

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Е. М. САВИЦКАЯ и академик П. А. РЕБИНДЕР

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МОНОДИСПЕРСНОЙ ПЕНЫ**

Исследование устойчивости пен обычно проводилось на полидисперсных пенах, получаемых в процессах суммарного диспергирования воздуха. Размеры пузырьков в таких пенах лежат в широком интервале. Большинство исследователей<sup>(1)</sup> ограничивалось лишь измерениями устойчивости и не изучало механизма разрушения пен.

Для всестороннего изучения отдельных факторов, влияющих на устойчивость и на самопроизвольные изменения в пене, наиболее подходящими объектами должны быть строго монодисперсные пены. При исследовании таких пен все характерные процессы, в них протекающие, могут быть выявлены в чистом виде.

Для изучения влияния условий опыта на процессы, происходящие в пене, и на ее устойчивость, монодисперсная пена исследовалась: 1) в условиях свободного испарения, 2) в атмосфере насыщенного пара раствора пенообразователя и 3) в отсутствие над нею газового пространства.

В дно стеклянного цилиндрического градуированного сосуда диаметром 4 см был вставлен шлиф с впаянной в него толстостенной трубочкой с остро обрезанными краями, отверстие которой находилось в объеме жидкости. Образование монодисперсной пены происходило при продавливании воздуха через отверстие трубки.

При исследовании пены в атмосфере насыщенного пара пенообразователя цилиндр заключался в рубашку, в которую был залит тот же раствор.

При проведении опытов с пеной в отсутствие воздушного пространства над нею применялся прибор, схема которого дана на рис. 1. Внутренний цилиндр *K* погружен до начала опыта в пенообразующую жидкость, налитую во внешний сосуд *M*. Кран *H* служит для выпуска излишнего количества пенообразователя. Это избыточное количество жидкости является необходимым для того, чтобы до начала опыта полностью вытеснить воздух из цилиндра *K* и погрузить его в жидкость. На петельку, припаянную к центру верхней поверхности цилиндра *K*, надевается стеклянный крючок, конец которого прикреплен к нити, перекинутой через блок *P*. К другому концу нити подвешена чашечка с грузом *O* для уравновешивания цилиндра *K*.

При получении пены пузырьки, попадая во внутренний цилиндр, вытесняют его из жидкости; по мере образования пены он постепенно поднимается. В момент прекращения пенообразования цилиндр останавливается. В этом случае столб пены находится в замкнутом пространстве, ограниченном жесткой поверхностью цилиндра и поверхностью жидкости.

Нами были исследованы пены, образованные из растворов Na-соли 6-бутилнафтилинсульфокислоты-1 (некаля) (I) и различных членов гомологического ряда Na-солей эфиров сульфоянтарной кислоты.

Испарение очень сильно понижает устойчивость пены, ускоряя разрушение верхнего слоя пены, граничащего с воздухом. Процесс разрыва пленок верхнего слоя протекает с большей скоростью, чем процесс укрупнения ячеек пены, вследствие чего при разрушении первоначальная дисперсность пены остается неизменной.

При соприкосновении пены с насыщенным паром процесс изменения ее во времени протекает иначе, чем при свободном испарении: происходит постепенная коалесценция пены с одновременным разрушением столба пены. Коалесценция начинается всегда в верхних слоях; поэтому характер пены в процессе разрушения неодинаков по всей высоте столба. В верхних слоях расположены более крупные ячейки, затем размер ячеек падает, и в нижних слоях находятся мелкие ячейки, почти не изменившие первоначальной дисперсности.

Несколько слоев пузырьков, призывающих к поверхности раздела жидкость/пена, сохраняют строение, свойственное пене в первое время после ее образования. Сохранение пузырьками сферической формы объясняется тем, что жидкость, вытекающая при самопроизвольном утоньшении и разрыве пленок в верхних слоях пены, стекает по пленкам в нижележащие слои. Непрерывное «подпитывание» жидкостью нижних слоев замедляет утоньшение пленок в этих слоях.

В случае монодисперсной пены, образовавшейся в замкнутом пространстве, происходит постепенная коалесценция, но общий объем, занимаемый пеной, остается неизменным. Коалесценция начинается в верхних слоях и постепенно распространяется на весь объем. Факт начала ее именно в верхних слоях объясняется действием силы тяжести.

Таким образом, монодисперсная пена в процессе коалесценции неизбежно становится полидисперсной. По окончании коалесценции пена вновь превращается в монодисперсную, но размер ее ячеек значительно возрастает, после чего начинается разрушение столба пены.

Мы наблюдали за коалесценцией монодисперсных пен из 1% раствора Na-соли диоктилового эфира сульфоянтарной кислоты (II) с различными размерами ячеек.

