

1. Физиология дыхания и кровообращения

Известно, что жизнь организма возможна только при условии пополнения энергии, которая непрерывно расходуется. Свои энергетические расходы организм покрывает за счет той энергии, которая освобождается при окислении питательных веществ, а для обеспечения окислительных процессов необходимо постоянное поступление кислорода. Однако при окислительных процессах образуются продукты распада, в первую очередь углекислый газ, который должен быть удален из организма. Эти функции осуществляют органы дыхания и кровообращения.

Дыхание — сложный, непрерывно совершающийся процесс, состоящий из трех фаз:

- внешнего дыхания, обеспечивающего газообмен между внешней средой и кровью;
- транспортировки газов кровью;
- внутреннего или тканевого дыхания, заключающегося в использовании доставленного кислорода на окислительные нужды.

Внешнее дыхание у человека осуществляется легкими.

Дыхательные пути начинаются от входных отверстий носа и рта и продолжаются через дыхательное горло (гортань) и трахею. Последняя делится на бронхи, каждый из которых, последовательно раздваиваясь, образует так называемое бронхиальное дерево. Бронхи самого малого диаметра — бронхиолы — заканчиваются расширениями — легочными пузырьками (альвеолами). В легких человека находится около 700 млн. альвеол, диаметром 0,2 мм каждая, и составляют общую площадь легких примерно 90 м². Через альвеолы кислород поступает в кровь, которая расходится по кровеносной системе, отдавая для питания тканям кислород и принимая углекислый газ.

Так как газообмен происходит только в альвеолах, то все дыхательное пространство, начиная от входных сечений носа и рта, названо «мертвым» или «вредным» пространством.

Дыхательный центр находится в заднем головном мозгу, а дыхательные движения регулируются рефлекторно. В стенках легких находятся окончания центростремительных волокон блуждающего нерва. При нервном импульсе на дыхательные (межреберные) мышцы они сокращаются и грудная клетка увеличивается в объеме. Благодаря эластичности стенок и отрицательному давлению между легкими и серозной поверхностью грудной клетки, легкие растягиваются — происходит вдох.

Растяжение стенок легких раздражает окончания центростремительных волокон блуждающего нерва, это возбуждение поступает к дыхательному центру и тормозит его деятельность. Дыхательные мышцы перестают получать возбуждение и расслабляются, грудная клетка опускается, объем ее уменьшается и происходит выдох. Таким образом, происходит как бы саморегуляция: вдох вызывает выдох, а выдох — вдох. В спокойном состоянии человек делает 12–20 вдохов и выдохов в минуту, весной частота дыхания в среднем на 1/3 выше, чем осенью.

Жизненная емкость легких определяется спирометром — прибором для измерения количества воздуха, выделенного при максимальном выдохе после глубокого вдоха. Объем воздуха в легких измеряется с точностью до 100 см³. У мужчин на 1 кг веса должно быть в среднем 60 м³ воздуха. Например, при весе 70 кг нормальная жизненная емкость легких 4200 см³.

При тяжелой и очень тяжелой работе в кислородных изолирующих противогазах (КИП), когда на организм действует физическая нагрузка, в органах дыхания происходят некоторые изменения:

- увеличивается «мертвое» пространство. Это происходит в результате расслабления поперечно-гладких мышечных волокон;
- учащаются дыхательные движения в результате нервных влияний и накоплений в крови угольной кислоты;
- повышается легочная вентиляция.

Температурно-влажностный режим дыхательной системы КИП — теплопроводный, дыхательная смесь в дыхательном мешке имеет почти такую же температуру, как и окружающая среда. Поэтому при работе в подвалах или трюмах корабля с высокой температурой, дыхательная смесь сильно нагревается и отрицательно действует на психику газодымозащитника.

Относительная влажность дыхательной смеси в противогазе поддерживается до 100 % за счет паров воды при выдыхании, 18,5 % влажности химпоглотителя и пота с лицевой части тела.

Дыхание в средствах индивидуальной защиты органов дыхания и зрения (СИЗОД) должно быть не частым, а глубоким и равномерным. Вдыхать следует через рот, а выдыхать — через нос. Выдох должен быть несколько длиннее вдоха. Одним из способов отработки правильного дыхания является упражнение в кратковременном беге с подсчетом для контроля числа шагов. При этом на три шага производится вдох, на пять — выдох.

Выполняя работу в СИЗОД, необходимо приспособлять свое дыхание к характеру рабочих движений.

Например, при перелопачивании песка, переноске дров, во время наклона туловища следует делать медленный выдох, а при разгибании — глубокий вдох. При таком вдыхании кровь хорошо обогащается кислородом, правильно работает КИП, выдыхаемый воздух легче очищается в регенеративном патроне от углекислого газа, периодически срабатывает избыточный клапан и своевременно обнаруживаются неисправности.

При тяжелой продолжительной работе и частом дыхании периодически срабатывает механизм легочного автомата и почти не работает избыточный клапан, в результате процентное содержание азота в дыхательном мешке увеличивается. Из таблицы 2.1. видно, что вдыхаемый воздух имеет в своем составе 78,03 % азота, а выдыхаемый — 78,5 %, разница после каждого дыхательного движения составляет 0,47 %. Этот азот поступает из организма при окислении и видоизменении белков.

