

Расчет концентрации токсичных веществ в воздухе помещения

1. Методические указания

Научно - технический прогресс не только способствовал повышению производительности труда, росту, благосостояния общества, но и привел к появлению большого количества новых угроз, опасностей для отдельного человека и для цивилизации в целом. В современной техносфере формируются новые негативные факторы; условия труда и жизни человека значительно превышают адаптационные, физиологические и психологические возможности организма. Развитие техносферы ведет к повышению не только качества жизни, но и уровня опасности для жизнедеятельности человека.

Реальность современной жизни такова, что созданная руками человека техносфера, призванная максимально защищать человека от естественных опасностей, превратилась в свою противоположность и стала основным источником опасностей на земле. Происходящие в ней процессы приводят не только к людским жертвам, ни и к уничтожению природной среды, ее глобальной деградации, что в свою очередь вызывает необратимые генетические изменения у людей.

Техногенные опасности – самый распространенный вид опасностей в современном мире.

В настоящее время известно около 7 млн. химических веществ и соединений (далее вещество), из которых 60 тыс. находят применение в деятельности человека. На международном рынке ежегодно появляется 500... 1000 новых химических соединений и смесей. Некоторые из этих соединений токсичны и вредны: при проливе или выбросе в окружающую среду они способны вызвать массовое поражение людей, животных, приводят к заражению воздуха, почвы, воды, растений.

Вредным называется вещество, которое при контакте с организмом человека может вызывать травмы, заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами как в процессе контакта с ним, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Химические вещества (органические, неорганические, элементарноорганические) в зависимости от их практического использования классифицируются на:

- промышленные яды, используемые в производстве: например, органические растворители (дихлорэтан), топливо (пропан, бутан), красители (анилин);

- ядохимикаты, используемые в сельском хозяйстве: пестициды (гексахлоран), инсектициды (карбофос) и др.;

- лекарственные средства;

- бытовые химикаты, используемые в виде пищевых добавок (уксусная кислота), средства санитарии, личной гигиены, косметики и т. д.;

- биологические растительные и животные яды, которые содержатся в растениях и грибах (аконит, цикута), у животных и насекомых (змей, пчел, скорпионов);

- отравляющие вещества (ОВ): зарин, иприт, фосген и др.

Ядовитые свойства могут проявить все вещества, даже такие, как поваренная соль в больших дозах или кислород при повышенном давлении. Однако к ядам принято относить лишь те, которые свое вредное действие проявляют в обычных условиях и в относительно небольших количествах.

К промышленным ядам относится большая группа химических веществ и соединений, которые в виде сырья, промежуточных или готовых продуктов встречаются в производстве.

В организм промышленные химические вещества могут проникать через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт и неповрежденную кожу. Однако основным путем поступления являются легкие. Помимо острых и хронических

профессиональных интоксикаций, промышленные яды могут быть причиной понижения устойчивости организма и повышенной общей заболеваемости.

Бытовые отравления чаще всего возникают при попадании яда в желудочно-кишечный тракт (ядохимикатов, бытовых химикатов, лекарственных веществ). Возможны острые отравления и заболевания при попадании яда непосредственно в кровь, например, при укусах змеями, насекомыми, при инъекциях лекарственных веществ.

Токсическое действие вредных веществ характеризуется показателями токсикометрии, в соответствии с которыми вещества классифицируют на: чрезвычайно токсичные, высокотоксичные, умеренно токсичные и малотоксичные. Эффект токсического действия различных веществ зависит от количества, попавшего в организм вещества, его физических свойств, длительности поступления, химизма взаимодействия с биологическими средами (кровью, ферментами). Кроме того, эффект зависит от пола, возраста, индивидуальной чувствительности, путей поступления и выведения, распределения в организме, а также метеорологических условий и других сопутствующих факторов окружающей среды.

Наиболее неблагоприятной формой негативного воздействия вредных веществ на человека являются отравления.

Отравление – это результат воздействий химического вещества на человека, приведший к заболеванию или летальному исходу.

Различают острые и хронические отравления.

Острые отравления чаще бывают групповыми и происходят в результате аварий, поломок оборудования и грубых нарушений требований безопасности труда. Они характеризуются кратковременностью действия токсичных веществ не более, чем в течение одной смены; поступлением в организм вредного вещества в относительно больших количествах – при высоких концентрациях в воздухе; ошибочном приеме внутрь; сильном загрязнении кожных покровов.