Пена, полученная с помощью трубок с отверстиями диаметром от 0,04 и до 7 мм, постепенно коалесцирует: размер пузырьков возрастает до тех пор, пока они не достигнут размеров ячеек, которые образуются при диаметре трубки, равном 9,5—10 мм. Ячейки пены, образованные из трубок диаметром 9,5—10 мм, остаются неизменными вплоть до начала разрушения столба пены. При получении пены с помощью трубки диаметром 15 мм пузырек при постепенном образовании на конце трубки перетягивается пленкой и раздваивается в соответствии с выводами из общей теории капиллярности.

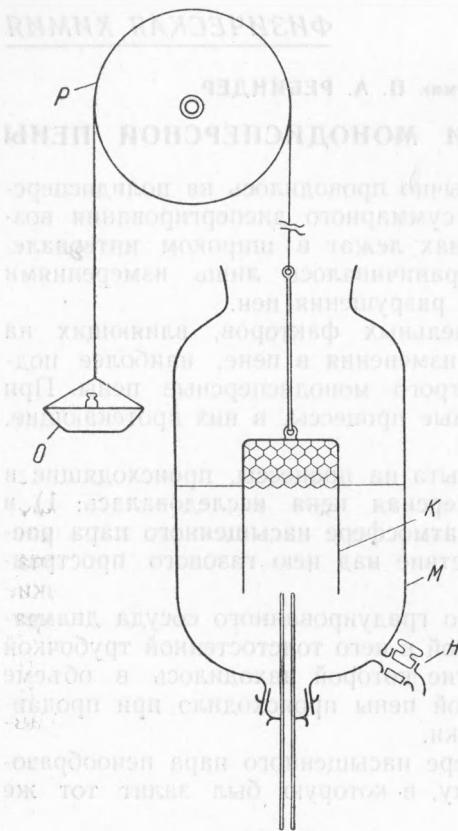


Рис. 1. Прибор для исследования устойчивости пены в замкнутом пространстве

428

На основании этих результатов можно предположить, что для пены в замкнутом пространстве существует определенный равновесный размер ячеек. Пена с равновесными ячейками обладает чрезвычайно тонкими пленками, которые в средних участках являются практически плоскими, обладая кривизной лишь в кольцах Гиббса.

Измерения устойчивости пен в разных условиях показали, что она резко зависит от условий опыта. За устойчивость пены во всех случаях принималось время, протекшее с момента окончания пенообразования до появления «зеркала» — свободной, не покрытой пузырьками поверхности жидкости. В качестве примера приводим следующие данные (см. табл. 1).

Таблица 1

Пенообразователь	Диаметр трубочки $D$ в мм	Высота столба пены $H$ в мм	Устойчивость пены в минутах		
			свободное испарение	атмосфера насыщ. пара	замкнутое пространство
I	0,09	12	7,25	62	282
II	9,5	60	— $H_{\max} = 8 \text{ мм}^*$	240	1320

\* При свободном испарении нельзя получить столб пены высотою 60 мм.

Наибольшей устойчивостью обладает пена в замкнутом цилиндре без свободного объема над столбом пены. Устойчивость пены, соприкасающейся с насыщенным паром пенообразователя, является более низкой. Наименьшей устойчивостью обладает пена в условиях свободного испарения. Испарение вызывает падение устойчивости пены, вызывая резкие неоднородности в толщине пленок, что и способствует их разрыву. Возрастание устойчивости пены в замкнутом пространстве по сравнению с пеной, соприкасающейся с насыщенным паром пенообразователя (в обоих случаях испарение отсутствует), связано, повидимому, с особыми граничными условиями столба пены.

Исследование монодисперсных пен в разных условиях опыта показало, что во всех случаях: а) устойчивость возрастает с увеличением дисперсности пены; б) устойчивость столба пены прямо пропорциональна высоте столба, т. е. разрушение пены происходит равномерно; в) устойчивость падает с увеличением площади раздела пена/пар.

Научно-исследовательский институт химии  
Московского государственного университета  
им. М. В. Ломоносова

Поступило  
17 XI 1950

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> O. Bartsch, Koll. Zs., 38, 177 (1926); Н. А. Алейников, Цвет. мет., 6, 726 (1930); Е. К. Венстрём и П. А. Ребиндер, ЖФХ, 2, 754 (1931); К. Н. Арбузов и В. Н. Гребенщикова, ЖФХ, 10, 32 (1937); J. Bikerman, Trans. Farad. Soc., 34, 634 (1938); S. Ross, Journ. Phys. Chem., 50, 391 (1946); J. Robinson and W. Woods, ibid., 52, 763 (1948).