Таблица 1

Воздух при спокойном дыхании	Состав воздуха, %		
	O ₂	CO ₂	N ₂
Вдыхаемый	20,96	0,02	78,03
Альвеолярный	13,70	5,60	80,70
Выдыхаемый	16,40	4,10	78,50

Кроме того, имеющийся в баллоне медицинский кислород в своем составе содержит около 99,0 % кислорода и 1 % азота. При емкости баллона в 1 л (КИП-8) с давлением 200 атм. имеется 198 л кислорода и 2 л азота.

Азот, как инертный газ, в реакцию с ХП-И не вступает, накапливается в дыхательном мешке и, если не работает периодически избыточный клапан, количество его в воздухе дыхательного мешка увеличивается, а процентное содержание кислорода опасно сокращается, возможно, азотное «опьянение». Поэтому необходимо через 30 мин работы в КИП нажать на кнопку аварийного клапана, продолжительностью 2–4 с и промыть кислородом дыхательный мешок до срабатывания избыточного клапана.

Кровь вместе с лимфой является внутренней средой организма и выполняет следующие основные функции:

- разносит по организму питательные вещества: углеводы поступают в организм в виде полисахаридов (крахмал, клетчатка), затем расщепляются до дисахаридов (сахар тростниковый, свекловичный) и преобразовываются в моносахариды (глюкоза, фруктоза, лактоза и др.);
- белки (мясо, рыба и др.) — распадаются до аминокислот;

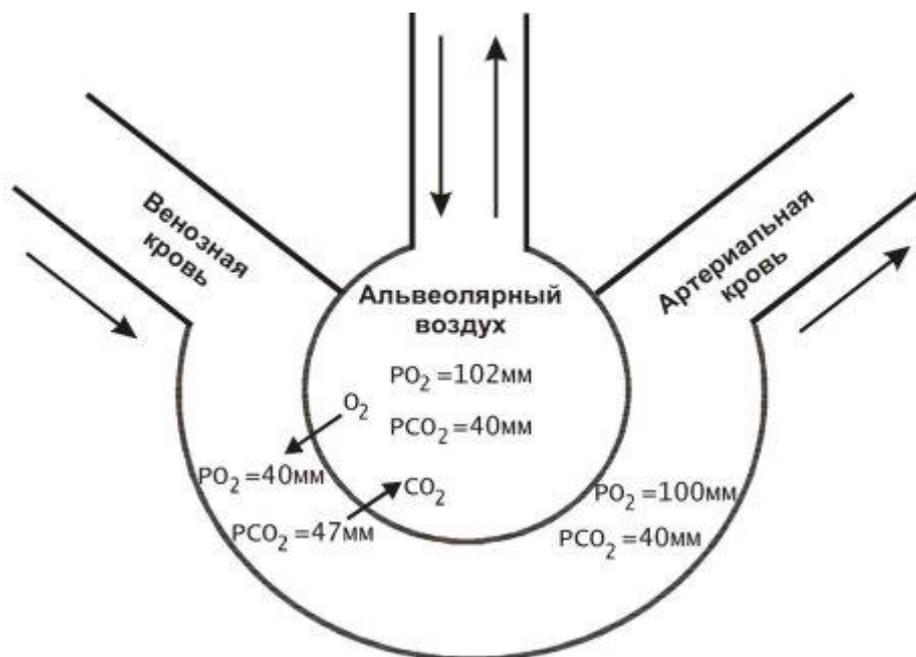


Рис. 1. Принцип газообмена в легких

- жиры (растительные и животные) — распадаются на глицерин и жирные кислоты;
- выносит из организма продукты распада — молочную кислоту, соли, мочевину и др.;
- доставляет в клетки кислород и выносит из них углекислый газ;
- осуществляет защиту организма от вредных веществ и инородных тел.

Составляющими крови являются:

- плазма — куда входит 90–92 % воды и 10–8 % сухого остатка (белки, глюкоза, мочевина, аминокислоты и не органические соли К, Na, Ca и т. д.);

- эритроциты, которые образуются в красном костном мозгу и селезенке, где и созревают. Продолжительность жизни эритроцита 90–125 дней (3–4 месяца). За сутки заменяется примерно 25 г крови (за 70 лет жизни костный мозг дает 650 кг эритроцитов). У мужчин в 1 мм³ крови находится 4,5–5 млн. эритроцитов. Число их меняется при некоторых физиологических условиях (мышечная работа, работа на высотах). В эритроцитах находится вещество красного цвета — гемоглобин (Hb), который является основным переносчиком газов в крови, имеет непрочное соединение с кислородом и углекислым газом и прочное соединение с окисью углерода. В каждом эритроците содержится около 270 млн. молекул гемоглобина. Гемоглобин, соединенный с кислородом, имеет формулу HbO₂ и называется оксигемоглобином, а соединенный с углекислым газом — имеет формулу HbCO₂ и называется бикарбонатом;

- лейкоциты — бесцветные клетки, образующиеся в красном костном мозгу, в лимфатических сосудах и селезенке. Количество их в 1 мм³ крови 6–8 тысяч. Их количество не постоянно и особенно увеличивается при инфекционных заболеваниях. (За 70 лет жизни костный мозг дает 1000 кг лейкоцитов). Важнейшей функцией лейкоцитов является защита организма от микроорганизмов, проникающих в кровь и ткани. После тяжелой и очень тяжелой работы количество лейкоцитов в крови увеличивается до 16 тыс. в 1 мм³;

- кровяные пластинки, которые играют важную роль при свертывании крови.