Например, чрезвычайно быстрое отравление может наступить при воздействии паров бензина, сероводорода высоких концентраций и закончиться гибелью от паралича дыхательного центра, если пострадавшего сразу же не вынести на свежий воздух. Оксиды азота вследствие общетоксического действия в тяжелых случаях могут вызвать развитие комы, судороги, резкое падение артериального давления.

Хронические отравления возникают постепенно, при длительном поступлении яда в организм в относительно небольших количествах. Отравления развиваются вследствие накопления массы вредного вещества в организме (материальной кумуляции) или вызываемых ими нарушений в организме (функциональная кумуляция). Хронические отравления органов дыхания могут быть следствием перенесенной однократной или нескольких повторных острых интоксикаций. К ядам, вызывающим хронические отравления в результате только функциональной кумуляции, относятся хлорированные углеводороды, бензол, бензины и др.

На производстве, как правило, в течение рабочего дня концентрации вредных веществ не бывают постоянными. Они либо нарастают к концу смены, снижаясь за обеденный перерыв, либо резко колеблются, оказывая на человека интермиттирующее (непостоянное) действие, которое во многих случаях оказывается более вредным, чем непрерывное, так как частые и резкие колебания раздражителя ведут к срыву формирования адаптации. Неблагоприятное действие интермиттирующего режима отмечено при вдыхании оксида углерода CO.

Биологическое действие вредных веществ осуществляется через рецепторный аппарат клеток и внутриклеточных структур. Во многих случаях рецепторами токсичности являются ферменты (например, ацетилхолинэстераза), аминокислоты (цистеин, гистидин и др.), витамины, некоторые активные функциональные группы (сульфгидрильные,

гидроксильные, карбоксильные, амино- и фосфорсодержащие), а также различные медиаторы и гормоны, регулирующие обмен веществ.

Первичное специфическое действие вредных веществ на организм обусловлено образованием комплекса «вещество – рецептор». Токсическое действие яда проявляется тогда, когда минимальное число его молекул способно связывать и выводить из строя наиболее жизненно важные клетки-мишени.

Например, токсины ботулинуса способны накапливаться в окончаниях периферических двигательных нервов и при содержании восьми молекул на каждую нервную клетку вызывать их паралич.

Таким образом, 1 мг ботулинуса может уничтожить 1200 т живого вещества, а 200 г этого токсина способны погубить все население Земли.

Классификация веществ по характеру воздействия на организм и общие требования безопасности регламентируются ГОСТ 12.0.003-74* «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

Согласно ГОСТ вещества подразделяются на:

- токсические, вызывающие отравление всего организма или поражающие отдельные системы (ЦНС, кроветворения), вызывающие патологические изменения печени, почек;
- раздражающие – вызывающие раздражение слизистых оболочек дыхательных путей, глаз, легких, кожных покровов;
- сенсibiliзирующие, действующие как аллергены (формальдегид, растворители, лаки на основе нитро- и нитрозосоединений и др.);
- мутагенные, приводящие к нарушению генетического кода, изменению наследственной информации (свинец, марганец, радиоактивные изотопы и др.);
- канцерогенные, вызывающие, как правило, злокачественные новообразования (циклические амины, ароматические углеводороды, хром, никель, асбест и др.);

– влияющие на репродуктивную (детородную) функцию (ртуть, свинец, стирол, радиоактивные изотопы и др.).

Три последних вида воздействия вредных веществ – мутагенное, канцерогенное, влияние на репродуктивную функцию, а также ускорение процесса старения сердечно-сосудистой системы относят к отдаленным последствиям влияния химических соединений на организм. Это специфическое действие, которое проявляется в отдаленные периоды, спустя годы и даже десятилетия. Отмечается появление различных эффектов и в последующих поколениях.

Эта классификация не учитывает агрегатного состояния вещества, тогда как для большой группы аэрозолей, не обладающих выраженной токсичностью, следует выделить фиброгенный эффект действия ее на организм.

К ним относятся аэрозоли дезинтеграции угля, угольнопородные аэрозоли, аэрозоли кокса (каменноугольного, пекового, нефтяного, сланцевого), саж, алмазов, углеродных волокнистых материалов, аэрозоли (пыли) животного и растительного происхождения, силикатсодержащие пыли, силикаты, алюмосиликаты, аэрозоли дезинтеграции и конденсации металлов, кремнийсодержащие пыли.

