Поэтому важным вопросом является то, какие газы/пары присутствуют в воздухе рабочей зоны.

Ранее в статье мы уже описывали основные риски, связанные с газами. Давайте еще раз их рассмотрим с целью выбрать наилучший способ защиты с помощью газоанализаторов.

Опасность взрыва (EX)

Везде, где присутствуют легковоспламеняющиеся газы или пары, существует повышенный риск взрыва.

Такая ситуация характерна для горнодобывающей, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической и многих других видов промышленности.

На таких предприятиях система контроля загазованности устанавливается в обязательном порядке. В систему, в частности, входят газоанализаторы для измерения довзрывоопасных концентраций веществ (ДВК).

Для контроля ДВК в газоанализаторах наиболее часто применяют инфракрасные или термокаталитические сенсоры.

Эти сенсоры, как правило, имеют измерительный диапазон не более 100% НКПР, хотя, инфракрасные сенсоры способны измерять газы и до 100 % об.д..

Далее рассмотрим принципы работы инфракрасных (ИК) и термокаталитических (ТК) сенсоров.



Инфракрасные сенсоры

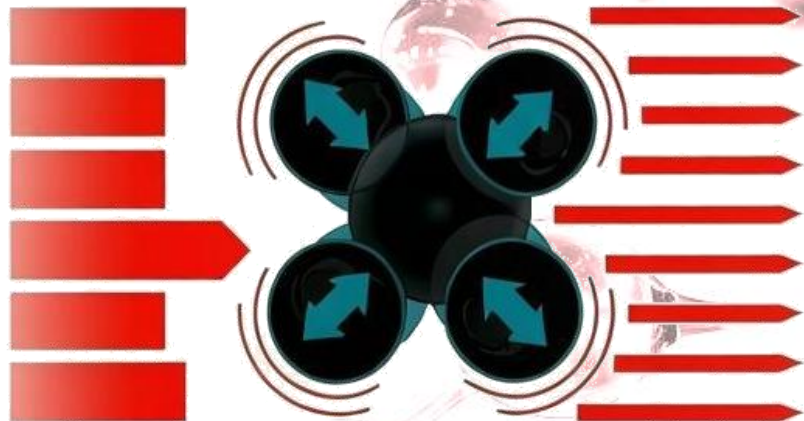
Все газы поглощают электромагнитное излучение с разными длинами волн, некоторые газы поглощают свет, в том числе, и в видимом диапазоне (длина волны от 0,4 до 0,8 мкм). Вот почему хлор имеет зелено-желтый цвет, бром и диоксид азота - коричнево-красный, йод - фиолетовый и так далее. Однако, эти цвета можно увидеть только при довольно высоких (смертельных) концентрациях.

Углеводороды хорошо поглощают излучение в инфракрасном (ИК) диапазоне длин волн, приблизительно в диапазоне от 3,3 до 3,5 мкм. Поскольку основные компоненты воздуха (кислород, азот и аргон) не поглощают излучение в этом диапазоне, этот метод применяют для измерения ДВК углеводородов.

Воздух, подлежащий измерению, попадает в измерительную кювету путем диффузии или с помощью насоса. ИК-источник (обычно лампа) излучает свет в широком диапазоне длин волн. Затем излучение отражается от стенок сенсора (или от зеркала) и попадает на двойной детектор. Двойной детектор состоит из измерительного и эталонного чувствительных элементов. Измерительный детектор закрыт фильтром, пропускающим только длину волны, которую наиболее интенсивно поглощает измеряемый газ (например, 3,4 мкм - поглощается метаном и многими другими углеводородами).