В организме человека имеется два круга кровообращения (рис.1). Большой круг кровообращения начинается из левого желудочка сердца, затем идет в аорту, артерии, артериолы, капилляры и заканчивается в правом предсердии; малый круг — начинается из правого желудочка сердца, идет в легочные артерии и капилляры и заканчивается в левом предсердии. При выслушивании сердца ясно различают два звука, которые называются тонами сердца. Первый тон называется систолическим, второй тон — диастолическим (захлопывание полулунных клапанов). При сокращении каждый желудочек выбрасывает 70–80 мл крови. У здорового человека сердце в минуту сокращается в среднем 70 раз. Однако следует учитывать, что на частоту сердцебиения влияет положение тела и выполняемая физическая нагрузка. Сердце подает кровь в сосуды не

бесперывно, а прерывистой струей, однако кровь по кровеносным сосудам течет бесперывно. Это достигается благодаря эластичности стенок артерий. Давление крови не одинаково в разных сосудах; оно выше в артериальном конце — 130 мм рт. ст. и ниже в венозном — ниже атмосферного на 2–5 мм рт. ст. В мелких капиллярах кровь встречает очень большое сопротивление из-за большого разветвления и малого сечения.

Ритмические колебания стенок артерий называют артериальным пульсом. Но пульсовые колебания нельзя путать с током крови. Скорость распространения пульсовой волны не связана со скоростью течения крови по сосудам. Пульсовая волна распространяется со скоростью 9 м/с, а наибольшая скорость, с которой течет кровь, не превышает 0,5 м/с, распространяясь по артериям, она постепенно ослабевает и окончательно теряется в капиллярной сети. Пульс в значительной степени отражает работу сердца и, прощупывая его, можно составить некоторое представление о работе сердца, состоянии всей сердечнососудистой системы и о полученной физической нагрузке.

В табл. 2 приведена зависимость потребления кислорода (воздуха) и частоты пульса от степени тяжести, выполняемой работы.

Таблица 2

Виды работы по степени тяжести	Потребление кислорода, л/мин	Потребление воздуха, л/мин	ЧСС, уд/мин.
Легкая	до 1,0	12,5	85–100
Средняя	от 1,0 до 1,5	30	101–125
Тяжелая	от 1,5 до 2,0	60	126–150
Очень тяжелая	свыше 2,0	85	151–170

Пульс ощущается пальцами, приложенными к какой-нибудь поверхностно-лежащей артерии. Наиболее доступными для подсчета пульса являются места: у основания большого пальца на ладонной части предплечья, у височной области и у сонной артерии. Для счета пульса к указанным местам надо прикладывать два или три пальца и избегать сильного надавливания на артерию.

Следует особо отметить, каждый газодымозащитник должен быть обучен самоконтролю за частотой пульса. Определение частоты пульса одновременно у всего звена производится по указанию руководителя занятия — «Приготовиться к подсчету», а затем по команде «Раз» и через 15 с — «Стоп» сосчитать количество пульсовых ударов. После этого каждый газодымозащитник должен доложить о результатах подсчета руководителю занятий. Количество пульсовых ударов в минуту определяется путем умножения результатов измерения пульса на четыре.

Критерием предельной физической нагрузки принято считать ЧСС до 170 уд./мин.

Если частота пульса превышает 160 ударов в минуту и не уменьшается в течение 3–5 мин отдыха, газодымозащитник должен быть освобожден от выполнения дальнейших упражнений.

Газодымозащитник, у которого в течение 2–3 тренировок подряд ЧСС превышает указанный выше предел, а индекс степ-теста оценивается оценкой «плохая», должен направляться на внеочередное медицинское освидетельствование.

Кислород, поступающий в кровь, доставляет его ко всем клеткам организма. В клетках происходят важные для жизни окислительные процессы. Отдавая кислород клеткам, кровь захватывает углекислоту, а также молекулы воды и доставляет в альвеолы. Главным условием жизни является обмен веществ (энергии), а основными источниками энергии являются питательные вещества. При окислении этих веществ образуются различные соединения, которые являются составляющими энергии. В результате окисления в клетках, парциальное давление углекислого газа увеличивается по сравнению с его содержанием в артериальной крови и в условиях покоя достигает 6,25 кПа (47 мм рт. ст.) (при физической работе значительно больше). Углекислый газ, взаимодействуя с водой, образует угольную кислоту (H_2CO_3). Угольная кислота, соединяясь с солями гемоглобина, превращается в бикарбонат гемоглобина и с кровью транспортируется к

легким. В легких происходит обратная реакция: отщепляется углекислый газ, восстанавливается гемоглобин и вода. Количество поглощенного кислорода обычно больше количества выделяемого организмом углекислого газа. Это объясняется тем, что окислительные процессы идут не только с углеводами, но и с белками, жирами и другими веществами. Отношение количества выделенного углекислого газа к поглощенному кислороду называется дыхательным коэффициентом (К), который колеблется в пределах от 0,80 до 0,95.