Попадая в органы дыхания, вещества этой группы вызывают атрофию или гипертрофию слизистой верхних дыхательных путей, а задерживаясь в легких, приводят к развитию соединительной ткани в воздухообменной зоне и рубцеванию (фиброзу) легких. Профессиональные заболевания, связанные с воздействием аэрозолей, пневмокониозы и пневмосклерозы, хронический пылевой бронхит занимают второе место по частоте среди профессиональных заболеваний в России.

К ядовитым пылям относят аэрозоли ДДТ, триоксид хрома, свинца, бериллия, мышьяка и др. При попадании их в органы дыхания помимо местных изменений в верхних дыхательных путях развивается острое или хроническое отравление.

Большинство случаев профессиональных заболеваний и отравлений связано с поступлением токсических газов, паров и аэрозолей в организм человека главным образом через органы дыхания. Этот путь наиболее опасен, поскольку вредные вещества поступают через разветвленную систему легочных альвеол (100-120 м²) непосредственно в кровь и разносятся по всему организму.

Развитие общетоксического действия аэрозолей в значительной степени связано с размером частиц пыли, так как пыль с частицами до 5 мкм (так называемая респирабельная фракция) проникает в глубокие дыхательные пути, в альвеолы, частично или полностью растворяется в лимфе и, поступая в кровь, вызывает картину интоксикации. Мелкодисперсную пыль трудно улавливать; она медленно оседает, витая в воздухе рабочей зоны.

Попадание ядов в желудочно-кишечный тракт возможно при несоблюдении правил личной гигиены: приеме пищи на рабочем месте и курении без предварительного мытья рук. Ядовитые вещества могут всасываться уже из полости рта, поступая сразу в кровь.

К таким веществам относятся все жирорастворимые соединения, фенолы, цианиды. Кислая среда желудка и слабощелочная среда кишечника могут способствовать усилению токсичности некоторых соединений (например, сульфат свинца переходит в более растворимый хлорид свинца, который легко всасывается). Попадание яда (ртути, меди, церия, урана) в желудок может быть причиной поражения его слизистой.

Вредные вещества могут попадать в организм человека через неповрежденные кожные покровы, причем не только из жидкой среды при контакте с руками, но и в случае высоких концентраций токсических паров и газов в воздухе на рабочих местах. Растворяясь в секрете потовых желез и кожном жире, вещества могут легко поступать в кровь. К ним относятся легко растворимые в воде и жирах углеводороды, ароматические амины, бензол,

анилин и др. Повреждение кожи, безусловно, способствует проникновению вредных веществ в организм.

Распределение ядовитых веществ в организме подчиняется определенным закономерностям.

Первоначально происходит динамическое распределение вещества в соответствии с интенсивностью кровообращения. Затем основную роль начинает играть сорбционная способность тканей.

Распределение веществ зависит от таких физико-химических свойств, как водорастворимость, жирорастворимость и способность к диссоциации. Для ряда металлов (серебра, марганца, хрома, ванадия, кадмия и др.) характерно быстрое выведение из крови и накопление в печени и почках. Легко диссоциируемые соединения бария, бериллия, свинца образуют прочные соединения с кальцием и фосфором и накапливаются в костной ткани.

Очень важно отметить комбинированное действие вредных веществ на здоровье человека. На производстве и в окружающей среде редко встречается изолированное действие вредных веществ; обычно работающий на производстве подвергается сочетанному действию неблагоприятных факторов разной природы (физических, химических) или комбинированному влиянию факторов одной природы, чаще ряду химических веществ.

Комбинированное действие - это одновременное или последовательное действие на организм нескольких ядов при одном и том же пути поступления. Различают несколько типов комбинированного действия ядов в зависимости от эффектов токсичности: аддитивного, потенцированного, антогонистического и независимого действия.

Аддитивное действие - это суммарный эффект смеси, равный сумме эффектов действующих компонентов.

Аддитивность характерна для веществ однонаправленного действия, когда компоненты смеси оказывают влияние на одни и те же системы организма,

причем при количественно одинаковой замене компонентов друг другом токсичность смеси не меняется.

Примером аддитивности является наркотическое действие смеси углеводородов (бензола и изопропилбензола).

При потенцированном действии (синергизме) компоненты смеси действуют так, что одно вещество усиливает действие другого. Эффект комбинированного действия при синергизме выше, больше аддитивного и это учитывается при анализе гигиенической ситуации в конкретных производственных условиях.