Инфракрасные сенсоры

Молекулы углеводородного газа поглощают ИК-излучение



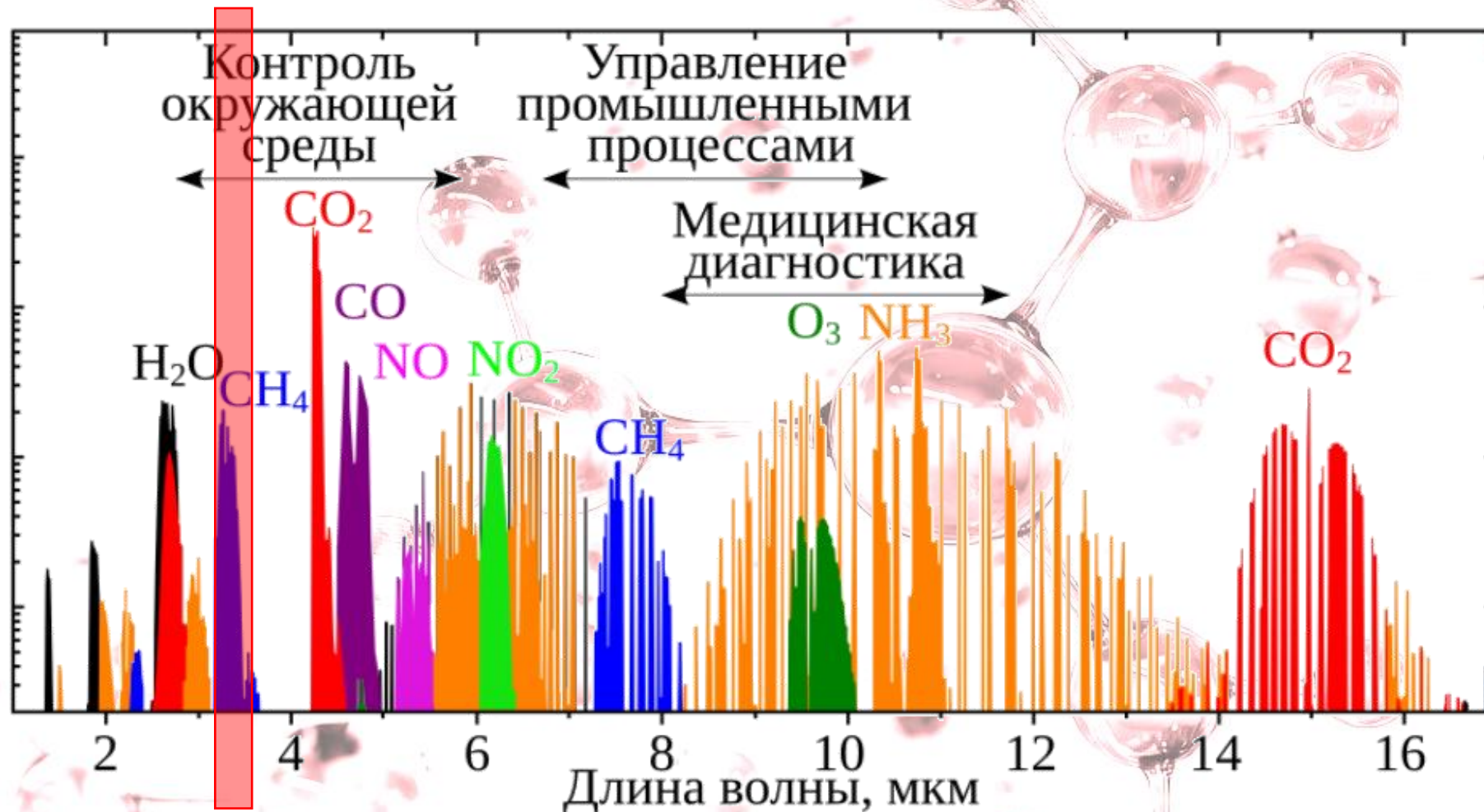
Поглощенная энергия преобразуется в кинетическую энергию (молекула газа начинает вибрировать)

Реакция: $\text{CH}_4 + \text{ИК-энергия} \rightarrow \text{CH}_4$ (возбуждение)



Если воздух содержит углеводороды, то часть излучения поглощается, и измерительный чувствительный элемент (ЧЭ) выдаст ослабленный электрический сигнал. Сигнал, формируемый на опорном ЧЭ остается неизменным. При этом, загрязнение зеркала или окна, а также ослабления сигнала, вызванные пылью или аэрозолем в воздухе, влияют на оба ЧЭ в одинаковой степени и, следовательно, взаимно компенсируются.

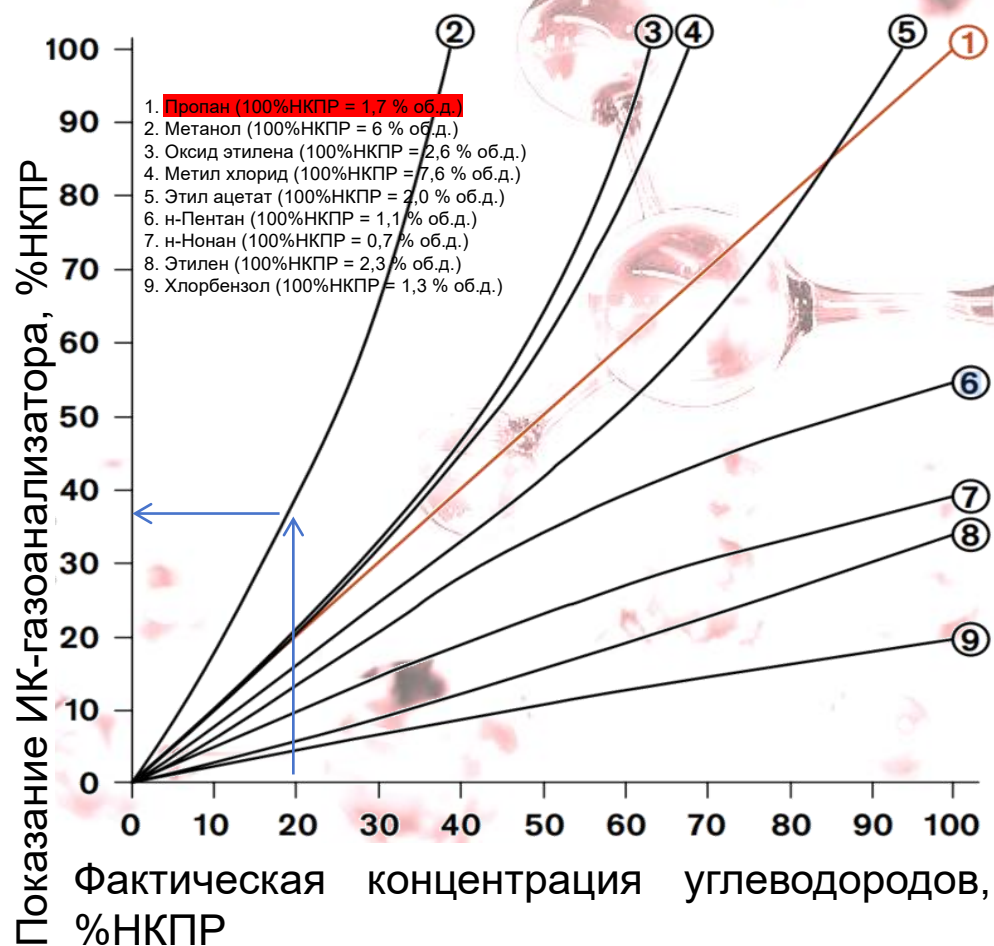
Инфракрасные сенсоры



Как мы уже упоминали, для целей контроля ДВК углеводородов используют ИК-диапазон с длиной волны около 3,3...3,5 мкм (одна из полос поглощения метана и многих других углеводородных газов).

