

ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ

ТЕМА: ТЕПЛО- И ВЛАГООБМЕН ВОЗДУХА С ВОДОЙ.
ПОСТУПЛЕНИЕ В ВОЗДУХ ПОМЕЩЕНИЙ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ И
ПЫЛИ. ВЗРЫВООПАСНОСТЬ ГАЗОВ И ПАРОВ

ГУСЕВ К.П.

Лекция

4

5 ТЕПЛО- И ВЛАГООБМЕН ВОЗДУХА С ВОДОЙ

5.1 ТЕПЛО- И ВЛАГООБМЕН НА СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ

Процессы тепло- и влагообмена на свободной поверхности воды рассчитывают для определения количества тепла и влаги, поступающих в воздух (в помещении или в поверхностно-испарительных увлажнителях вентиляционных установок и кондиционеров).

Для определения поступлений явного конвективного тепла $Q_{\text{я}}$, Вт, используется зависимость

$$Q_{\text{я}} = \alpha(t_{\text{пов}} - t_{\text{в}})F$$

где α — коэффициент теплообмена, Вт/(м²К); $t_{\text{пов}}$ — температура поверхности, °С; $t_{\text{в}}$ — температура окружающей среды, °С; F — площадь поверхности испарения, м².

Аналогичные выражения применяют для определения влагопоступлений W , кг/ч:

$$W = \beta_p (p_{\text{пов}} - p_{\text{в}}) F \quad \text{ИЛИ}$$

$$W = \beta (C_{\text{пов}} - C_{\text{в}}) F$$

где β_p и β — коэффициенты влагообмена, отнесенные соответственно к разности парциальных давлений, кг/(ч·м²·Па), и к разности концентраций, м/ч; $p_{\text{пов}}$ и $p_{\text{в}}$ — парциальное давление водяного пара соответственно над поверхностью испарения и в окружающем воздухе, Па; $C_{\text{пов}}$ и $C_{\text{в}}$ — концентрация водяного пара соответственно над поверхностью испарения и в окружающем воздухе, кг/м³.

Из основного уравнения газового состояния устанавливается следующая зависимость между концентрацией и парциальным давлением:

$$C = 2,16 \cdot 10^{-3} \frac{p}{273 + t}$$

Для расчета по данным уравнениям необходимо определить коэффициенты тепло- и влагообмена, а в ряде случаев и температуру поверхности.

5.2 ПОСТУПЛЕНИЯ ТЕПЛА И ВЛАГИ В ПОМЕЩЕНИЕ С ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ И С ВОДЯНЫМ ПАРОМ

Одним из основных факторов, влияющих на интенсивность процесса испарения воды, является подвижность воздуха над ее поверхностью. Поэтому в эмпирических расчетных зависимостях количества перенесенного тепла и влаги представлены в виде функции скорости движения воздуха.

С открытой поверхности нагретой воды тепло поступает в помещение в явном и скрытом виде. Явное тепло, $\text{Вт}/\text{м}^2$, поступающее в помещение в результате лучисто-конвективного теплообмена, при известной скорости движения воздуха $v_{\text{в}}$ над поверхностью и температуре поверхности воды $t_{\text{пов}}$ приближенно определяется по формуле

$$q_{\text{в}}^{\text{я}} \approx (5,71 + 4,06 \cdot v_{\text{в}})(t_{\text{пов}} - t_{\text{в}})$$

Скрытое тепло, $\text{кДж}/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$, поступающее в помещение с водяными парами, равно:

$$q_{\text{скр}} = i_{\text{п}} I_{t_{\text{пов}}}$$

где $i_{\text{п}}$ — интенсивность испарения па поверхности воды; $I_{t_{\text{пов}}}$ — энтальпия пара, $\text{кДж}/\text{кг}$, соответствующая температуре поверхности воды, равная

$$I_{t_{\text{пов}}} = 2500 + 1,8 \cdot t_{\text{пов}}$$

При составлении теплового баланса помещения интенсивность испарения, $\text{кг}/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$, можно определить по приближенной формуле

$$i_{\text{п}} = (a + 0,131 \cdot v_{\text{в}})(p_{\text{пов}} - p_{\text{в}})$$

где a — коэффициент, зависящий от температуры поверхности воды $t_{\text{пов}}$ ($0,216 - 0,0383$ от 30 до 90 $^{\circ}\text{C}$) ;

$p_{\text{в}}$ и $p_{\text{пов}}$ — упругость водяного пара соответственно в воздухе и при полном насыщении воздуха водяными парами при температуре поверхности воды, кПа .

