

Пены (foam); – дисперсные системы с газовой дисперсной фазой и жидкой или твердой дисперсионной средой; обычно грубодисперсные, высококонцентрированные

Кратность пены (I) – отношение объема пены к объему дисперсионной среды

$$I = V_f / V_m$$

низкократные пены – $I = 3 - 100$

высокократные пены – $I > 1000$



Пенообразователи 1-го рода : низшие спирты и органические кислоты; малостойкие пены

Высоко стойкие пены (время жизни часы) дают пенообразователи 2-го рода- мыла и синтетические ПАВ

Пенообразование и пены

Жидкая пена представляет собой дисперсную систему типа Г/Ж, в которой дисперсной фазой является газ или пар, а дисперсионной средой жидкость. Часто дисперсной фазой служит воздух, пузырьки которого находятся в воде.

К жидким пенам относятся концентрированные и высококонцентрированные системы дисперсии газа в жидкости (эмульсии «газ – жидкость»). Пузырьки газа имеют размер порядка нескольких миллиметров, а в отдельных случаях и сантиметров.

Низкоконтентрированные системы с содержанием дисперсной фазы менее 0,1% называют газовыми эмульсиями.

В газовых эмульсиях происходит обратная седиментация – всплытие газовых пузырьков. В пенах пузырьки соприкасаются друг с другом и лишены возможности свободного перемещения.

Плотность жидкости в сотни и даже в тысячи раз превышает плотность газа. В разбавленных системах происходит "обратная седиментация", т.е. всплытие газовых пузырьков. В концентрированных и высококонцентрированных системах, образующие пену, пузырьки соприкасаются и лишены возможности свободного перемещения.

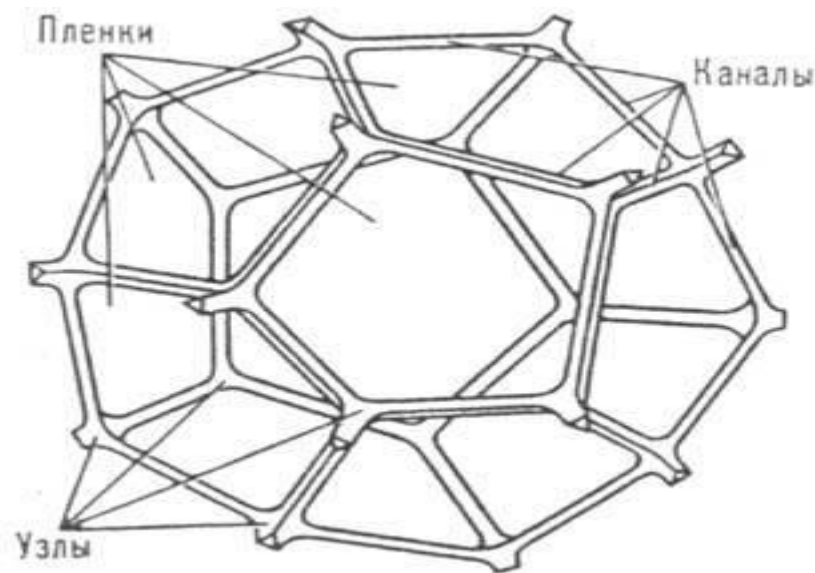
Пены относятся к грубодисперсным системам, в момент возникновения пузырьки видны невооруженным глазом.

При образовании пены ее ячейки имеют сферическую форму, которая со временем переходит в полиэдрическую.

Это явление происходит благодаря избытку газовой фазы и взаимному сдавливанию. Пузырьки пены представляют собою полиэдрические ячейки, стенки которых состоят из весьма тонких пленок жидкой дисперсионной среды. Пленки пены часто обнаруживают интерференцию, что свидетельствует о том, что их толщина соизмерима с длиной световых волн.



Для пен, особенно высокократных, характерна ячеистая пленочно-канальная структура. Заполненные газом ячейки разделены тонкими пленками. Три пленки, расположенные под углом 120° , сливаются в канал, четыре канала с углом между ними $\approx 109^\circ$ образуют узел. Наиболее типичной формой ячейки в монодисперсной пене является *пентагональный додекаэдр* (двенадцатигранник с пятиугольными гранями), часто с 1-3 дополнительными гранями; среднее число пленок, окружающих ячейку, обычно близко к 14. В низкократной пене форма ячеек близка к сферической и размер пленок мал.



Схематич. изображение структуры пен с высокой кратностью.



30 ребер, 20 вершин; Ребра ячейки – заполненные ДС каналы Гиббса-Плато.