Инфракрасные сенсоры

В связи с тем, что в диапазоне работы ИК-сенсоров поглощение энергии происходит многими углеводородными газами, данный тип сенсора, как правило, не является избирательным. Исключением могут быть сенсоры, источником излучения в которых служит лазер или светодиод (они имеют узкую спектральную полосу излучения).



В качестве примера, на графике представлены перекрестные чувствительности сенсора, откалиброванного по Пропану.

Другие газы также будут вызывать сигнал, но с разной чувствительностью.

В частности, 20% НКПР паров метанола сформируют по шкале газоанализатора выходной сигнал около 37%НКПР.

Для обеспечения безопасности этим часто пользуются, калибруя ИК-газоанализатор на тот газ, по отношению к НКПР которого наблюдается меньшая чувствительность. При таком подходе сигнализация по пороговым уровням на другие газы будет срабатывать раньше. Таким образом, безопасность обеспечивается с запасом. Но при этом нужно также учитывать вероятности ложных срабатываний, если чувствительность газоанализатора будет существенно завышена.

Термокаталитические сенсоры



Если углеводороды, в силу особенностей и свойств своих молекул, можно обнаруживать с помощью ИК-сенсоров, то сделать это по отношению к некоторым другим горючим газам (например, аммиак, водород) практически очень сложно, и такие решения часто не реализуются из-за их технологических ограничений или цены.

С другой стороны, можно воспользоваться свойством этих газов и заставить их «гореть» на сенсоре, а тепло от этой реакции преобразовать в электрический сигнал и измерять этот электрический сигнал.

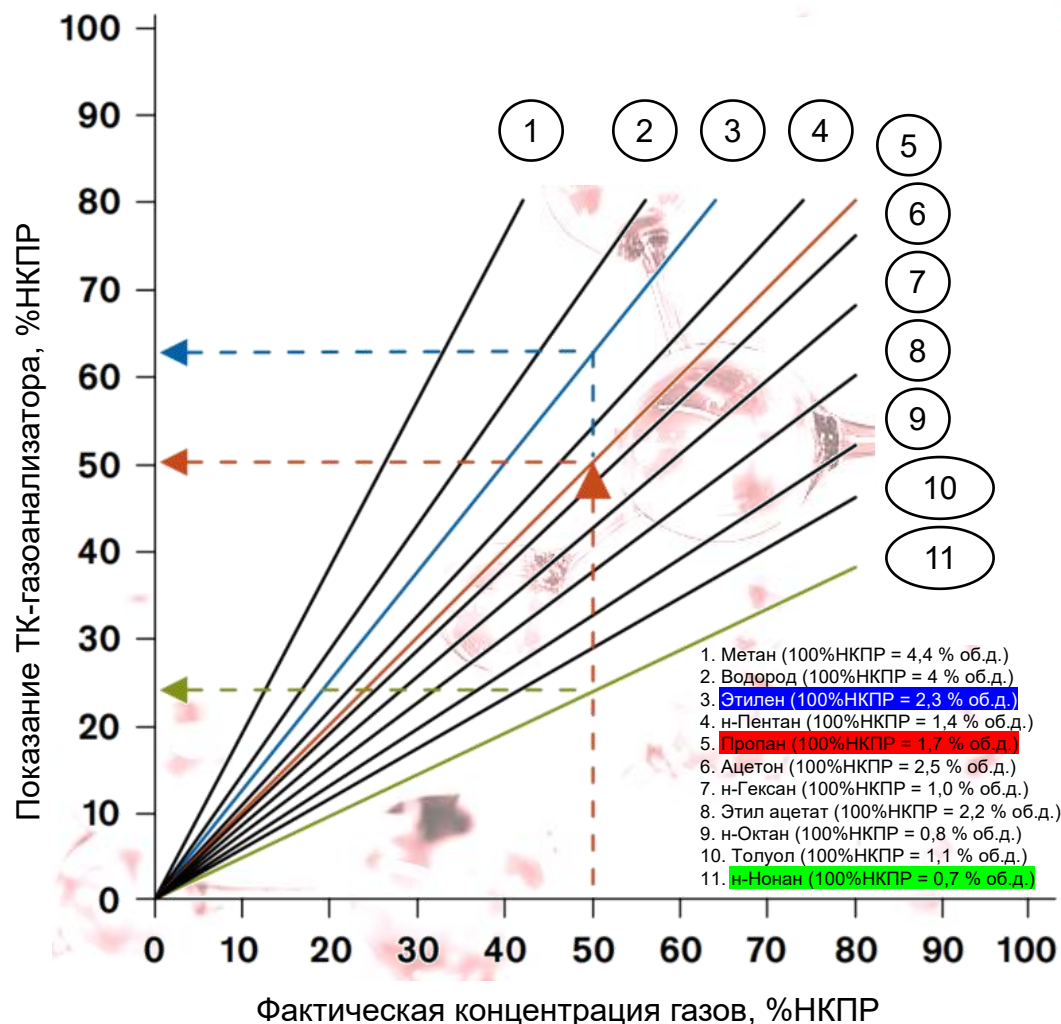
Именно на таком принципе и построены термокаталитические сенсоры.