Если нагретая вода не перемешивается и находится в резервуаре в спокойном состоянии, то температура ее поверхности $t_{\text{пов}}$ ниже средней температуры толщи воды $t_{\text{ж}}$. При температуре воды до 40°C эта разница составляет около 2°C ; при температуре воды $70\text{—}75^{\circ}\text{C}$ она максимальная и составляет около 12°C ; по мере приближения к температуре кипения (100°C) разница температур вновь понижается до 3°C .

При кипении интенсивность испарения зависит от количества подводимого к воде тепла; ориентировочно она равна 40—50 кг/(ч·м²). При наличии укрытий (зонтов, крышек и т. д.), через которые пар частично прорывается в помещение, вводится понижающий коэффициент, значение которого определяется опытным путем.

Если теплообмен происходит при постепенном остывании воды, то полное количество отданного тепла, кДж/ч, при известной начальной $t_{\text{нач}}$ и конечной $t_{\text{кон}}$ температуре воды составляет

$$Q'_{\text{ж}} = G_{\text{ж}} \cdot c_{\text{ж}} (t_{\text{нач}} - t_{\text{кон}})$$

Иным будет процесс теплообмена, если вода длительное время находится в условиях тепловлажностного равновесия с окружающим воздухом (например, на полу помещения). В этом случае происходит адиабатическое испарение воды. Температура воды оказывается ниже температуры воздуха и приблизительно равной температуре мокрого термометра:

$$t_{\text{ж}} \approx t_{\text{м}}$$

В результате разности температур явное тепло конвекцией и излучением передается от помещения к воде. В силу равновесного состояния это тепло расходуется на испарение воды и в виде энтальпии образовавшегося водяного пара поступает обратно в воздух помещения. В результате передачи воде конвективного тепла температура воздуха понижается, а общая энтальпия его остается практически неизменной благодаря увеличению влагосодержания и доли энтальпии поступившего в воздух водяного пара.

Фактически энтальпия воздуха несколько увеличивается, так как энтальпия водяного пара больше конвективной доли явного тепла, переданного воде, на величину лучистой составляющей теплообмена, а также в результате подвода тепла путем теплопроводности через поверхности, не соприкасающиеся с воздухом. Для испарения 1 кг влаги из помещения должно быть отдано $2500 + 1,8 \cdot t_{\text{в}} - c_{\text{ж}} \cdot t_{\text{ж}}$, кДж, явного тепла. Количество испаряющейся влаги, кг/(ч·м²), при адиабатическом процессе приближенно может быть определено по формуле

$$i_{\text{п}} = (6 \dots 6,5) 10^{-3} (t_{\text{в}} - t_{\text{м}})$$

Общее количество явного тепла, кДж/ч, отданного из помещения воде в этих условиях, равно:

$$Q'_{\text{ж}} = (2500 + 1,8 \cdot t_{\text{в}} - c_{\text{ж}} \cdot t_{\text{ж}}) \cdot i_{\text{п}} \cdot F$$

F – площадь поверхности испарения

В производственных помещениях пар может подаваться по паропроводам и использоваться для механической работы (например, в паровых молотах). Энергия пара, израсходованная для выполнения механической работы, в конечном счете переходит в тепло и передается помещению. Количество явного тепла, кДж/ч, при этом определяют по формуле