Кроме того, через поверхность тела, т. е. через кожу, обеспечивается 1–2 % всего газообмена, происходящего в организме. Дыхание — важнейший процесс, протекающий в организме непрерывно. При нарушении внешнего дыхания продолжается внутреннее дыхание. Если за 5–6 минут внешнее дыхание не восстановится, наступает смерть.

Регулирование дыхания осуществляется автоматически центральной нервной системой в зависимости от условий, в которых находится организм, и с помощью волевых усилий.

СИЗОД, предназначенные для защиты органов дыхания и зрения пожарного от воздействия продуктов горения, обеспечивают только процесс внешнего дыхания.

С количественной стороны процесс дыхания характеризуется следующими показателями: частотой дыхания, жизненной емкостью легких, легочной вентиляцией, «мертвым» пространством, газообменом в легких человека, дозой потребления кислорода.

Частота дыхания (f , 1/мин) человека определяется числом вдохов, производимых за единицу времени. Частота дыхания не является постоянной и зависит от нескольких факторов: увеличивается с повышением нагрузки на человека и зависит от степени тренированности человека. Частота дыхания у тренированного человека составляет в среднем 6–8 дыхательных циклов в минуту, у нетренированного человека — 12–18 циклов в минуту. При физической нагрузке частота дыхания нетренированного человека увеличивается в большей мере. Частота дыхания зависит от пола и от возраста человека.

Жизненная емкость легких (ЖЕЛ, л) — показывает объем воздуха, который человек может выдохнуть из легких после глубокого вдоха. В среднем эта величина равна 3,5 л.

Легочная вентиляция (Q л, л/мин) определяется количеством воздуха, циркулирующего в легких за единицу времени, т.е. тем объемным количеством воздуха, который за 1 минуту вдыхается или выдыхается человеком.

«Мертвое» пространство определяется объемом воздуха, не участвующего в процессе газообмена. «Мертвое» пространство равно сумме объемов воздуха, остающегося в носовой полости, гортани, трахее, бронхах и бронхиолах при выдохе. Объем «мертвого» пространства у взрослого человека в среднем составляет 140 мл. Воздушная смесь, не участвующая в процессе газообмена содержит мало кислорода и в значительной степени загрязнена углекислым газом. Каждый КИП имеет «мертвое» пространство, объем которого суммируется с объемом «мертвого» пространства человека. Поэтому при конструировании, очень важно обеспечить минимальный объем «мертвого» пространства КИП.

Газообмен в легких человека определяется составом вдыхаемого и выдыхаемого воздуха и характеризуется данными, приведенными в табл. 3, 4.

Таблица 3

Состав воздуха	Содержание в % по объему воздуха		
	в атмосферном воздухе	в альвеолярном воздухе	в выдыхаемом воздухе
Азот, N ₂	78,09	74,2	78,50
Кислород, O ₂	20,95	13,4	16,4
Углекислый газ, CO ₂	0,03	5,2	4,1
Инертные газы	около 1,0	около 1,0	около 1,0
Водяные пары, H ₂ O	—	6,2	—

Таблица 4

Составляющие нейтральных газов	Содержание в % по объему в воздухе
Аргон, Ar	$9,32 \times 10^{-1}$
Неон, Ne	$1,8 \times 10^{-3}$
Гелий, He	$4,6 \times 10^{-4}$
Криптон, Kr	$1,1 \times 10^{-4}$
Радон, Rn	$6,0 \times 10^{-5}$
Водород, H ₂	$5,0 \times 10^{-5}$
Окись азота, N ₂ O	$5,0 \times 10^{-5}$
Ксенон, Xe	$8,0 \times 10^{-6}$
Озон, O ₃	$2,0 \times 10^{-6}$

Процентное содержание нейтральных газов во вдыхаемом и выдыхаемом воздухе остается без изменения. Это свидетельствует о том, что перечисленные газы в газообмене, протекающем в легких человека, не участвуют.

Содержание кислорода в выдыхаемом воздухе снижается примерно на 4,5 %. Вместо поглощаемого кислорода в альвеолярный воздух выделяется углекислый газ, содержание которого в выдыхаемом воздухе доходит до 4,1 %. Газообмен в легких человека зависит от степени напряженности работы. Потребление кислорода с увеличением нагрузки возрастает, соответственно, возрастает выделение углекислого газа и его концентрация в выдыхаемом воздухе.

Доза потребления человеком кислорода (воздуха) (S, л/мин) определяется количеством кислорода (воздуха) израсходованного человеком за единицу времени. Величина потребления зависит от степени тяжести выполняемой работы. В табл. 5 приведена оценка степени тяжести некоторых видов работ выполняемых газодымозащитниками на пожарах и тренировках.