Термокаталитические сенсоры, как и инфракрасные, неизбирательны, так как все вещества, которые будут на них сгорать (интенсивная реакция окисления), будут формировать выходной сигнал газоанализатора.

Как правило, есть у термокаталитических сенсоров дополнительное преимущество в цене, но есть и существенные недостатки: более короткий, чем у ИК-сенсоров, срок службы, а также их неустойчивость по отношению к некоторым веществам, содержащим кремний, фосфор, серу. Такие вещества отравляют термокаталитический сенсор, снижая срок службы.

Для обнаружения углеводородов рекомендуется использовать ИК-сенсоры, но термокаталитические сенсоры незаменимы для неуглеводородных горючих газов, а также, в силу более простой конструкции, не содержащей полупроводниковых компонентов, они могут быть спроектированы для применения в очень горячих атмосферах технологических установок с температурой эксплуатации до 155 °С.

Термокаталитические сенсоры



Мы упоминали, что термокаталитические сенсоры не являются избирательными, поэтому, как и в примере с ИК-сенсорами, на графике представлены перекрестные чувствительности сенсора, откалиброванного по Пропану.

В данном случае, другие газы также будут вызывать сигнал с разной чувствительностью.

Например, 50% НКПР этилена сформируют по шкале газоанализатора выходной сигнал около 63%НКПР, в то время, как 50% НКПР н-Нонана приведут к сигналу лишь в 24% НКПР.

Далее рассмотрим конструкцию термокаталитического сенсора.

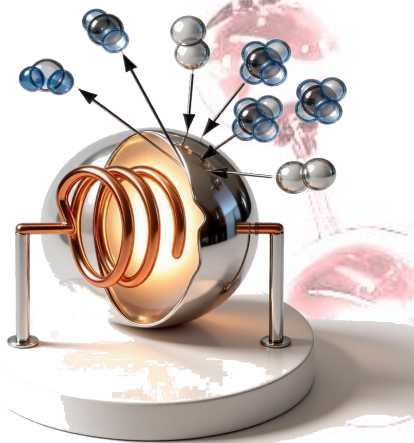
Термокаталитические сенсоры

Молекула
 CH_4

Молекула
 H_2O

Молекула
 CO_2

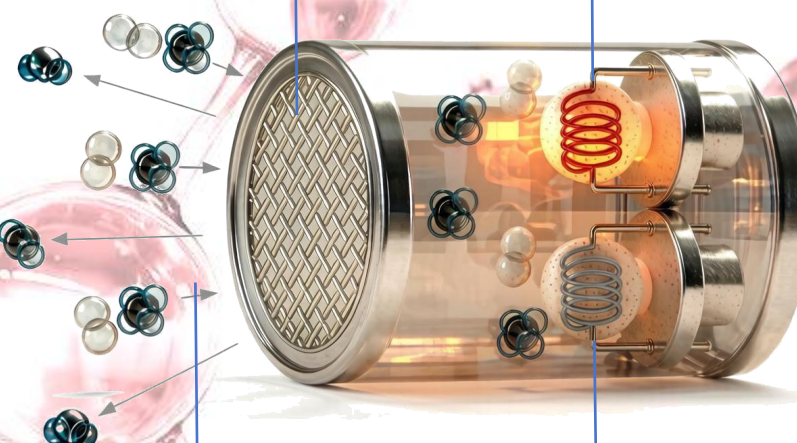
Молекула
 O_2



Реакция: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{тепло}$

Пламяга-
ситель

Активный
пеллистор



Газ

Пассивный
пеллистор

Слово «пеллистор»
происходит от английских слов
«**Pellet**» и «**Resistor**».

«**Pellet**» - гранула, шарик
(форма, которую имеет
пеллистор).

«**Resistor**» - сопротивление
(рабочее свойство пеллистора).

Активный пеллистор - небольшая платиновая спираль в пористом керамическом шарике диаметром менее 1 мм. Электрический ток протекает через платиновую спираль, нагревая её до нескольких сотен градусов Цельсия. Активный пеллистор содержит каталитический материал, и в присутствии горючего газа температура пеллистора будет повышаться за счет реакции окисления (горения), при этом сопротивление платиновой спирали будет возрастать.

Термокаталитические сенсоры

Пассивный пеллистор используется для компенсации влияния изменений в окружающем воздухе. Он очень похож на активный пеллистор, за исключением того, что он не реагирует на газ (например, не содержит катализатор). Термокаталитический сенсор с двумя пеллисторами, подключенный к электронной плате газоанализатора формируют так называемый мост Уитстона (на рисунке представлен общий вид моста Уитстона, который поясняет электротехнический принцип работы сенсора).

R1 - пассивный пеллистор

R2 - активный пеллистор

При изменении сопротивления активного пеллистора R2 (когда на нем происходит окислительная реакция с выделением тепла) мостовая схема выходит из равновесия и появляется разность потенциалов, которая анализируется алгоритмом газоанализатора и формирует выходной сигнал.

Мост Уитстона

Мост Уитстона – это четырехполюсник, к двум полюсам которого (A,D) подключен источник тока, а к двум другим (C,B) – гальванометр (вольтметр).

Устройство моста используется для измерения сопротивления.