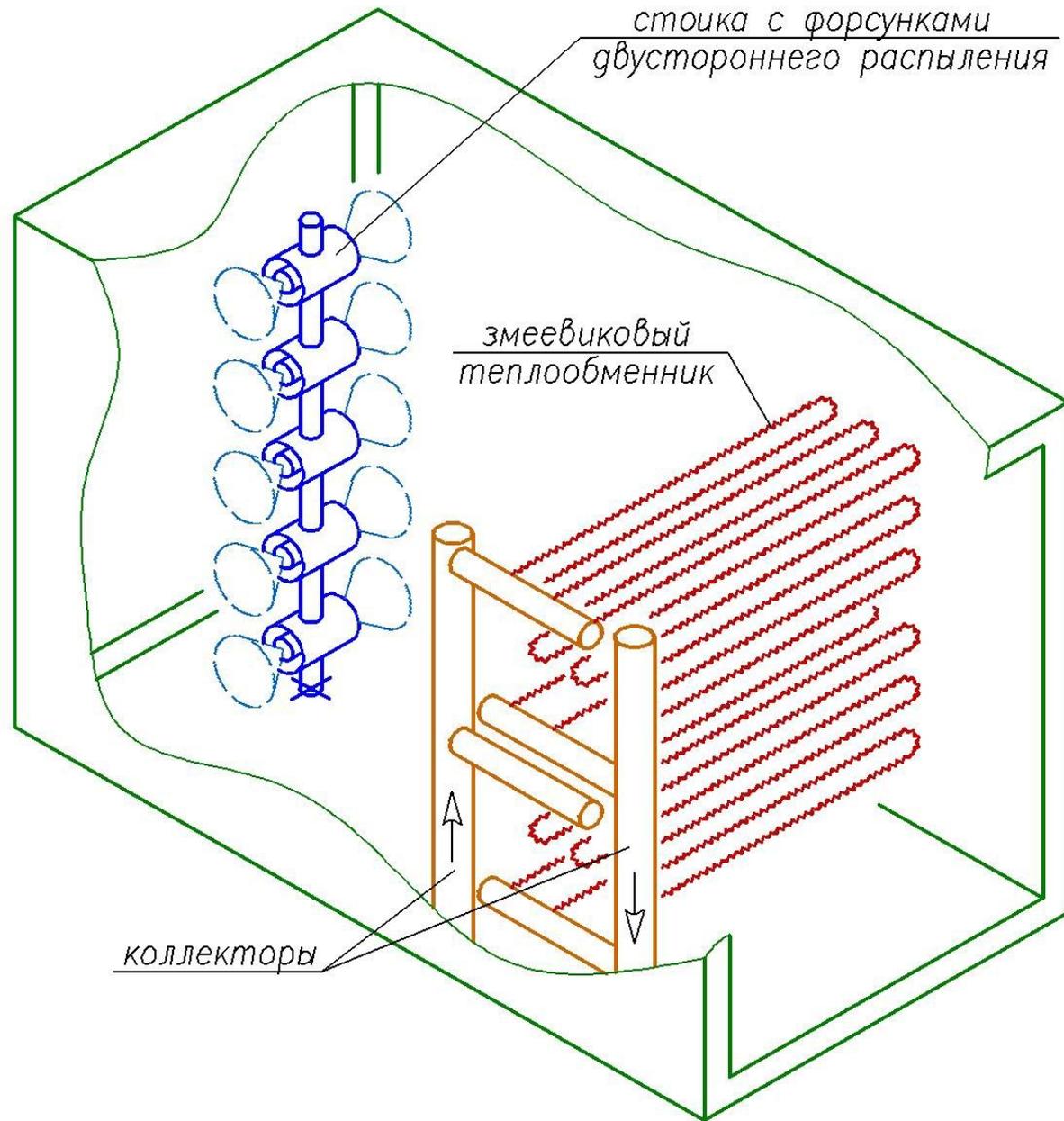
$$Q' = G_{\text{п}}(I_{\text{нач}} - I_{\text{кон}})$$

5.3 ТЕПЛО- И ВЛАГООБМЕН В АППАРАТАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Распространенными аппаратами для тепловлажностной обработки воздуха в установках кондиционирования являются форсуночные камеры, орошаемые насадки и другие устройства, позволяющие осуществлять изменения его параметров в широком диапазоне. В теплый период года можно охлаждать и осушать воздух, охлаждать его при неизменном влагосодержании, охлаждать и увлажнять его. В холодный период года используют адиабатическое увлажнение, а также контактный нагрев воздуха.

