

The background of the slide is a close-up photograph of a fire. The flames are bright yellow and orange, with a dark red fire extinguisher nozzle visible in the lower right corner, pointing towards the fire. The text is overlaid on this background.

Огнетушащие средства и механизмы прекращения горения ими

Тема-8

Пены как огнетушащие средства

- Пена представляет собой дисперсную двухфазную систему, состоящую из ячеек, заполненных газом или паром и разделенных плёнками жидкости. Газ или пар, заполняющий ячейки, является дисперсной фазой, а жидкость - дисперсионной средой.
- По способу получения пены бывают химические и воздушно-механические.

СВОЙСТВА ПЕНЫ

- 1. Структура пены. Структура пены определяется отношением объемов газовой и жидкой фаз в единице объема пены и характеризует механические и реологические ее свойства. Если объем газовой фазы превышает объем жидкости не более чем в 10-20 раз, ячейки пены, заполненные газом, имеют сферическую форму. В таких пенах газовые пузырьки окружены оболочками жидкости относительно большой толщины. С увеличением отношения $V_{\text{г}}/V_{\text{ж}}$ толщина пленки жидкости, разделяющая газовые объёмы, уменьшается, а газовая полость утрачивает сферическую форму и трансформируется в многогранник. Пены, у которых отношение $V_{\text{г}}/V_{\text{ж}}$ составляет несколько десятков или даже сотен, имеют полиэдрическую (многогранную) форму, причём форма многогранников может быть различной - параллелепипеды, треугольные призмы, тетраэдры и т.д. Со временем происходит утончение жидких оболочек и, как следствие, изменение структуры пены - старение. В процессе старения шарообразная форма ячеек переходит в многогранную.

2. Кратность пены.

- Кратность пены K_{Π} - это отношение объёма пены V_{Π} к объёму жидкости $V_{\text{ж}}$, из которой она получена:

$$K_{\Pi} = \frac{V_{\Pi}}{V_{\text{ж}}} = \frac{V_{\Gamma} + V_{\text{ж}}}{V_{\text{ж}}}$$

- где V_{Γ} - объем газа.
- Различают пены низкой кратности - $K_{\Pi} < 20$, средней кратности - $20 < K_{\Pi} < 200$ и высокой кратности $K_{\Pi} > 200$.
- Отношение объёма газа в пене V_{Γ} к объёму пены V_{Π} называется газосодержанием пены β :

$$\beta = \frac{V_{\Gamma}}{V_{\Pi}}$$

- Газосодержание и кратность связаны между собой соотношением

$$\beta = \frac{K_{\Pi} - 1}{K_{\Pi}} = 1 - \frac{1}{K_{\Pi}}$$

3. Дисперсность пены.

- Дисперсность пены D_{Π} оценивается либо средним размером пузырька, либо распределением пузырьков пены по размерам. Чаще всего под дисперсностью понимают величину, обратную среднему размеру пузырьков пены, т.е.

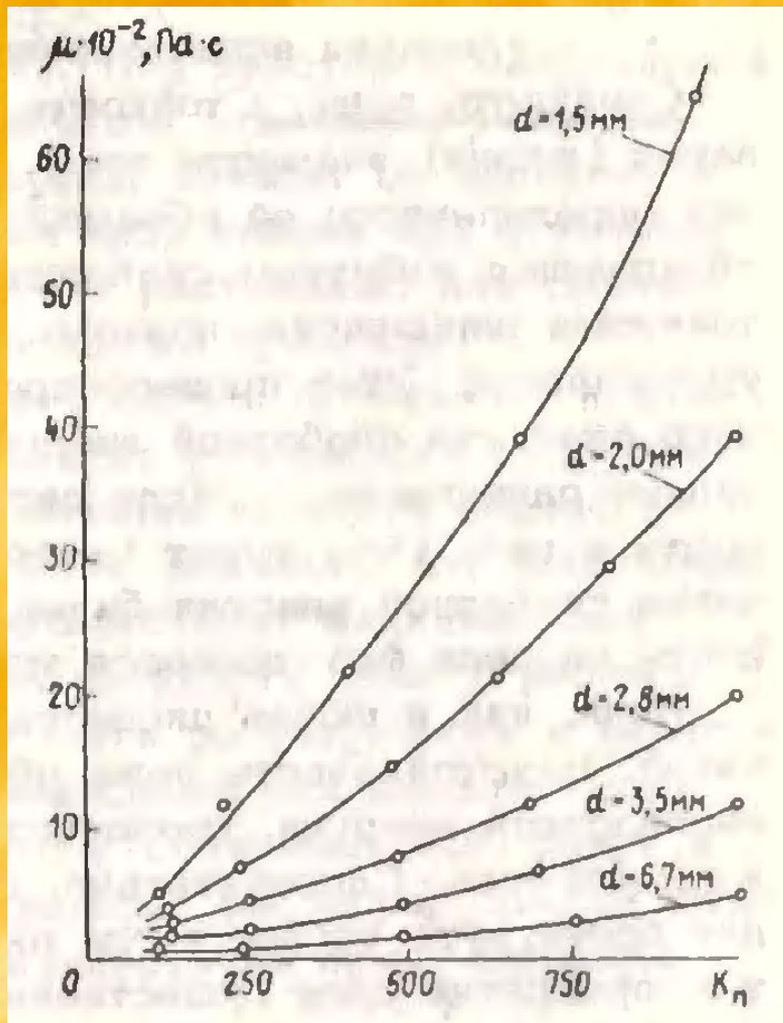
$$d_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} d_i N_i}{\sum N_i}$$