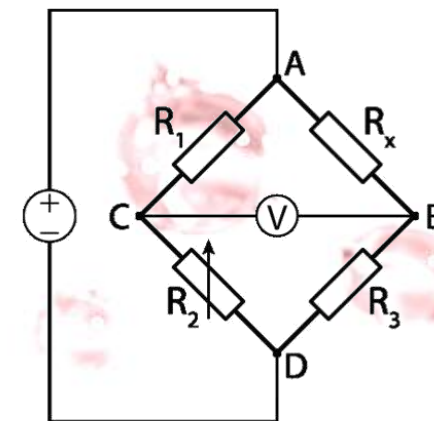
Резисторы – плечи моста.

Если мост находится в равновесии, то ток через гальванометр не идет. Тогда:

$$I_1 = I_2 \quad I_3 = I_x$$

$$U_1 = U_x \quad U_3 = U_2$$

$$\frac{R_x}{R_1} = \frac{R_3}{R_2}$$



Термокаталитические сенсоры



Когда мы начинали говорить про контроль ДВК, мы упоминали, что инфракрасные сенсоры могут измерять концентрации горючих газов вплоть до 100 % об.д. (т.е. газовые среды без кислорода).

Действительно, технология ИК-обнаружения, как мы уже знаем, построена на принципах, не требующих кислорода.

В отличие от ИК-сенсоров, термокаталитические сенсоры для своей работы (окисления горючих газов) требуют наличия кислорода в измеряемой среде. Это еще один важный нюанс. Как правило, при снижении кислорода менее 12 % об.д. термокаталитические сенсоры перестают правильно работать и на газоанализаторе может появиться уменьшающийся сигнал. Это нужно также учитывать на практике.

Чтобы исключить неверную оценку обстановки, некоторые производители в своих сенсорах применяют сразу две технологии - термокаталитическую до 100% НКПР и, при дальнейшем повышении концентрации, с отключением термокаталитического чувствительного элемента в работу включается термокондуктометрический элемент, который способен работать вплоть до 100 % об.д. горючего газа. Такие технологии можно встретить, в частности, в портативных газоанализаторах, но, так как наша статья посвящена стационарным системам, данный принцип измерения мы рассматривать не будем.

По той же причине, для калибровки и поверки термокаталитических газоанализаторов применяют ГСО-ПГС (государственный стандартный образец - поверочной газовой смеси) горючих газов не с азотом, а с воздухом.

Из-за того, что производители ГСО-ПГС не делают смеси газов, близкие ко взрывоопасным, то приобрести для калибровки и поверки можно только такие концентрации ГСО-ПГС, которые обеспечивают метрологическое освидетельствование лишь диапазона до 50% НКПР. Поэтому, как правило, измерительный диапазон газоанализаторов с термокаталитическими сенсорами не превышает 50 % НКПР, а диапазон от 50 до 100 % НКПР не проверяют, считая его диапазоном показаний.

Электрохимические сенсоры

Многие токсичные газы обладают высокой химической активностью и при определенных условиях могут изменять свой химический состав.

Электрохимический сенсор представляет собой микрореактор, который в присутствии газов вырабатывает очень слабый, но все же поддающийся измерению ток. Как и в случае с обычной батареей, здесь задействована электрохимия, поскольку в результате химической реакции образуются электроны.

Электрохимический датчик состоит по меньшей мере из двух электродов (измерительного электрода и контр-электрода), которые контактируют друг с другом с одной стороны через электропроводящую среду (электролит), с другой стороны - через внешнюю цепь электрического тока (проводник). Электроды изготовлены из специального материала, который также обладает каталитическими свойствами, позволяя протекать определенным химическим реакциям на “границе трех фаз”, где присутствуют газ, катализатор и электролит. Однако, двухэлектродный сенсор имеет много недостатков. Например, при наличии высоких концентраций газов это может привести к увеличению тока в сенсоре и падению напряжения. Падение напряжения приводит к изменению предварительно установленного напряжения сенсора, что, в свою очередь, может привести к получению неверных измерительных сигналов или, в худшем случае, к химической реакции в сенсоре, которая останется незамеченной.

Опасность отравления (ТОХ)

Токсичные вещества могут встречаться где угодно. Они могут выделяться в процессе промышленного производства и переработки, при транспортировке любым видом транспорта, при неполном сгорании топлива.

Например, в промышленных холодильных установках в качестве хладагента применяется токсичный аммиак.

Даже в естественных процессах, таких как разложение биомассы, выделяются токсичные вещества, а в животноводческих комплексах очень важно контролировать аммиак и углекислый газ.

Токсичные газы имеют разные ПДК, которые могут различаться на порядок, в связи с этим при контроле ПДК, а иногда и аварийных утечек очень важен фактор селективности, чтобы одни газы с наиболее высоким ПДК не вызвали срабатывание порога по другим газам с более низким ПДК.

Токсичные газы могут быть измерены электрохимическими или фотоионизационными сенсорами, а также с использованием других принципов измерения, таких как фотоколориметрический.

Мы рассмотрим первые два принципа, которые встречаются наиболее часто.