Антагонистическое действие – эффект комбинированного действия менее ожидаемого. Компоненты смеси действуют так, что одно вещество ослабляет действие другого, эффект – менее аддитивного.

Примером может служить антидотное (обезвреживающее) взаимодействие между эзерином и атропином.

При независимом действии комбинированный эффект не отличается от изолированного действия каждого яда в отдельности. Преобладает эффект наиболее токсичного вещества. Комбинации веществ с независимым действием встречаются достаточно часто, например бензол и раздражающие газы, смесь продуктов сгорания и пыли.

Наряду с комбинированным влиянием ядов возможно их комплексное действие, когда яды поступают в организм одновременно, но разными путями (через органы дыхания и желудочно-кишечный тракт, органы дыхания и кожу и т. д.).

Требование полного отсутствия вредных веществ в зоне пребывания работающих часто невыполнимо, поэтому особую важность приобретает гигиеническое нормирование, т. е. ограничение содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны до предельно допустимых концентраций – ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК)

вредных веществ в воздухе рабочей зоны».

Такая регламентация в настоящее время проводится в три этапа:

- 1) обоснование ориентировочного безопасного уровня воздействия (ОБУВ);
- 2) обоснование ПДК;
- 3) корректирование ПДК с учетом условий труда работающих и состояния их здоровья.

Установлению ПДК может предшествовать обоснование ОБУВ в воздухе рабочей зоны, атмосфере населенных мест, в воде, почве.

Ориентировочный безопасный уровень воздействия устанавливают временно, на период, предшествующий проектированию производства.

Значение ОБУВ определяется путем расчета по физико-химическим свойствам или путем интерполяции и экстраполяции в гомологических рядах (близких по строению) соединений или по показателям острой токсичности. ОБУВ должны пересматриваться через два года после их утверждения.

ПДК веществ в воздухе рабочей зоны – это концентрации, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе в продолжение 8 ч или при другой длительности, но не превышающей 40 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не могут вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего или последующего поколений.

Исходной величиной для установления ПДК является порог хронического действия L_{\min} , в который вводится коэффициент запаса K_3 : $\text{ПДК} = L_{\min} / K_3$.

ПДК устанавливают на уровне в 2-3 раза более низком, чем L_{\min} .

При обосновании коэффициента запаса учитывают выраженные кумулятивные свойства, возможность кожно-резорбтивного действия, чем они значительнее, тем больше избираемый коэффициент запаса.

При выявлении специфического действия - мутагенного, канцерогенного, сенсibiliзирующего - принимаются наибольшие значения коэффициента запаса (10 и более).

До недавнего времени ПДК химических веществ оценивали как максимально разовые ПДК_{мр}. Превышение их даже в течение короткого времени запрещалось. В последнее время для веществ, обладающих кумулятивными свойствами (меди, ртути, свинца и др.), для гигиенического контроля введена вторая величина - среднесменная концентрация ПДК_{сс}.

Это средняя концентрация, полученная путем непрерывного или прерывистого отбора проб воздуха при суммарном времени не менее 75 % продолжительности рабочей смены, или средневзвешенная концентрация в течение смены в зоне дыхания работающих на местах постоянного или временного их пребывания.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия сумма отношений фактических концентраций ($C_1 \dots C_n$) каждого из них в воздухе к их ПДК (ПДК₁...ПДК_n) не должна превышать единицы:

$$C_1 / \text{ПДК}_1 + C_2 / \text{ПДК}_2 + \dots + C_n / \text{ПДК}_n \leq 1,$$

где $C_1; C_2, \dots, C_n$ – концентрации каждого вещества в воздухе, мг/м³;

ПДК – предельно допустимые концентрации вредных веществ, мг/м³.

При потенцированном и антагонистическом действии оценку суммарного эффекта проводят с учетом коэффициента комбинированного действия $K_{\text{кд}}$:

$$C_1 K_{\text{кд}1} / \text{ПДК}_1 + C_2 K_{\text{кд}2} / \text{ПДК}_2 + \dots + C_n K_{\text{кд}n} / \text{ПДК}_n \leq 1,$$

где $K_{\text{кд}} > 1$ при потенцировании;

$K_{\text{кд}} < 1$ – при антагонизме;

1, 2, ..., n – номер вещества.

Рассмотрим методику расчета при молярных работах в помещении.