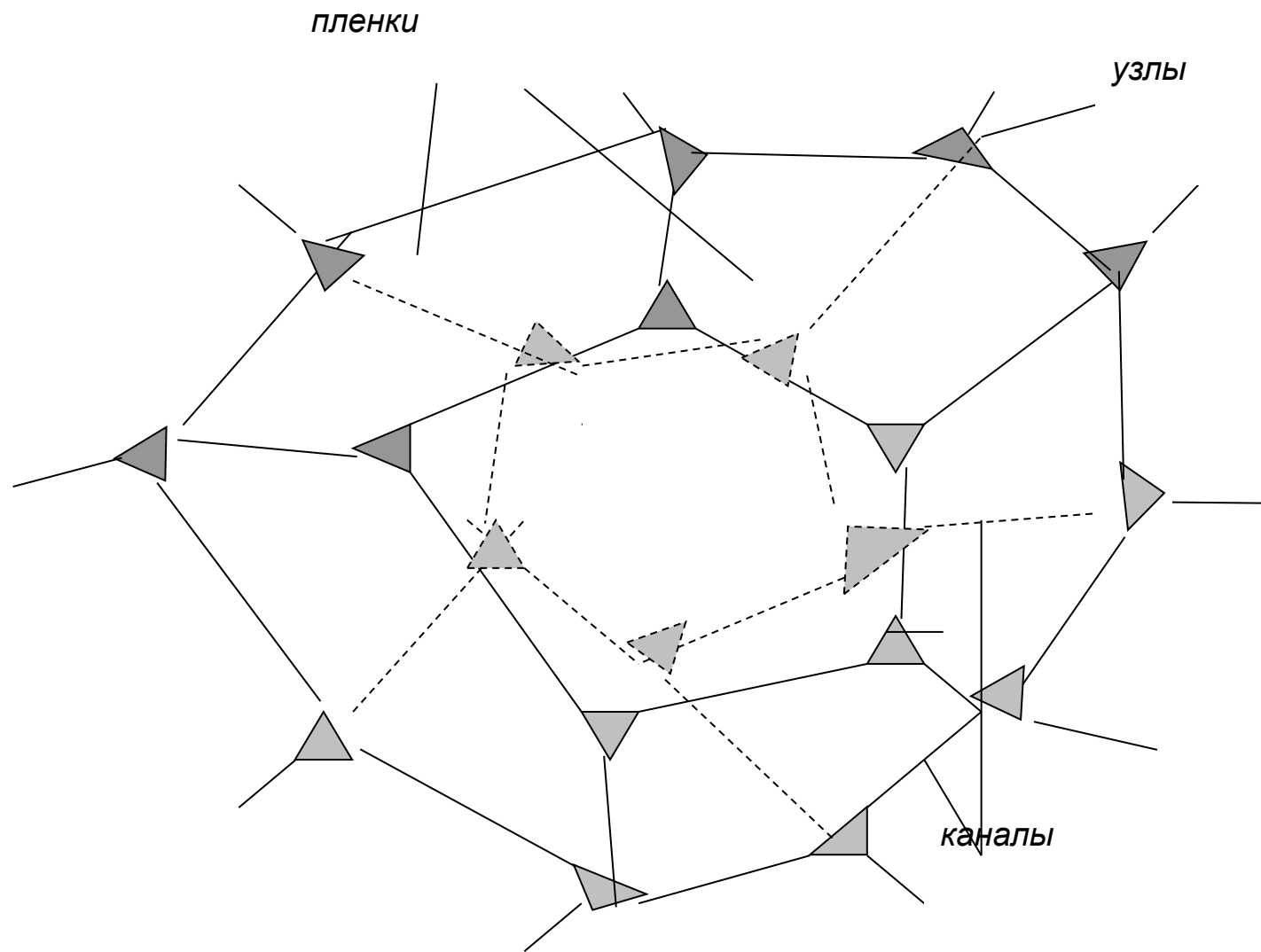


Рис. 9. Элементарная ячейка полиэдрической пены

Структура полиэдрических пен описывается геометрическими правилами Плато. В соответствии с требованиями минимума поверхностной энергии Гиббса на одном жидком ребре ячейки сходятся три пленки под углами в 120° и образуют трехгранный столбик жидкости, называемый каналом Плато – Гиббса. Поскольку стенки всех пузырьков должны быть одинаковыми, то в одной точке сходятся четыре канала Плато – Гиббса, образуя между собою углы $109^{\circ} 28'$. Согласно сказанному, форма пены представляет собой пентагональный додекаэдр– фигуру, ограниченную 12 пятиугольными гранями(рис. 9). Состояние такой пены наиболее устойчиво.

Пены являются типичными лиофобными дисперсными системами.

Пены термодинамически неустойчивы, т. к. в них протекают процессы, ведущие к изменению строения и разрушению. К таким процессам относят:

- 1) Утоньшение пленок и их последующий разрыв; в результате увеличивается средний размер ячеек при разрыве пленок в объеме пены или уменьшается высота столба (слоя) пены, если разрываются пленки, отделяющие поверхностные ячейки пены от внешней газовой среды; дисперсность пены падает.
- 2) Диффузионный перенос газа из малых ячеек в более крупные (в полидисперсной пене) или из поверхностных ячеек во внешнюю среду; это приводит к исчезновению поверхностных ячеек и уменьшению высоты столба (слоя) пены.
- 3) Вытекание дисперсионной среды под действием силы тяжести (*синерезис*) в высокостабильных пенах, приводящее к возникновению гидростатически равновесного состояния, в котором кратность слоя пены тем больше, чем выше он расположен; в низкократных пенах синерезис ведет к возникновению под пеной слоя жидкости.