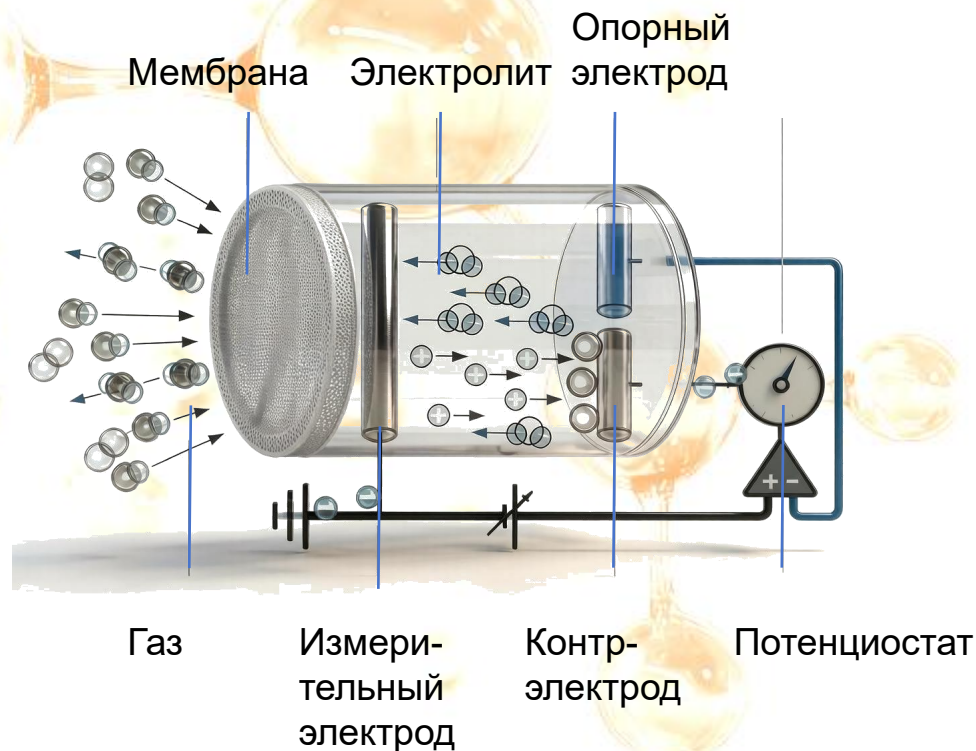


Электрохимические сенсоры

В связи с этим, на практике в основном применяют трёхэлектродные сенсоры с дополнительным опорным электродом, через который не течет ток реакции.

Опорный электрод используется для непрерывного измерения напряжения сенсора на измерительном электроде, которое может быть скорректировано. Это значительно улучшает качество измерений (например, в отношении линейности и селективности), а также увеличивает срок службы сенсора. Разберем электрохимические процессы на примере сенсора на угарный газ (CO).

- Молекула CO**
Целевой газ достигает измерительного электрода
- Молекула CO₂**
Продукт реакции покидает измерительный электрод
- Молекула H₂O**
Входит в состав электролита
- H⁺ ион водорода**
Имеет положительный заряд, так как атом водорода потерял электрон
- Атом кислорода**
- Молекула кислорода**
Из окружающей среды
- Электрон**



Химическая Реакция на измерительном электроде:
 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

Химическая Реакция на контр-электроде:
 $\frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

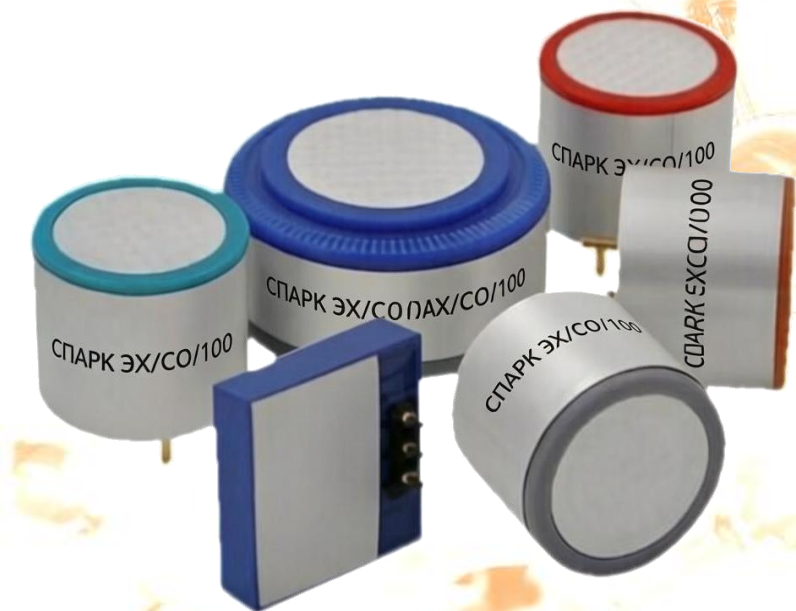
Электрохимические сенсоры

Электрохимические сенсоры, как правило, выбираются под измерение конкретного целевого газа, но они также не лишены такого свойства, как перекрестная чувствительность к другим газам.

Иногда это свойство сенсоров является полезным, когда целую группу однородных встречающихся на предприятии газов можно контролировать одним газоанализатором, выбрав в качестве опорного (калибровочного) тот газ, по отношению к которому сенсор менее чувствителен, приняв во внимание ПДК газов (как и в случае с ИК и термokatалитическими сенсорами).

Но очень часто перекрестная чувствительность мешает правильной работе газоаналитической системы, например, постоянно присутствующие фоновые и неопасные концентрации аммиака могут стать причиной срабатывания сенсоров на гидразин, у которого ПДК составляет всего 0,3 мг/м³.