Реальную концентрацию токсичных веществ в воздухе помещения определяют по формуле:

$$g_p = \frac{1,3dC}{W} < \text{ПДК}$$

где d – продолжительность времени выделения вещества, ч;

C – количество выделяющегося в помещении токсичного вещества за 1 час, мг/ч;

W – количество воздуха, поступающего в помещение, м³:

$$W = S_B V_B t,$$

где: t – длительность проветривания помещения, с,

V_B – скорость движения воздуха. При естественном проветривании V_B принимается равной 0,4м/с;

S_B – общая площадь всех форточек, м².

$$S_B = K \cdot S_1,$$

где: S_1 – площадь одной форточки, м²;

K – количество открытых форточек в помещении, шт.

Количество выделяющегося в помещении токсичного вещества определяют по формуле:

$$C = 0,01Б \cdot \delta \cdot П / 100,$$

где: $Б$ – содержание летучих веществ в отделочных материалах, %;

δ – удельный расход отделочных материалов, г/м²;

$П$ – производительность труда маляров, м²/ч.

$$П = S / \tau,$$

где: S – площадь отделяемой поверхности, м²;

τ – заданное время работы, ч.

Необходимое минимальное время проветривания помещения $\tau_{пр}$ определяется из выражения:

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{L_p}{S_B V_B}, \text{ с,}$$

где L_p – объем воздуха, подаваемого в течение 1 ч, м^3 .

$$L_p = d \cdot L_p^-,$$

где: $d = 1$ ч;

L_p^- – необходимый объем воздуха при окрасочных работах, м^3 :

$$L_p^- = 1,3 \frac{C}{\text{ПДК}}, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

2. Пример расчета

В двухкомнатной квартире малярам нужно покрасить в течение времени $t = 1,5$ ч поверхность площадью $S = 22 \text{ м}^2$. Содержание летучих компонентов в краске $B = 40\%$, удельный расход краски $\delta = 32 \text{ г}/\text{м}^2$, в качестве растворителя используется ксилол. Для проветривания помещения были открыты на $t = 300$ с $K = 3$ шт. форточки, каждая размером $S_1 = 0,7 \text{ м}^2$.

Рассчитать реальную концентрацию токсичных веществ в воздухе при проведении малярных работ в помещении и сравнить ее с предельно допустимой концентрацией (ПДК). Определить минимальное время проветривания помещения $\tau_{\text{пр}}$, необходимое для создания комфортных условий.

Решение:

1. Определим производительность труда маляров:

$$\Pi = S/t = 22/1,5 = 14,67 \text{ м}^2/\text{ч}.$$

2. Определим количество выделившихся паров растворителя:

$$C = 0,01B \cdot \delta \cdot \Pi / 100 = 0,01 \cdot 40 \cdot 32 \cdot 14,67 / 100 = 1,878 \text{ г}/\text{ч} = 1878 \text{ мг}/\text{ч}.$$

3. Общая площадь форточек равна $S_B = K \cdot S_1 = 3 \cdot 0,7 = 2,1 \text{ м}^2$.

Тогда количество воздуха, поступающего в помещение, определяем по формуле:

$$W = S_B V_B t = 2,1 \cdot 0,4 \cdot 300 = 252 \text{ м}^3,$$

где скорость движения воздуха при естественном проветривании V_B принимается равной 0,4м/с.

4. Определяем фактическую концентрацию токсичных веществ в воздухе при проведении малярных работ в помещении и сравниваем ее с ПДК. Согласно санитарным нормам величина ПДК растворителя ксилола в воздухе рабочей зоны составляет 50 мг/м³.

$$g_p = \frac{1,3dC}{W} = \frac{1,3 \cdot 1 \cdot 1878}{252} = 9,69 \text{ мг/м}^3 < \text{ПДК} = 50 \text{ мг/м}^3.$$

5. Определяем необходимый объем воздуха при окрасочных работах:

$$L_p^- = 1,3 \frac{C}{\text{ПДК}} = \frac{1,3 \cdot 1874}{50} = 48,7, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

$$L_p = d \cdot L_p^- = 1 \cdot 48,7 = 48,7 \text{ м}^3.$$

6. Определяем минимальное время проветривания помещения, необходимое для создания комфортных условий:

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{L_p}{S_B V_B} = \frac{48,7}{2,1 \cdot 0,4} = 58 \text{ с},$$

Вывод: время проветривания помещения для создания комфортных условий составляет не менее 58 секунд.