- где d_i - диаметр пузырьков фракции;
- $\sum N_i$ - общее число пузырьков всех фракций;
- N_i - число пузырьков фракции i с диаметром d_i .
- Чем меньше средний диаметр пузырька пены, тем больше ее дисперсность.

- Дисперсность пены характеризуется удельной поверхностью раздела фаз. Если пузырьки имеют одинаковые размеры, пена называется монодисперсной и соответственно если имеется i фракций или размеров пузырьков - полидисперсной. Пены могут быть высоко дисперсными или низкодисперсными.
- На дисперсность пены существенное влияние оказывают физико-химические свойства пенообразующего раствора (поверхностное натяжение, вязкость и т.д.), способ смешения фаз, конструкция генератора пены.
- Изучение влияния кратности пены на средний диаметр пузырьков показало, что с увеличением кратности пены растет и средний диаметр пузырьков. Так как при увеличении кратности пены толщина пленок между пузырьками уменьшается, соответственно растет средний диаметр пузырьков.
- Дисперсный состав пены изменяется во времени в процессе старения. Наиболее интенсивные изменения в дисперсном составе пены протекают в начальный момент после ее образования. Это происходит за счет изменения поверхности раздела фаз в пене в результате разрушения пленок между ячейками и их объединения. Отмечено, что с течением времени полидисперсность пены увеличивается.

4. Вязкость пены.

- Вязкость характеризует реологические свойства пены, т.е. ее способность к растеканию, и оценивается либо коэффициентом динамической вязкости - μ , либо напряжением сдвига - σ .
- В отличие от жидкости пена обладает свойствами "твердого тела". Внешне это проявляется в способности пены сохранять определенное время свою первоначальную форму.
- Вязкость пены зависит от многих факторов и параметров, прежде всего от природы пенообразователя, кратности, дисперсности. Зависимость коэффициента динамической вязкости μ пены от ее кратности при различных диаметрах пузырьков показана на рис. Из рисунка видно, что коэффициент динамической вязкости пены повышается с увеличением ее кратности и дисперсности.



- Зависимость коэффициента динамической вязкости пены от ее кратности при различных диаметрах пузырьков.

- Со временем в процессе старения пены вязкость ее сначала увеличивается, а затем в зависимости от типа пенообразователя может оставаться постоянной или уменьшаться.
- Высокой вязкостью обладают пены, имеющие меньшую скорость истечения жидкости.
- Плотность пены зависит от соотношения жидкой и газовой фаз и может колебаться от $0,5 \rho_1$ (ρ_1 - плотность жидкой фазы) до значений, близких к $\rho_{\text{газа}}$. Пены, применяемые для тушения пожаров, имеют плотность $10-5 \text{ кг/м}^3$ и меньше. Плотность пены является величиной переменной во времени и зависит от степени разрушения пены.

- **5. Теплопроводность пены.** Передача тепла в пене происходит через пузырьки газа и через жидкие пленки между этими пузырьками. Из-за наличия газовой фазы теплопроводность пены довольно мала.
- **6. Электропроводность пен.** Электропроводность пен пропорциональна количеству содержащейся в ней жидкости. Экспериментально установлено, что отношение электропроводности жидкости и электропроводности пены линейно связано с отношением их плотностей. Уравнение, описывающее эту зависимость, имеет вид;

$$\frac{x_0}{x_{\Pi}} = \frac{3}{2} K_{\Pi}$$

- где x_0 - удельная электропроводность раствора;
- x_{Π} - удельная электропроводность пены.

7. Стойкость пены

- Стойкость пены - это время существования (жизни) элемента пены (отдельного пузырька, пленки) или определенного её объема. Известно, что замкнутая система, обладающая избытком свободной энергии, находится в неустойчивом равновесии, поэтому энергия такой системы всегда уменьшается. Этот процесс протекает до достижения минимального значения свободной энергии, при котором в системе наступает равновесие. Если система состоит, например, из жидкости и газа (что имеет место в пенах), то минимальное значение свободной энергии будет достигнуто тогда, когда поверхность раздела фаз окажется минимальной.
- Пена, как и любая дисперсная система, является неустойчивой. Неустойчивость пены объясняется наличием избытка поверхностной энергии, пропорциональной поверхности раздела фаз жидкость-газ. Следовательно, состояние равновесия пены будет достигнуто тогда, когда она превратится в жидкость и газ, т.е. прекратит свое существование. Поэтому применительно к пенам можно говорить лишь об относительной стойкости.