Для снижения влияния нецелевых газов на работу электрохимического сенсора могут применяться селективные фильтры. Работа селективных фильтров построена на нескольких принципах, среди которых химическая реакция, задержка (с помощью мембран с определенным размером пор) или адсорбция.



Фотоионизационные сенсоры

Многие горючие газы и пары токсичны для человека и животных в концентрациях, значительно ниже их НКПР.

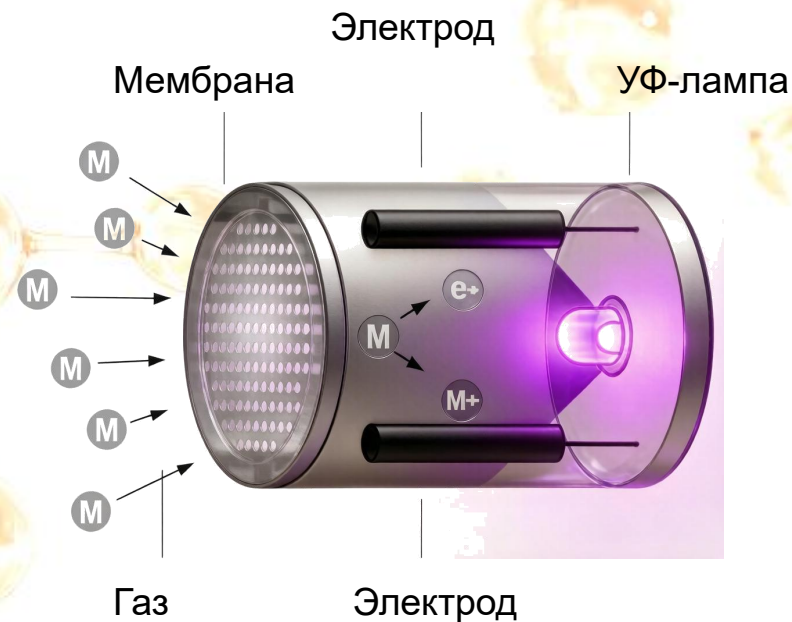
Для контроля некоторых таких газов и паров можно также применять электрохимические сенсоры, но не все из них закрывают задачу полностью.

Фотоионизационные сенсоры приходят на помощь, когда не остается других способов контролировать опасные газы.

Фотоионизационные сенсоры - не самое оптимальное решение, если есть возможность использовать электрохимические сенсоры, так как они абсолютно не избирательны сами по себе (без селективных фильтров), а их эксплуатация связана с некоторыми ограничениями. Срок службы фотоионизационных сенсоров невелик (составляет пару лет), хотя, в ряде таких сенсоров возможен ремонт с заменой главной их части - фотоионизационной лампы.

Для ионизации постоянно находящихся в воздухе газов (таких как инертные газы, азот, кислород, углекислый газ и водяной пар) требуется большое количество энергии. По этой причине эти газы не нарушают измерение содержания опасных веществ.

Большинство органических веществ, которые могут рассматриваться как опасные ионизируются и подвергаются воздействию электрического поля между двумя электродами в измерительной камере. Сила результирующего тока прямо пропорциональна концентрации ионизированных молекул.



Фотоионизационные сенсоры



Энергия ионизации измеряется в электрон-вольтах (эВ) и показывает, сколько энергии требуется для ионизации одной молекулы. Энергия ионизации - это данные для конкретного вещества, такие же как температура кипения или вспышки. Для того, чтобы измерение с помощью фотоионизационного метода было возможно, энергия ионизации определенного вещества должна быть меньше энергии фотонов лампы, используемой в фотоионизационном сенсоре (ФИД).

Обычно используются лампы двух типов, различающихся по энергии ионизации: 10,6 эВ и 11,7 эВ.

Рекомендуется использовать лампы на 10,6 эВ, как самые стабильные и надежные, при этом имеющие достаточную энергию для ионизации большинства летучих органических веществ.

Опасность по кислороду (ОХ)

Если говорить об опасности кислорода, то эта опасность связана не с самим химическим элементом, а с его свойствами — в первую очередь с тем, что он сильный окислитель. Нужно разделить опасности по кислороду на две группы:

- 1) для безопасности процессов;
- 2) для здоровья человека.

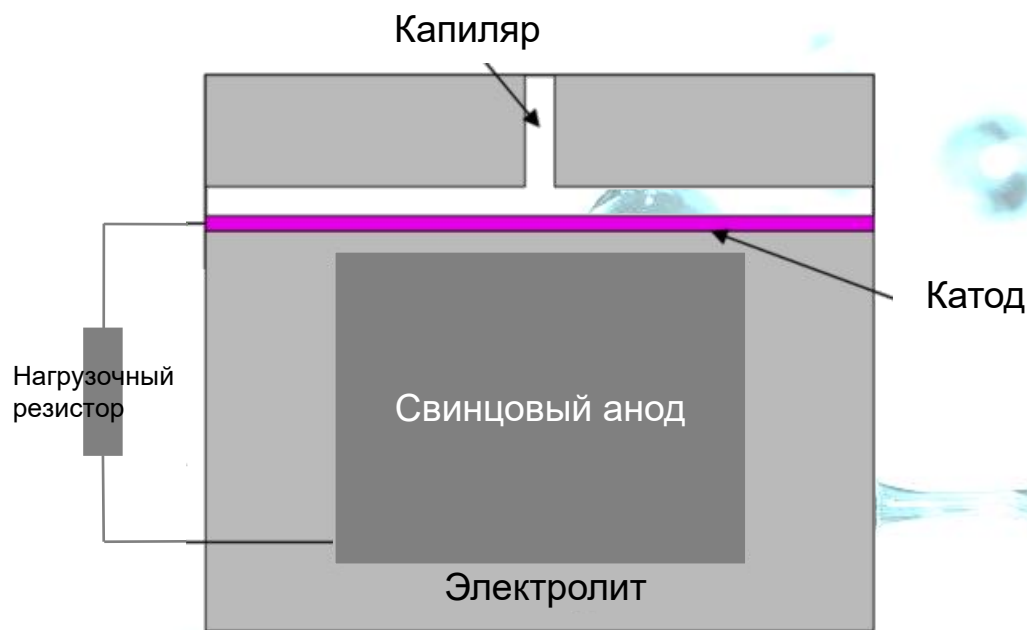
Для обеспечения безопасности процессов важно контролировать не превышение кислорода по отношению к его нормальному содержанию в воздухе (>21 % об.д.).