Таблица 5

Вид работы (упражнения)	Скорость передвижения, м/мин	Частота сердечных сокращений, уд/мин	Степень тяжести работы
Ходьба по горизонтали (медленная)	50–60	102±5,5	Средняя
Ходьба по горизонтали (ускоренная)	85–90	112±3,1	Тяжелая
Бег по горизонтали	110–120	126±3,1	Тяжелая
Подъем по лестничной клетке	9–11	127±3,8	Тяжелая
Спуск по лестничной клетке	10–12	90±3,8	Легкая
Подъем по лестничной клетке с грузом 90 кг	6–7	128±8,6	Тяжелая
Спуск с пострадавшим по лестничной клетке	6–7	111±3,8	Средняя
Подъем по вертикальной лестнице	10	152±8,4	Очень тяжелая
Спуск по вертикальной лестнице	12	112±9,3	Средняя
Передвижение на полчетвереньках	18–20	103±5,8	Средняя
Передвижение через узкий лаз	6–8	129±1,1	Тяжелая
Переноска «пострадавшего» по горизонтали двумя пожарными	30–40	125±5,2	Средняя
Подъем с «пострадавшим» по лестничной клетке	6–7	131±5,1	Тяжелая
Спуск по лестничной клетке с грузом 30 кг	6–7	107±8,7	Средняя
Переноска груза весом 60 кг по горизонтальной поверхности	35–40	108±3,3	Средняя

Переноска груза весом 10 кг по горизонтальной поверхности	50–60	98±2,6	Средняя
Разборка конструкций, перекантовка бочек	–	146±7,8	Тяжелая
Передвижение со стволом (под напором воды, давление 4,0-4,5 атм.) по помещениям	45–50	135±0,7	Тяжелая
Установка брезентовой перемычки с закреплением ее в дверном проеме распорными штангами	–	118±4,1	Средняя
Проведение разведки с отыскиванием очага пожара или человека, видимость отсутствует, передвижение по нескольким помещениям	–	86±2,5	Легкая
Передвижение со стволом (под напором воды, давление 4,0-4,5 атм.) по помещениям, видимость отсутствует, движение с поворотами.	–	120±3,4	Средняя

2. Продукты горения и воздействие их на организм человека

Горение является процессом окисления, в результате которого выделяются теплота и продукты сгорания, наблюдаемые в виде дыма. При полном сгорании органических веществ образуются, как правило, диоксид углерода (углекислый газ) и вода. При неполном сгорании (происходящем при недостатке воздуха), кроме диоксида углерода (CO₂) и паров воды, образуются и другие соединения типа: оксида углерода (CO), сложных органических соединений (спиртов, кетонов, альдегидов, кислот и др.).

Дым представляет собой дисперсную систему, состоящую из мельчайших несгоревших твердых, жидких или газообразных частиц горящего вещества, размерами менее 0,1 мкм, находящихся во взвешенном состоянии. Дым способен адсорбировать на своей поверхности не только газы, но и пары жидкости, при этом он затрудняет видимость и действует удушающе на органы дыхания человека. Дым обладает большой устойчивостью. Это объясняется тем, что частицы дыма вследствие трения между собой несут на себе электрические заряды. Если эти частицы состоят из металлоидов или их окислов, то они несут на себе положительные заряды. Если же в состав дыма входят частицы металлов и их окислов или их гидратов, то частицы эти несут на себе отрицательные заряды. Частицы, несущие на себе одноименные заряды, отталкиваются друг от друга, что увеличивает стойкость дыма, мешая частицам слипаться и выпадать в виде аэрогелей. Свойства дымовых продуктов и степень задымления во многом зависят от температуры дыма. Образующийся при пожаре в зданиях дым может распространяться из помещения в помещение через проемы, щели и мелкие отверстия в ограждающих конструкциях.

Наибольшая опасность задымления помещений создается в случае, если дымом заполнены лестничные клетки, коридоры, вентиляционные каналы и шахты лифтов.

Характеристика дыма (табл. 6) зависит от вида горящих продуктов. По цвету дыма можно определить основной вид горящих материалов, что имеет существенное значение при оценке обстановки на пожаре и организации его тушения.

Таблица 6

Вещество	Характеристика дыма		
	Цвет	запах	вкус
Бумага, сено, солома	беловато- желтый	специфический	кисловатый
Кожа, шерсть, волос	серый, желтый	раздражающий	кисловатый
Древесина	серовато- черный	смолы	кисловатый

Калий металлический	Плотный белый	не имеет	кисловатый
Магний	белый	не имеет	металлический
Нефтепродукты	черный, коптящий	нефти	металлический
Азотистые соединения	желто-бурый	раздражающий	металлический
Сера	неопределенный	сернистый	кислый
Фосфор	плотный белый	чеснока	не имеет
Хлопок, ткани	Бурый	чеснока	не имеет

Синий, белый и желтый цвета указывают на присутствие в составе дыма отравляющих веществ. При горении тканей, шерсти, волоса, кожи выделяются неприятно пахнущие продукты: пиридин, хинолин, цианистые и содержащие серу соединения, а также газы с сильным и острым запахом (альдегиды, кетоны).

При неполном сгорании материалов, содержащих жиры и мыла, выделяется весьма опасный продукт термического разложения акролеин, который вызывает жжение глаз, раздражение слизистых оболочек рта и носа, кашель, головокружение, вялость, воспаление легких, затруднение выдоха.

Концентрацию акролеина около 0,003 % человек не может перенести более 1 минуты.