- По времени 'жизни' пены разделяются на короткоживущие (флотационные), долгоживущие (моющие, пожарные), безграничноживущие (отвержденные пены - вулканизованные, застеклованные).
- Разрушение пены в нормальных условиях происходит в результате истечения жидкости и разрыва пленок внутри пены. Преобладание того или другого из этих процессов при разрушении пены зависит от многих факторов. В стойких пенах пленки не разрушаются в течение 10-20 мин. В пенах высокой кратности ('сухих') процесс истечения затруднен и разрушение обусловлено в основном разрывом пленок.
- У пены средней кратности, т.е. пены с относительно толстыми прослойками между пузырьками оба механизма разрушения осуществляются последовательно: процесс начинается с истечения жидкости, заключенной между пузырьками (синерезис). Это приводит к быстрому утончению пленок, и, как следствие, к разрыву.

- Истечение жидкости из пены представляет собой чисто гидродинамическое явление. Из всего объема пены раствор, содержащийся в прослойках, стекает вниз, подпитывая нижележащие спои пены. Истечение заканчивается, когда вся излишняя жидкость будет удалена. На этой стадии существенным становится влияние капиллярных явлений. Под действием капиллярных сил, обусловленных различной кривизной отдельных участков пленки пузырька, что, в свою очередь, зависит от давления в соседних пузырьках, поверхностные спои пленок при истечении подвергаются упругим деформациям - растяжению или сжатию, что также приводит к разрушению пленки пузырька.

- Скорость истечения жидкости из оболочки пузырьков, а, следовательно, и стойкость пены зависят от вязкости пенообразующего раствора. Исследование влияния вязкости пенообразующего раствора на стойкость пены показали, что максимальная стойкость пены не всегда соответствует максимальной вязкости раствора. Для повышения стойкости пены в раствор вводят стабилизаторы. Они могут быть растворимыми и нерастворимыми. Эффективными стабилизаторами пен являются карбоксиметилцеллюлоза, полиакриламид, поливиниловый спирт и др. Эти вещества, увеличивая вязкость раствора, способствуют замедлению процесса истечения жидкости из пены.

- Скорость разрушения пены определяется отношением –

$$\frac{\Delta V_{\Pi}^{РАЗР}}{\Delta r}$$

- Δr , а степень разрушения – $\frac{\Delta V_{\Pi}^{РАЗР}}{V_{\Pi}}$

- где $\Delta V_{\Pi}^{РАЗР}$ - объем пены, разрушившейся за промежуток времени,

- V_{Π} - начальный объем пены.

- Интенсивность разрушения пены определим по формуле

$$I_{РАЗР} = \frac{\Delta V_{\Pi}^{РАЗР}}{V_{\Pi}} * \frac{1}{\Delta r}$$

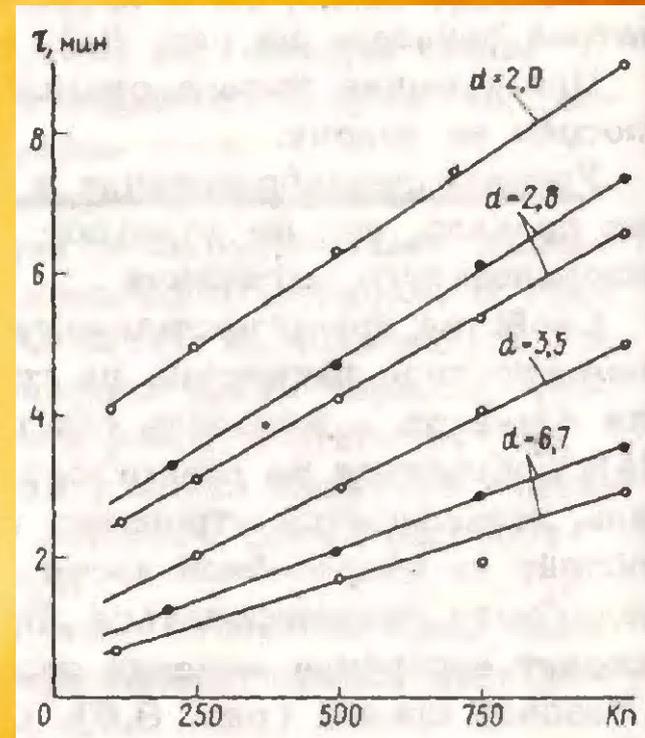
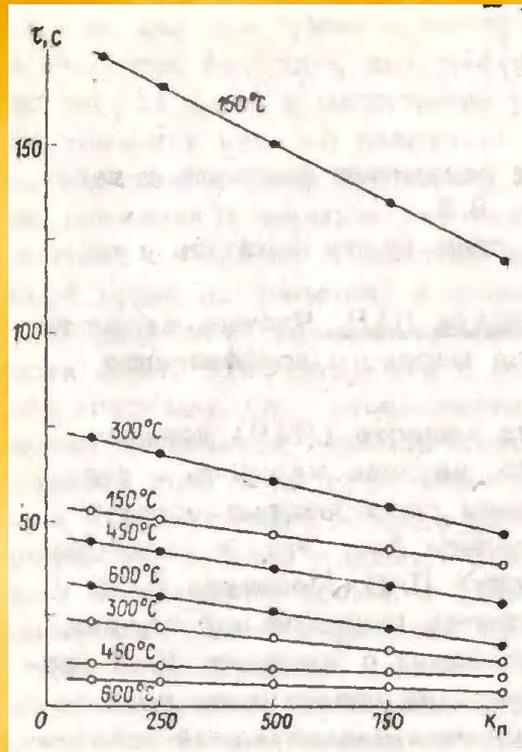
- Чаще пользуются понятием стойкость пены или устойчивость. Стойкость пены S_{Π} - это величина, обратная интенсивности разрушения:

$$S_{\Pi} = \frac{1}{I_{РАЗР}}$$

- Интенсивность разрушения пены характеризуется скоростью уменьшения ее объема –
$$\frac{\Delta V_{\Pi}^{PA3P}}{\Delta r}$$
- Косвенным показателем этого процесса может служить скорость выделения из пены жидкой фазы (отсека). Под стойкостью пены понимается время, в течение которого из пены выделяется 50% объема жидкости, из которой она получена. Эта величина является условной, так как при тушении пожара пена разрушается не только за счет тех факторов, которые рассматривались ранее (синерезис жидкой фазы и разрушение стенок пузырьков в результате их утончения или под действием капиллярных сил), но также и под действием таких факторов, как смятие пены (силы трения при движении); термическое воздействие окружающей среды (контакте горячей жидкостью или поверхностью, лучистый тепловой поток от пламени) и конвективные токи.

- В последнее время стали пользоваться понятием огнестойкости пены. Этот параметр в большей степени отвечает реальным условиям. Он определяется следующим образом. В противень наливается горючая жидкость. Затем на поверхность ГЖ подается слой пены определенной толщины таким образом, чтобы в углу противня остался небольшой участок открытой поверхности горючей жидкости. На этом участке жидкость поджигают и фиксируют время, в течение которого пламя распространится на всю поверхность жидкости.
- Экспериментально установлено, что стойкость пены зависит в основном от температуры окружающей среды, дисперсности и толщины стенки пузырьков.