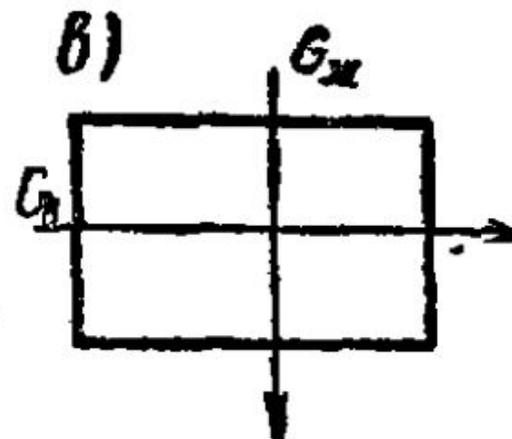
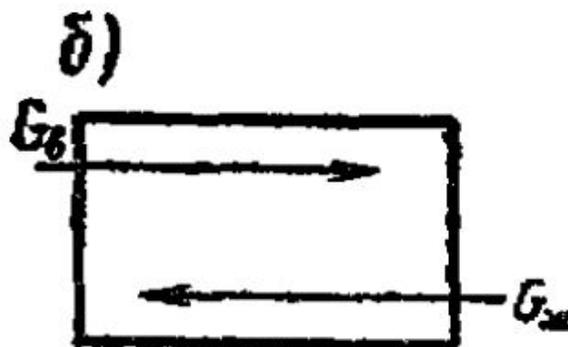
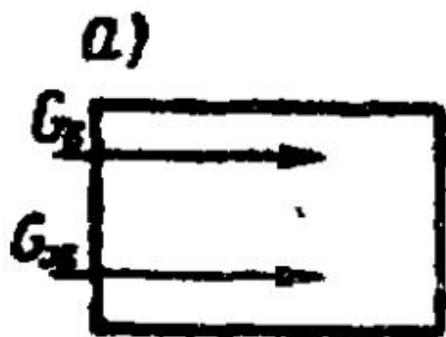
Постановка задачи расчета тепло- и влагообмена в аппаратах кондиционирования воздуха очень сложна и основывается на экспериментах.

направление
воздушного потока



- Экспериментальные характеристики получены для различных аппаратов, в которых воздух специально готовится путем контакта с нагретой или охлажденной водой. В одних аппаратах вода разбрызгивается и воздух продувается через дождевое пространство с каплями различной дисперсности, в других она может стекать в виде пленок, образуя вспененный слой или гладкую свободную поверхность. Взаимное направление потоков воздуха и воды (см.рис.) и продолжительность их контакта между собой также могут быть различными.

а) параллельный ток; б) противоток;
в) перекрестный ток.



6 ПОСТУПЛЕНИЕ В ВОЗДУХ ПОМЕЩЕНИЙ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ И ПЫЛИ.

ВЗРЫВООПАСНОСТЬ ГАЗОВ И ПАРОВ

6.1 КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СВОЙСТВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ И ПЫЛИ

Понятие о токсичности выделяющихся в помещении газов и паров вредных веществ связано с их опасным действием на организм человека. Вредные для здоровья вещества носят название промышленных ядов; сюда же относится и токсичная пыль.

Ядами называют вещества, которые, попадая в организм человека в небольших количествах, приводят к заболеваниям и отравлениям. Отравления бывают острыми и хроническими. Острые отравления возникают в результате поступления в организм человека в течение короткого периода относительно больших количеств яда. Хронические отравления возникают в результате поступления в организм человека относительно небольших количеств яда в течение сравнительно длительного периода. В производственных условиях яды могут проникать в организм человека через органы дыхания, пищеварительный тракт и кожу.

Газы и пары вредных веществ делятся на две основные группы:

1 — химически не реагирующие газы и пары, которые не вступают в реакцию с клетками организма человека и не изменяются в нем;

2 — химически реагирующие газы и пары.

Токсичность вещества зависит от его химической структуры, физических свойств и агрегатного состояния.

Газы и пары вредных веществ выделяются в воздух производственных помещений при химических реакциях, испарении жидких растворов с открытых поверхностей, испарении летучей части лакокрасочных материалов с окрашенных поверхностей, прорыве через различные неплотности аппаратуры и коммуникационных трубопроводов, сжигании топлива, выхлопе газов от двигателей внутреннего сгорания автомобилей, отборе проб из химических аппаратов, загрузке и выгрузке материалов и в других случаях.