Краски, олифы, лаки и эмали с воспламеняемыми растворителями, содержащими разжижители, сиккативы и связующие вещества, сильно горят, выделяя густой черный дым, CO_2 , CO , пары воды, частицы несгоревшего углерода. Нитролаки и нитроэмали выделяют сильно токсичные газы: цианистый водород (HCN) и окислы азота.

Пластмассы и синтетические смолы — являясь органическими материалами, содержащими в своем составе водород, кислород, азот и др. При горении выделяют густой дым, токсичные газы и много продуктов термического разложения: хлорангидридные кислоты, формальдегиды, фенол, фторфосген, аммиак, ацетон, стирол и другие вещества, вредно влияющие на организм человека.

Пироксилиновые пластики при горении выделяют дым тяжелее воздуха, а при ограниченном доступе воздуха — цианистый водород и окислы азота.

Хлорполивинил и пенополиуретан горят, образуя густой черный дым, HCN , CO , CO_2 . Первый выделяет также следы фосгена, второй — изоцианаты, причем токсичность его дыма (при температуре свыше $1000\text{ }^\circ\text{C}$) может за несколько секунд оказаться смертельной.

При горении полиэтилен выделяет черный дым, CO , CO_2 и пары углеводородов. Этилцеллюлоза быстро воспламеняется, плавится и капает, образуя CO_2 , CO .

Вредное действие оказывают продукты разложения поливинилхлорида (ПВХ). В частности, при содержании в воздухе 0,03–0,14 мг/л хлорорганических соединений, 0,04–0,064 мг/л хлороводорода (HCl), 0,25–0,63 мг/л CO отмечено раздражение слизистой оболочки носа и глаз, а также возбуждение, переходящее в слабость.

В продуктах пиролиза ПВХ (например, при $400\text{ }^\circ\text{C}$ через 30 мин), кроме хлороводорода и бензола, обнаруживаются углеводороды $\text{C}_2\text{--C}_9$ в том числе алканы (20–25 %), алкены (35–40 %), алкадиены (10–12 %), ароматические соединения (20–30 %). Из перечисленных выше веществ, хлороводород и бензол по своим токсическим свойствам относятся к аварийно-химически опасным веществам (АХОВ).

Полиамид выделяет CO_2 , CO , NH_3 (аммиак). При горении и разложении минеральных удобрений (аммиачной, калийной, кальциевой селитры и др.) и ядохимикатов (гербициды) образуется большое количество окиси азота (NO), аммиака (NH_3), двуокиси азота (NO_2) и других газов.

В условиях пожара продукты сгорания и теплового разложения, входящие в состав дыма, действуют на организм человека комбинированно, поэтому их общая токсичность опасна для жизни даже при незначительных концентрациях.

При значительных концентрациях продуктов сгорания в составе дыма понижается процентное содержание кислорода, что также опасно для жизни человека (табл. 7).

Изменение состава воздуха на пожаре

Непроизводственные здания	Содержание в % (по объему)		
	Пожары в подвалах	0,04...0,65	0,1...3,4
Пожары на чердаках	0,01...0,2	0,1...2,7	17,7...20,7
Пожары на этажах	0,014...0,4	0,3...10,1	9,9...20,8
Опыты с густыми дымами	0,2...1,1	0,5...8,4	10,8...20,0

При пожаре в метро, перечень токсичных продуктов сгорания очень широкий: хлорорганические соединения, хлористый (до 39,7 мг/м³) и цианистый (до 35,9 мг/м³) водород, аммиак, метиламин, оксид (0,58 %) и диоксид (9,4 %) углерода, фосген и др. Кроме того, вследствие небольшого внутреннего объема метрополитена концентрация кислорода в воздухе может опуститься ниже 18 %.

По характеру воздействия на организм человека, все химические вещества, входящие в состав дыма, разделяют на 5 групп:

1 группа — вещества, оказывающие прижигающее, раздражающее действие на кожные покровы и слизистые оболочки. Последствия воздействия на организм человека — кашель, слезотечение, жжение, зуд. Из веществ, входящих в состав дыма, к этой группе относятся: сернистый газ, пары многих органических соединений — продуктов неполного сгорания (муравьиной и уксусной кислот, формальдегида, паров дегтя и т. д.);

2 группа — вещества, раздражающие органы дыхания: хлор, аммиак, сернистый и серный ангидрид, хлорпикрин, окислы азота, фосген и др. Они вызывают расстройство дыхания, паралич дыхательных мышц, поражение органов дыхания.

К этим же нарушениям ведет и увеличение концентрации в воздухе углекислого газа выше 8–10 %. Вещества (хлор, аммиак, сернистый газ), растворимые в воде, а, следовательно, и в слизи, поражают верхний отрезок дыхательного пути, покрытый слизью. Это приводит к развитию ларингита, трахеита, бронхита. Газы, малорастворимые в воде, не задерживаются влагой слизи верхних дыхательных путей и достигают альвеол. Они способствуют развитию пневмонии и осложнению этого заболевания — отеку легких, образование которого связано с задержкой тканевой жидкости в организме и застоем крови в легких. При отеке появляются одышка, кашель, в тяжелых случаях наступает смерть от удушья.