Для здоровья человека важно контролировать нормальное парциальное давление кислорода в воздухе (именно парциальное давление, а не процентное содержание, как мы рассматривали в самом начале статьи, когда касались темы свойств газов).

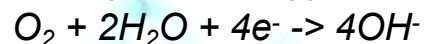
Самым распространенным типом сенсора на кислород в задачах обеспечения промышленной безопасности является гальваническая измерительная ячейка. По конструкции она напоминает электрохимический сенсор, но есть отличия.



Гальванический сенсор на O_2



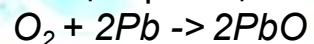
Реакция на катоде:



Реакция на аноде:



Общая реакция:



Кислородные сенсоры можно сравнить со свинцовыми элементами питания.

Кислород при контакте с катодом восстанавливается до гидроксильных ионов, а на аноде происходит уравнивающая реакция окисления свинца.

Кислородные сенсоры генерируют ток, пропорциональный скорости реакции окисления свинца. Этот ток легко измерить, поместив нагрузочный резистор между катодом и анодом (обычно кислородные сенсоры имеют всего два соответствующих контакта) и измерив результирующее падение напряжения.

Срок службы сенсора заканчивается тогда, когда весь свинец анода окисляется.

Так как в воздухе постоянно присутствует кислород, то срок службы сенсоров, как правило, составляет не более 1-2х лет.

Выбор мест расположения

Мы рассмотрели свойства газов, методы и принципы защиты от их неблагоприятного воздействия, а также наиболее часто употребляемые технологии сенсоров газоанализаторов для контроля воздуха рабочей зоны.

На самом деле, газоанализаторами, которые разработаны для контроля воздуха рабочей зоны можно (и это, как правило, разрешено сертификатами) закрыть некоторые задачи технологического мониторинга (то есть контроль концентраций газов не в воздухе, а в атмосфере промышленных установок).

Однако, для таких задач требуется тщательный анализ условий применения, которые необходимо привести в соответствие со спецификациями работы самих газоанализаторов и их сенсоров (иногда нужно спроектировать систему пробоподготовки, чтобы осуществить нагрев, охлаждение, осушение, увлажнение пробы и т.д.).

Далее мы рассмотрим основные аспекты, касающиеся применения газоанализаторов именно в сфере промышленной безопасности, так как технологический мониторинг - это всегда очень частный случай для такого типа оборудования.

При выборе мест установки газоанализаторов часто задаются справедливым вопросом: какую площадь защиты обеспечиваю газоанализаторы?

Вопрос логически справедлив, так как невозможно всю площадь или объем промышленной установки или помещения предприятия заставить газоанализаторами, но с точки зрения науки и техники этот вопрос некорректный.

Радиус действия и пр.?!

Мы же с Вами знаем, как работают сенсоры газоанализаторов, и что они измеряют концентрацию, которая методом диффузии (или принудительным методом с помощью насоса или эжектора) поступает на их чувствительные элементы.

Также мы знаем свойства газов.

Поэтому нужно задать много дополнительных вопросов, чтобы определить наиболее корректные места установки точечных газоанализаторов: 1) Целевой газ легче или тяжелее воздуха? 2) Где находятся места наиболее вероятных утечек? 3) Где газ может накапливаться? 4) Какая температура воздуха, частей технологического оборудования, куда направлены потоки воздуха? и др.

Все эти и многие другие знания необходимы, чтобы правильно выбрать корректные места расположения газоанализаторов.

Для того, чтобы лучше понять принципы применения газоанализаторов, можно обратиться к ГОСТ IEC 60079-29-2-2013. Данный ГОСТ может служить ориентиром для проектирования, но при выборе конкретного решения все же требуется тщательная оценка газовой обстановки объекта проектирования и выявление рисков в различных ситуациях.

Также существует другой стандарт - ТУ-ГАЗ-86, который очень любят проектировщики. Данный стандарт без особых погружений в теорию предоставляет практические советы по выбору и расположению газоанализаторов. Но нужно принять во внимание, что с даты создания этого стандарта прошло уже 40 лет. За последние 40 лет, например, Китай превратился из бедной аграрной страны в высокоразвитую цивилизацию, а что уж говорить о технологиях в частности!

Благодарю, что дочитали до конца!

Надеюсь, информация в данной статье была для Вас полезной или, по крайней мере, увлекательной!

С уважением ко всем, кто трудится на благо безопасности или думает о ней,

Мостыко Д.А.

Директор по развитию

АО «Спецпожинжиниринг»