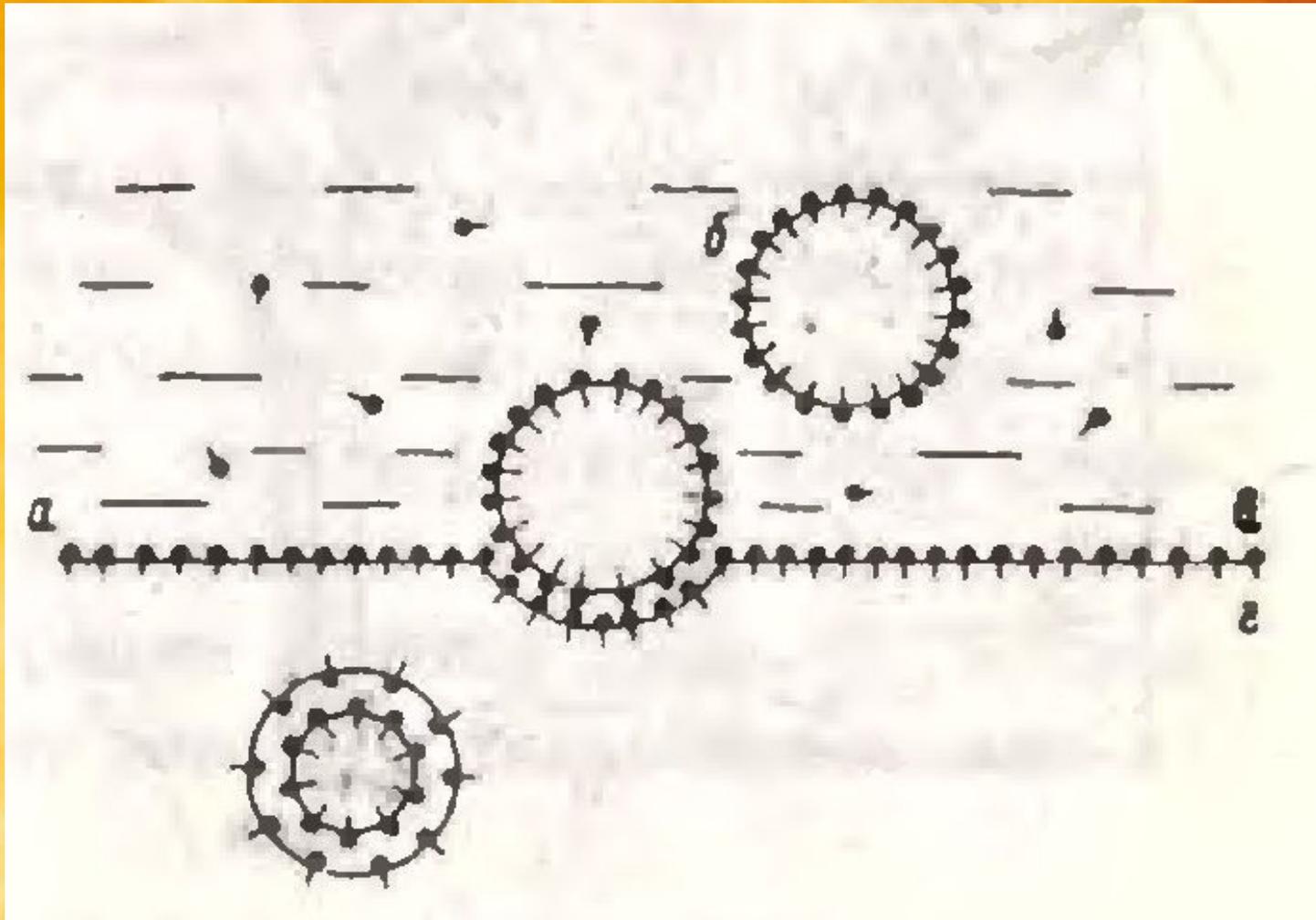
Зависимость стойкости пены от различных факторов и параметров



- Зависимость стойкости пены от ее кратности и температуры окружающей среды при $d_{п} = 6,7$ мм и $d_{п} = 1,5$ мм
- Время выделения 50% жидкой фазы из пены в зависимости от ее кратности и дисперсности при $V_{п} = \text{const}$

8. Условия пенообразования и свойства ПАВ.

- Чистые жидкости, как правило, пен не образуют из-за высокого коэффициента поверхностного натяжения.
- Свойства поверхностно-активных веществ (ПАВ) понижать поверхностное натяжение на границе раздела жидкость – газ или жидкость - жидкость обусловлены способностью молекул ПАВ собираться на поверхности раздела фаз. Это, в свою очередь, определяется строением молекул ПАВ. Молекула ПАВ состоит из гидрофобной части и остатка гидрофильной группы, способного гидратироваться. При введении в жидкость ПАВ происходит адсорбция молекул последнего на поверхности раздела с газовой средой (рис.). Образуется своеобразный поверхностный слой, в котором молекулы ПАВ ориентированы так, что гидрофильная часть молекулы находится в водной фазе, а гидрофобная направлена в сторону дисперсионной фазы (газовой среды).



- Схема образования пузырька пены: а - адсорбционный слой; б - пузырек пены; в - гидрофобная часть молекулы ПАВ; t - гидрофильная часть молекулы ПАВ