Следует учесть, что действие некоторых токсичных веществ (фосгена, мышьяковистого водорода) проявляется не сразу, а через определенный период (от 2 до 8–10 часов) от момента поступления яда в организм;

3 группа — токсичные вещества, действующие преимущественно на кровь. К этой группе относятся: бензол и его производные (ксилол, толуол, amino- и нитросоединения), а также мышьяковистый водород, свинец, окись углерода и другие вещества. При попадании в кровь они вызывают разрушение и гибель красных кровяных телец (эритроцитов), что ведет к быстрому развитию резко выраженного малокровия, снижению доставки кислорода и кислородному голоданию;

4 группа — яды, влияющие на нервную систему (бензол и его производные, сероводород, сероуглерод, метиловый спирт, анилин, тетра-этил, свинец и др.);

5 группа — ферментные или обменные яды (синильная кислота, сероводород и др.), действующие на функцию дыхания, в результате чего ткани лишаются способности использовать кислород, доставленный кровью. Многие яды, входящие в состав всех этих групп, поступают в организм через органы дыхания, поэтому при работе на пожаре необходима надежная защита этих органов.

По степени воздействия на организм человека все вредные вещества подразделяются на 4 класса опасности: 1-й — вещества чрезвычайно опасные; 2-й — вещества высоко опасные; 3-й — вещества умеренно опасные; 4-й — вещества малоопасные (табл. 8).

Изменение состава воздуха на пожаре

Показатели	Норма для класса опасности			
	1	2	3	4
Предельно-допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	менее 0,1	0,1...1,0 (окислы азота)	1,1...10	более 10
Средняя смертельная доза при введении в желудок мг/кг	менее 15,0	15...150	151... 5000	более 5000
То же, при нанесении на кожу мг/кг	менее 100	100...500	501... 2500	более 2500
Средняя смертельная концентрация в воздухе мг/м ³	более 500	500...500 0	5001...5000 0	более 5000 0
Коэффициент возможности ингаляционно-го отравления (КВИО)	более 300	300...30	29...3	менее 3

Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны — концентрации, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 41 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья настоящего и последующих поколений.

Перед началом работ, связанных с ликвидацией пожара (аварии) необходимо замерить содержание вредных веществ в окружающей среде при помощи газоанализатора.

Углекислый газ (диоксид углерода — CO₂) — является продуктом полного сгорания вещества. Это газ без цвета и запаха, с кисловатым вкусом. При температуре 0 °С и давлении 101 кПа (760 мм рт. ст.) имеет плотность 1,977 кг/м³. В малых концентрациях углекислый газ не только безвреден, но и необходим, так как является возбудителем, действующим на дыхательный центр. Его высокие концентрации опасны для жизни человека (табл. 9).

Следует отметить, что реакция человека на различные концентрации углекислого газа в воздухе субъективна. Очень многие лица совершенно не ощущают присутствия CO₂ и незаметно для себя отравляются настолько сильно, что теряют сознание. Отравление, вызванное вдыханием небольшого количества углекислого газа, быстро и бесследно исчезает, если дать возможность пострадавшему дышать нормальным атмосферным воздухом. Однако тяжелые случаи отравления, сопровождающиеся потерей сознания, вызывают серьезные изменения в организме и требуют немедленного медицинского вмешательства.

Принцип воздействия углекислоты на организм человека необходимо учитывать при работе в кислородных изолирующих противогазах. В регенеративном кислородном изолирующем противогазе, имеющем замкнутый цикл дыхания, используется очищенный и обогащенный кислородом вдыхаемый воздух. В нем неизбежно скопление небольшого количества углекислого газа. Повышение концентрации CO₂ в системе противогаза до 2 % не представляет опасности. Скопление большого количества углекислого газа ведет к чрезмерному учащению дыхания, нарушается глубина и ритм дыхания, которое становится поверхностным. Это, в свою очередь, приводит к ряду вредных последствий: недостаточному насыщению кислородом легких, быстрому утомлению и чрезмерному расходу кислорода. Максимально возможное значение парциального давления углекислого газа во вдыхаемой газовой смеси при работе в противогазе не должно превышать 3,3 кПа (25 мм рт. ст.), что соответствует содержанию его во вдыхаемом воздухе (3,3 % при нормальном атмосферном давлении).

Первая помощь при отравлении углекислым газом: пострадавшего необходимо как можно скорее вынести на свежий воздух.

Оксид углерода (оксид углерода — CO), или угарный газ, является продуктом неполного сгорания веществ. Оксид углерода — газ легче воздуха, без цвета, запаха и вкуса. При температуре 0 °С и давлении 101 кПа (760 мм рт. ст.) имеет плотность 1,25 кг/м³. В воде оксид углерода почти не растворяется. Токсическое (отравляющее) действие окиси углерода на организм человека заключается в том, что под его влиянием кровь теряет возможность поглощать кислород. Оксид

углерода активно соединяется с гемоглобином крови, образуя стойкое соединение карбоксигемоглобин. Сродство окиси углерода с гемоглобином очень велико и примерно в 300 раз превосходит сродство кислорода с гемоглобином. Следовательно, если в воздухе будет в 300 раз меньше окиси углерода, чем кислорода, то с гемоглобином крови соединяется одинаковое количество кислорода и окиси углерода. Если в воздухе находится большее количество окиси углерода, то оно, соединяясь с гемоглобином, лишает кровь возможности обогащаться кислородом.