Газы и пары вредных веществ могут легко переноситься потоками перемещающегося по помещению воздуха от мест их выделения в места, где источники вредных выделений отсутствуют.

Содержание вредных веществ в воздухе производственных помещений на различных участках крайне неравномерно и зависит от мощности, мест и плотности расположения источников их выделения, от мест расположения приточных и вытяжных отверстий систем вентиляции и от характера циркуляции воздушных потоков в помещении. Газы и пары вредных веществ могут распространяться по помещению и вследствие диффузии.

Пыль выделяется в воздух производственных помещений в результате различных технологических процессов. Выделение пыли происходит в цехах предприятий текстильной, горнорудной, металлообрабатывающей, деревообрабатывающей, зерноперерабатывающей и других отраслей промышленности. При этом пыль может в больших количествах попадать в атмосферу, загрязняя воздушную среду.

По действию на организм человека различают ядовитую пыль (свинцовая, ртутная и пр.) и неядовитую (песчаная, асбестовая и пр.). Неядовитая пыль при длительном вдыхании может вызывать у человека различные легочные заболевания под названием пневмокониозы (силикоз, асбестоз и др.).

Пыли как органического, так и неорганического происхождения, образующиеся при размельчении горючих материалов, взрывоопасны вследствие очень развитой суммарной поверхности пылевых частиц по сравнению с поверхностью вещества, из которого они получены. К таким пылям относятся мучная, угольная, табачная, сахарная и др.

Взрывоопасность пыли зависит от размеров пылевых частиц. Например, очень взрывоопасна угольная пыль при размерах частиц 75 мкм. Та же угольная пыль при размерах частиц 10 мкм и менее имеет пониженную взрывоопасность благодаря быстрому окислению пылевых частиц и способности их свертываться в хлопья. Каждая взрывоопасная пыль имеет свои пределы взрывоопасных концентраций.

Некоторые пыли способны воспламеняться при температуре 205°C. Эти же пыли при концентрации 68 мг/м³ и выше взрывоопасны.

Пыль, выделяющаяся в производственных помещениях, оказывает вредное воздействие не только на организм человека, но и на технологический процесс, часто ухудшая его и приводя к износу оборудования.

6.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ГАЗОВ И ПАРОВ, ПОСТУПАЮЩИХ В ВОЗДУХ ПОМЕЩЕНИЙ

Выделение углекислого газа CO_2 людьми.

Количество углекислого газа, выделяемого людьми, зависит от интенсивности выполняемой ими работы и может быть определено по табл.

Возраст людей и характер выполняемой работы	Объемный расход CO_2 , л/ч	Массовый расход CO_2 , г/ч
Взрослые люди при выполнении работы		
умственной (или в состоянии покоя)	23	45
легкой физической	30	60
тяжелой »	45	90
Дети до 12 лет	12	24

Выделение газов и паров при химических реакциях. Массу газов, выделяющихся при химических реакциях, следует определять на основании формул этих реакций. При этом необходимо учитывать, что в промышленности используются не химически чистые вещества, и поэтому в воздух помещения могут поступать и побочные продукты.

Выделение газов и паров со свободной поверхности жидкости.

Массовый расход испаряющейся жидкости, содержащей химические вещества, может быть определен с достаточным приближением по формуле

$$G = M(0,000352 + 0,000786 v) p F$$

где G — массовый расход испаряющейся жидкости, кг/ч; M — относительная молекулярная масса испаряющейся жидкости; v — скорость перемещения воздуха над поверхностью жидкости, м/с; p — упругость пара жидкости, насыщающего воздух при температуре жидкости, мм рт. ст.; F — площадь поверхности испарения, м².

Значения упругости пара p некоторых жидкостей, испаряющихся при температуре помещения, приведены в табл.

Жидкость	ρ , Па (мм. рт. ст.)	Жидкость	ρ , Па (мм. рт. ст.)
Этиловый эфир	5720 (43)	Амиловый спирт, хлор бензол	532(4)
Ацетон	3720 (28)	Анилин, нитробензол	40(0,3)
Этиловый спирт, бензол, дихлорэтан	2000 (15)	Ртуть	0,16(0,0012)

Проникание газов и паров через неплотности.