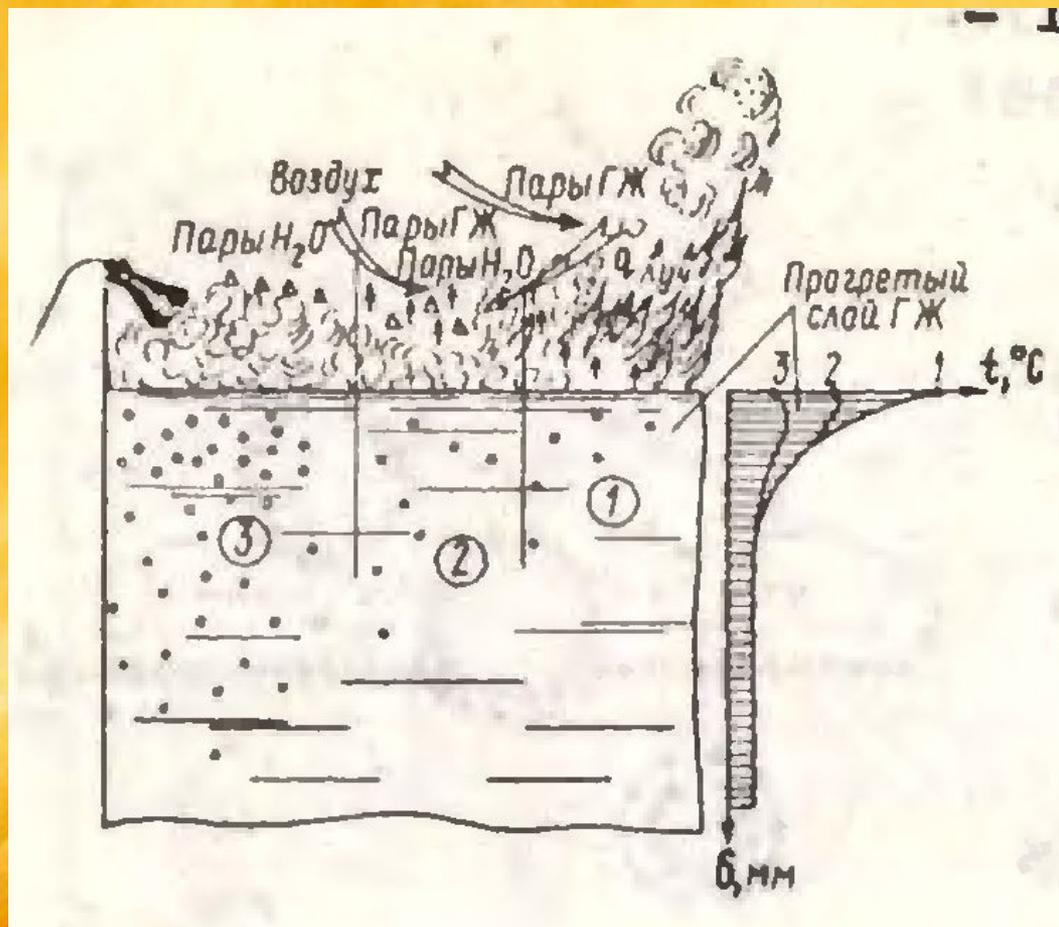
Классификация ПАВ основана на особенностях строения их молекул.

- 1. вещества, которые, растворяясь в воде, диссоциируют на ионы, и поэтому называются ионогенными. Их бывает две разновидности - анионоактивные и катионоактивные.
- Поверхностная активность анионоактивных ПАВ в растворах обусловлена анионами. К ним относятся щелочные соли жирных кислот, алкилсульфаты, алкилсульфонаты щелочных металлов и др. Поверхностная активность катионоактивных ПАВ определяется катионами. Этот класс соединений включает соли аминов, четвертичные аммониевые соли, алкилпиридионовые соли и др.

- 2. вещества, которые растворяются в воде, но не подвергаются диссоциации и не образуют ионов - они называются **неионогенными**. Растворимость неионогенных ПАВ зависит от сродства к воде функциональных групп, а поверхностная активность обусловлена дифильным строением молекул. К таким веществам относятся оксиэтилированные жирные спирты и кислоты, оксиэтилированные фенолы, а также оксиэтилированные амины, амиды и др.
- Существуют ПАВ, которые в зависимости от pH раствора могут проявлять **анионоактивные** (в щелочной среде) или **катионоактивные** свойства (в кислой среде). Они называются **амфотерными** или амфолитными. Подобными свойствами обладают алкиламинокислоты и другие вещества. Поверхностно-активные вещества оцениваются по пенообразующей способности их раствора.

- **9. Пенообразующая способность раствора** - это количество пены, которое образуется из объема раствора в течение определенного времени. По способности образовывать устойчивые пены пенообразователи разделяются на два рода:
- а) **пенообразователи первого рода**. Это вещества (низшие спирты, кислоты, анилин, крезолы), молекулы которых в объеме раствора находятся в молекулярно-дисперсном состоянии. Пены из таких пенообразователей быстро распадаются по мере истечения между пленочной жидкости. Стойкость пен увеличивается с повышением концентрации пенообразователя, достигая максимального значения, а затем падает почти до нуля;
- б) **пенообразователи второго рода** (мыла, синтетические ПАВ) образуют в воде коллоидные системы, пены из них обладают высокой стойкостью. Истечение между пленочной жидкости в таких пенах в определенный момент прекращается, а пенный 'каркас' может сохраняться длительное время при отсутствии разрушающих внешних факторов (вибрация, поток воздуха, тепловой поток и др.).

Механизм прекращения горения пеной с момента ее подачи на горящую поверхность и до образования сплошного слоя пены представляет собой комплекс явлений.



- Схема прекращения горения жидкости воздушно-механической пеной:
- 1 - участок свободного горения;
- 2 - участок активного воздействия пены на процесс горения;
- 3 – участок, на котором горение прекращено.