Степень тяжести отравления окисью углерода в основном зависит от продолжительности воздействия отравленной среды на организм, концентрации в воздухе, интенсивности легочной вентиляции, температуры среды, размеров тела и объема крови, парциального давления кислорода в окружающей человека среде.

Ориентировочные данные о патологической реакции человека на различные концентрации окиси углерода приведены в табл. 9.

Таблица 9

Газ	Концентрация в воздухе, %	Реакция человека
СО	0,01	Воздействие в течении нескольких часов без заметного успеха
	0,05	Воздействие в течении 1 часа без заметного успеха
	0,1	Воздействие в течении 1 часа. Головная боль, тошнота
	0,5	Воздействие в течении 20...30 мин - смертельно
	1	Потеря сознания после нескольких вдохов, через 1...2 мин сильное отравление (может быть смертельным)
СО ₂	0,04	Безвредно
	1...2	Не вызывает заметных изменений в процессе дыхания
	4...5	Значительно увеличиваются частота и глубина дыхания, появляется шум в ушах, ощутима пульсация крови в висках
	6	То же, в более сильной форме.
	8	Головная боль, головокружение
	10	Человек теряет сознание

Следует иметь в виду, что отравление окисью углерода при содержании ее в воздухе в пределах 0,4...1,0 % происходит очень быстро. Большинство случаев гибели людей на пожарах связано с незаметно наступившей потерей сознания в результате отравления окисью углерода. Поражающая токсодоза 33 мгЧмин/л, смертельная токсодоза 136,5 мгЧмин/л.

Накопление окиси углерода происходит при пожарах в закрытых помещениях, где горение происходило при недостатке воздуха, при горении целлулоида, киноплёнки, каучука и других пластмассовых изделий, при повреждениях вентилялей и трубопроводов в установках, работающих с окисью углерода, в помещениях, где работают двигатели внутреннего сгорания (компрессорные станции с ДВС, общественные и личные гаражи).

Меры оказания первой помощи при отравлении окисью углерода: вынести на свежий воздух, обеспечить горизонтальное положение, тепло и покой, при затрудненном дыхании дать увлажненный кислород с карболеном, теплое молоко с содой. Необходимо срочно госпитализировать всех, получивших отравление. В случаях тяжелого отравления нужно обеспечить дыхание пострадавшего чистым кислородом из прибора искусственной вентиляции легких.

3. Опасные факторы пожара

Опасными факторами пожара (ОФП) считаются те, воздействие которых приводят к травме, отравлению или гибели людей, а также к материальному ущербу.

В соответствии с ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность» опасными факторами пожара, воздействующими на людей, являются :

- пламя и искры;
- тепловой поток;
- повышенная температура окружающей среды, предметов;

- повышение концентрации токсичных продуктов горения и термического разложения;
- пониженная концентрация кислорода;
- снижение видимости в дым.

К сопутствующим проявлениям опасных факторов пожара относятся:

- осколки, части разрушившихся зданий, сооружений, транспортных средств, технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества;
- радиоактивные и токсичные вещества и материалы, попавшие в окружающую среду из разрушенных технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества;
- вынос высокого напряжения на токопроводящие части технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества;
- опасные факторы взрыва, происшедшего вследствие пожара;
- воздействие огнетушащих веществ.

Открытый огонь очень опасен, но случаи его непосредственного воздействия очень редки.

Чаще опасность представляют лучистые потоки, испускаемые пламенем.

Наибольшую опасность представляет вдыхание нагретого воздуха, приводящее к поражению и некрозу верхних дыхательных путей, удушью и смерти. Так, воздействие температуры свыше 100 градусов приводит к потере сознания и гибели через несколько минут. Опасны также ожоги кожи.

При пожарах в современных зданиях с применением полимерных и синтетических материалов на человека воздействуют токсичные продукты горения. Хотя, в продуктах горения нередко содержится 50–100 видов химических соединений, оказывающих токсическое воздействие, по мнению большинства ученых разных стран, основной причиной гибели людей при пожарах является отравление оксидом углерода. В 50–80 % случаев гибель людей на пожарах вызывалась отравлением оксидом углерода и недостатком кислорода.

Во время эвакуации люди обязательно должны четко видеть эвакуационные выходы или указатель выходов. При потере видимости организованное движение людей нарушается и становится хаотичным, каждый человек двигается в произвольно выбранном направлении. В результате процесс эвакуации затрудняется или становится невозможным.

В условиях пожара при сгорании веществ и материалов концентрация кислорода в воздухе помещения уменьшается. Понижение концентрации кислорода всего лишь на 3% вызывает ухудшение двигательных функций организма. Опасной считается концентрация кислорода 14 %, при ней теряется координация движений, ухудшается умственное сосредоточение, затрудняется эвакуация людей.

Таковы опасные факторы пожара, воздействующие непосредственно на человека. Следует также учитывать, что опасность возрастает при панике вызванных ею процессах, при стремлении людей принять меры по тушению пожара, при задержке в опасной зоне, при ошибках в действиях администрации и других лиц по организации эвакуации людей.