Массовый расход газов и перегретых паров, просачивающихся через неплотности технологических аппаратов и трубопроводов, работающих под давлением, может быть определен по формуле (для адиабатического процесса)

$$G = KcV \sqrt{\frac{M}{T}}$$

где G — массовый расход просачивающихся газов, кг/ч; K — коэффициент запаса, характеризующий состояние оборудования ($K=1 \dots 2$); c — коэффициент, зависящий от давления газов или паров в аппаратуре; V — внутренний объем аппаратуры и трубопроводов, находящихся под давлением, м^3 ; M — относительная молекулярная масса газов или паров в аппаратуре; T — абсолютная температура газов или паров в аппаратуре, К.

Испарение различных растворителей и лаков.

Массовый расход паров растворителей, выделяющихся при окраске или лакировке, определяют по формуле

$$G = \frac{Am}{100} F$$

где G — массовый расход выделяющихся паров растворителей, г/ч; A — расход лакокрасочных материалов, г на 1 м^2 площади поверхности изделия (60-200), m — содержание летучих растворителей в лакокрасочном материале, (35-90) %; F — площадь поверхности изделий, окрашиваемой или лакируемой за 1 ч, м^2

Газовыделения при сжигании топлива и работе двигателей.

Массовый расход газов, выделяющихся при сжигании топлива, определяют по формуле

$$G_{\Gamma} = G_{\text{T}} g_{\Gamma}$$

где G_{Γ} — массовый расход газов, выделяющихся при сжигании топлива, кг/ч; G_{T} — массовый расход сжигаемого топлива, кг/ч; g_{Γ} — масса продуктов сгорания в кг на 1 кг топлива.

6.3 ВЗРЫВООПАСНОСТЬ ГАЗОВ И ПАРОВ

Некоторые газы и пары в определенной смеси с воздухом взрывоопасны. Повышенной взрывоопасностью отличаются смеси воздуха с ацетиленом, этиленом, бензолом, метаном, окисью углерода, аммиаком, водородом.

Взрыв смеси может произойти только при определенных соотношениях горючих газов с воздухом или кислородом, характеризуемых нижним и верхним пределами взрываемости. **Нижним пределом взрываемости** называется то минимальное содержание газа или пара в воздухе, которое при воспламенении может привести к взрыву. **Верхний пределом взрываемости** называется то максимальное содержание газа или пара в воздухе, при котором в случае воспламенения еще может произойти взрыв.

Опасная зона взрываемости лежит между нижним и верхним пределами.

Концентрация газов или паров в воздухе производственных помещений ниже нижнего и выше верхнего предела взрываемости невзрывоопасна, так как при ней не происходит активного горения и взрыва — в первом случае из-за избытка воздуха, а во втором из-за его недостатка.

В табл. приведены нижние и верхние пределы взрываемости некоторых газов и паров.

Газы и пары	Нижние и верхние пределы взрываемости		Газы и пары	Нижние и верхние пределы взрываемости	
	по объему, %	по массе, мг/л		по объему, %	по массе, мг/л
Аммиак	16 и 27	111,2 и 187,65	Метан	5,3 и 14	34,45 и 91
Ацетон	3 и 11	71,1 и 260,7	Окись углерода	112,5 и 74	142,5 и 843,6
Бензин	2,4 и 4,9	137 и 281	Этилацетат	2,25 и 11	82,4 и 403
Бензол	1,4 и 7	44,66 и 223,3	Этиловый спирт	4 и 19	75,2 и 357,2
Водород	4,1 и 74	3,362 и 60,68			

Для определения предела взрываемости газоздушных смесей можно пользоваться формулой Ле-Шателье:

$$x_{\text{см}} = \frac{100}{\frac{n_1}{x_1} + \frac{n_2}{x_2} + \dots + \frac{n_n}{x_n}}$$

Где n_1, n_2, \dots, n_n — содержание отдельных газов в смеси, % (по объему); x_1, x_2, \dots, x_n — пределы взрываемости соответствующих газов по объему, %.

Концентрация паров с точки зрения взрывобезопасности в помещениях производственных зданий не должна превышать 30% нижнего предела взрываемости.