Основные моменты:

- 1. Образование локального слоя пены на поверхности горючей жидкости при её тушении зависит от соотношения скоростей двух противоположно направленных процессов: с одной стороны, скоростью разрушения пены на поверхности горючей жидкости, а с другой, интенсивностью подачи пены. Если интенсивность подачи пены превышает скорость ее разрушения, то локальный слой на поверхности образуется сразу, и поскольку скорость разрушения пены со временем уменьшается вследствие охлаждения горючей жидкости выделяющимся из пены отсеком, то одновременно увеличивается и скорость нарастания этого слоя и растекание его по поверхности горючей жидкости. Если же интенсивность подачи пены меньше скорости ее разрушения, то локальный слой образуется не сразу, а спустя определенный промежуток времени, в течение которого температура горючей жидкости снизится настолько, что процесс подачи пены начнет превышать ее разрушение.
- Охлаждение прогретого слоя горючей жидкости отсеком пены приводит к тому, что уменьшается скорость испарения жидкости, вследствие этого уменьшается концентрация горючего в зоне горения, скорость химической реакции, скорость тепловыделения, и, как конечный результат - температура горения.

- 2. Как только образуется локальный слой пены на поверхности ГЖ, он экранирует часть горючей жидкости от лучистого теплового потока пламени и охлаждает верхний прогретый слой. Это приводит к тому, что температура прогретого слоя горючей жидкости падает и, как следствие, уменьшается количество паров, поступающих в зону горения, снижается скорость реакции окисления, количество выделяющегося тепла и температура горения.

- 3. При достижении на поверхности жидкости слоя пены определенной толщины он препятствует поступлению выделяющихся паров горючей жидкости к зоне горения. Следовательно, пена изолирует горючую жидкость (точнее, ее пары) от зоны горения и горение прекращается. Кроме перечисленных основных трех факторов, действующих при тушении пеной, существуют еще и дополнительные. К ним относятся; разбавление горючей смеси в зоне горения парами воды: при разрушении пены раствор пенообразователя (в основном вода) частично испаряется, а частично стекает вниз. Образовавшиеся пары вместе с парами ГЖ поступают в зону горения.
- Это приводит к снижению концентрации в зоне горения, а следовательно, к уменьшению скорости реакции тепловыделения и температуры горения; охлаждение зоны горения парами воды. Пары воды, попавшие в зону горения, не только снижают концентрацию горючего в объеме зоны горения, Но и охлаждают эту зону. Это увеличивает потери тепла из зоны реакции, а следовательно, уменьшает температуру горения.

- Таким образом, надежное тушение может быть достигнуто при подаче на поверхность горючей жидкости такого слоя пены, через который пары горючей жидкости не смогут прорваться в зону горения. Поэтому воздушно-механическая пена относится к изолирующим огнетушащим средствам. Изолирующая способность пены зависит от таких параметров, как парогазонепроницаемость, коэффициент динамической вязкости, напряжение сдвига, которые, в свою очередь, определяются кратностью пены, ее дисперсностью, толщиной стенки пузыря и др.
- Рассмотрим изолирующую способность пены. Предположим, что на горящую жидкость равномерно подан слой пены определенной толщины и эта толщина в течение времени не меняется (квазистационарный случай). Необходимо определить, какую минимальную высоту должен иметь слой пены, чтобы пузырь, несущий в себе пары ГЖ, прорвался через него (рис.).