Пены образуются при диспергировании газа в жидкости в присутствии *пенообразователей*, в качестве которых используют поверхностно-активные вещества. Жидкости без пенообразователей сколько-нибудь устойчивой пены не дают. Прочность и продолжительность существования пены зависит от свойств пленочного каркаса, которая определяется природой и содержанием в системе пенообразователя, адсорбированного на межфазной поверхности. Наиболее устойчивые пены дают высокомолекулярные соединения, мыла и другие ионогенные ПАВ.

По способу получения :

а) конденсационные пены (пенобетоны, пенопласты (закрытые ячейки, сферопласты), поропласты (сообщающиеся открытые ячейки, сетчатые поропласты) – получают в химической газовыделяющей реакции;

б) диспергационные пены, получаемые барботажем газа через жидкость (пеногенераторы);

в) комбинированные пены, например *пенофенопласты* (плотность 0,01 – 0,1 г/см³)– получаемые вспениваем олигомерной композиции из резольных или новолачных смол с одновременным отверждением (закрытые и открытые ячейки)(1934 г. Германия).

Пенополистиролы – жесткие пенопласты; порофоры – азодикарбонамид, сульфонилгидразиды, карбонат аммония; порообразователи – изопентан, петролейный эфир, хладоны , добавляемые (10%) на стадии полимеризации.(1944 г. США)

Способность растворов ПАВ к пенообразованию можно характеризовать количеством (объемом, высотой столба) пены, получаемой при определенных условиях эксперимента. *Устойчивость* пен оценивают разными методами, например, временем, прошедшим с момента образования определенного объема пены до полного ее разрушения или временем жизни отдельного газового пузырька на поверхности жидкости, граничащей с воздухом. В производстве моющих средств применяют «пенное число» - отношение объема пены, не разрушенной через пять минут после ее образования, к первоначальному объему.

Пенообразование и пены имеют большое практическое применение, например, при тушении пожаров, при обогащении полезных ископаемых методом флотации, при очистке жидкостей от содержащихся в них поверхностно активных веществ, при использовании растворов ПАВ в качестве моющих средств. В последнем случае роль пены заключается в удалении с поверхности твердых частиц загрязнений флотацией, препятствующей их оседанию. Таким образом, пенообразование является одной из характеристик моющих средств. При этом более желательно образование мелкодисперсной пены, так как в этом случае межфазная поверхность развивается больше, чем при образовании крупнодисперсной пены.

Флотационное обогащение (разделение) основано на различной смачиваемости водой ценных минералов и пустой породы. Применяют пенную, пленочную и масляную флотацию. В наиболее распространенном методе пенной флотации через водную суспензию измельченной руды (пульпу) барботируют воздух, к пузырькам которого прилипают гидрофобные частицы ценного минерала, всплывающие затем на поверхность воды, и с образовавшейся пеной снимаются механически для дальнейшей переработки. Пустая порода хорошо смачивается водой и оседает во флотационных машинах. Пленочная флотация заключается в том, что при высыпании измельченной руды на поверхность текущей воды гидрофобные частицы ценного минерала остаются на поверхности, а пустая порода оседает. В процессе редко применяемой масляной флотации используется эмульсия масла в воде, частицы ценного компонента всплывают вместе с каплями масла.

В ряде случаев пенообразование оказывается нежелательным явлением. Образование пены в котлах паровых машин может нарушить работы тепло-энергетических установок. В производстве антибиотиков, витаминов, дрожжей, сахара, для гашения пен используют растительные масла (подсолнечное, соевое), животные жиры, кремнийорганические полимеры. Для подавления пенообразования при экстракорпоральной обработке крови также используют кремнийорганические соединения. По Ребиндеру, пеногасителями являются ПАВ, имеющие более высокую поверхностную активность, чем пенообразователи, и потому вытесняющие пенообразователь с поверхности пузырьков пены, но не способные сами к стабилизации пены.

Для механического разрушения пен в промышленности вращающиеся с большой частотой (около 3000 мин.⁻¹) мешалки, крыльчатки и другие приспособления. Существуют устройства, в которых пена направляется на преграду и разрушается при столкновении с ней. Пузырьки пены разрушают также струей воздуха и акустическими колебаниями.

Пеногасителями могут служить спирты, а также кремнийорганические соединения, которые особенно полезны для предотвращения пенообразования. Выбор способа разрушения пены зависит от свойства пенообразующей среды и масштабов производства.