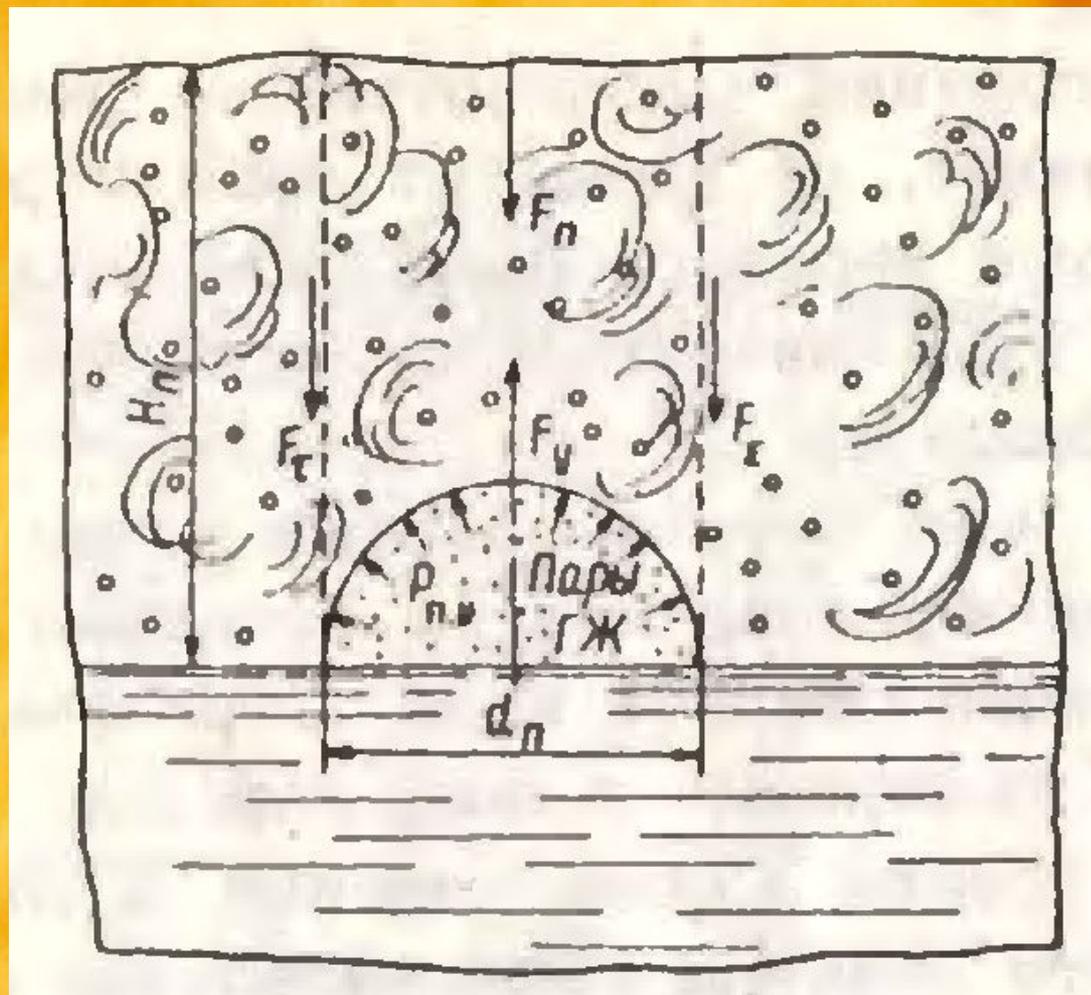


Схема прорыва пузыря ГЖ через слой
воздушно-механической пены

Применение пен

- Пена является достаточно универсальным огнетушащим средством и используется для тушения жидких и твердых веществ. Исключение составляют гидрофильные жидкости, электро- и радиоустановки и вещества, взаимодействующие с водой.
- Применение пены для тушения пожаров было предложено в 1904 г. русским инженером А.Г. Лораном. Им была получена химическая пена на основе водного раствора сернокислого алюминия и бикарбоната натрия с добавкой в качестве пенообразователя солодкового экстракта. А. Г. Лоран высказал идею получения воздушно-механической пены и применения ее для тушения пожаров, однако реализовалась эта идея значительно позже.

- Химическая и воздушно-механическая пены представляют собой грубодисперсные системы, в которых дисперсной фазой является какой-либо газ (CO_2 , N_2 , воздух химически активный ингибитор), а дисперсионной средой - раствор ПАВ в воде.
- Для тушения пожаров с успехом применялась химическая пена. Ее получали из пеногенераторного порошка марки ПГП путем растворения его в воде. Порошок ПГП состоит из кислотной $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ и щелочной частей NaHCO_3 и ПАВ. Химическая пена имеет кратность 5, состоит из 80% CO_2 , 19,7% водного раствора Na_2SO_4 и $\text{Al}(\text{OH})_3$ и ПАВ. Применялась химическая пена в основном при тушении нефтепродуктов, так как обладала высокой стойкостью на поверхности горящего нефтепродукта и хорошо растекалась по его поверхности.
- В настоящее время для тушения пожаров применяется воздушно-механическая пена. Она состоит из 83-99,6% воздуха и 0,4-17% раствора поверхностно-активного вещества.

- В качестве поверхностно-активных веществ в пожарной охране применяются:
- **анионоактивные ПАВ** - «Прогресс», сульфонолы НП-1 и НП-5, смачиватель НБ, пенообразователи ПО-1, ПО-3, ПО-6, мылонафт, синтол, ДНС и др.;
- **неионогенные ПАВ** - смачиватель ДБ, препарат ОС-2О, эмульгатор ОП-4, вспомогательные вещества ОП-7, ОП-Ю. Наиболее распространенное ПАВ-пенообразователь ПО-1. Он представляет собой смесь натриевых солей сульфокислот различного строения. Получается в результате нейтрализации контакта Петрова едким натрием. После нейтрализации к продукту добавляется костный клей и спирт. ПО-1 представляет собой жидкость, хорошо растворимую в воде. Плотность ПО-1 равна 1,1-1,15 г/см₃, содержание сульфосолей составляет 55%.
- Воздушно-механическая пена электропроводка, поэтому для тушения пожаров электроустановок, радиоустановок, электронной техники, электродвигателей, агрегатов транспортных средств и т.д., находящихся под напряжением, не допускается.

**СПАСИБО
за внимание**

