

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСПЕРСНОЙ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ЖИДКИХ ПЕН

Исаев В. В.

научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, профессор, Лямкин А. И.

*Сибирский федеральный университет*

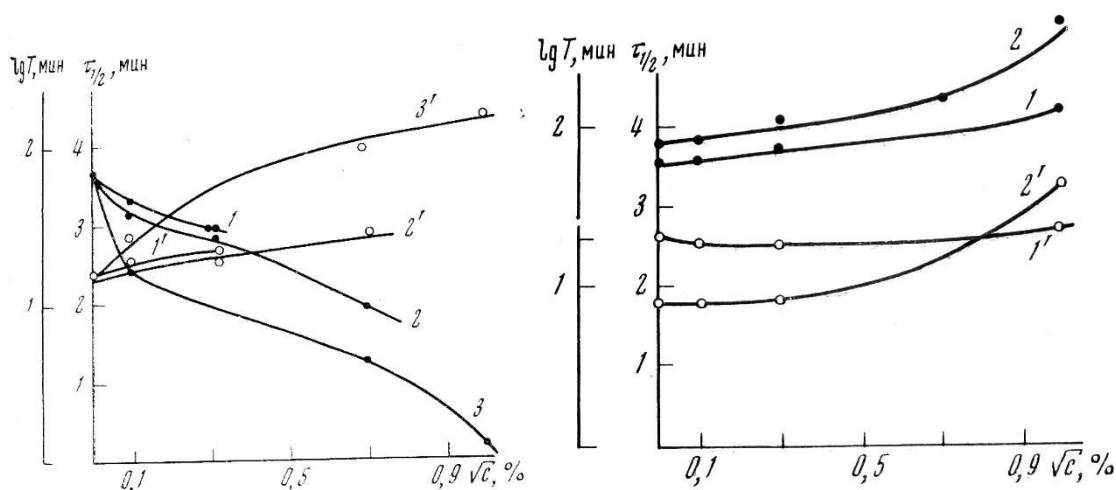
Пены являются двухфазными средами, причем дисперсной фазой является газ. Пены имеют обширное применение в самых разных отраслях: строительство, горная добыча и другие. Стабильность и синерезис пен являются важными характеристиками жидких пен.

В данной работе исследуется влияние твердых дисперсных добавок на стабильность жидкой пены. Влияние твердых добавок на стабильность пены рассмотрено в работе [1]. Авторы данной работы предложили две модели влияния твердых добавок: для низких и высоких концентраций ПАВ.

При низкой концентрации ПАВ, на частицах твердой фазы адсорбируются молекулы пенообразователя. В результате этого, в пене повышается поверхностное натяжение, понижается дисперсность пены и увеличивается синерезис, что приводит к быстрой потере лишней воды, установлению гидростатического равновесия в каналах пены, и, следовательно, к большему времени жизни пены.

При высокой концентрации ПАВ, этот процесс выражен намного слабее, синерезис замедляется, а стабильность пены увеличивается незначительно.

На рисунке 1 слева (низкая концентрация ПАВ) и справа (высокая концентрация ПАВ), представленных в работе [1] и ниже, отражена эта зависимость.  $T$  – время разрушения половины столба пены,  $\tau_{1/2}$  – время вытекания половины объема жидкости.

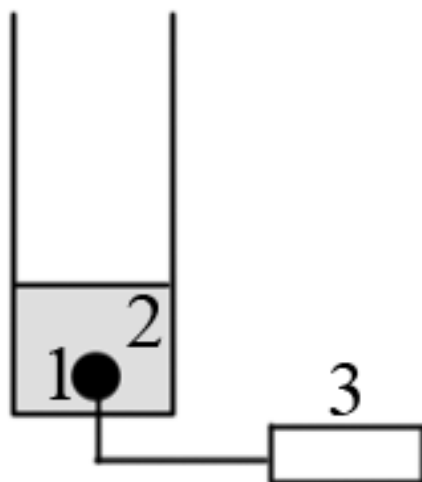


**Рисунок 1. График слева: Зависимость  $T$  (1'-3') и  $\tau_{1/2}$  (1-3) от концентрации твердой фазы в 0,1% растворе ОП-10. Добавка: целлюлоза (1,1'), сажа (2,2'), аэросил 175 (3,3'). График справа: Зависимость  $T$  (1'-2') и  $\tau_{1/2}$  (1-2) от концентрации твердой фазы в 1% растворе ОП-10. Добавка: сажа (1,1'), аэросил (2,2').**

Помимо влияния концентрации твердой фазы, на стабильность пены влияет концентрация ПАВ и смачиваемость твердой фазы.

В данной работе в качестве ПАВ использовалась смесь жирных кислот, органических масел и других веществ (ГОСТ 30266-95). Для пеногенерации

использовалась следующая установка (рисунок 2), работающая на диспергационном методе - барботирование.



**Рисунок 2 – Схема установки для генерации пены. 1 - барботер, 2 - пенообразующий раствор, 3 - компрессор**

Для пеногенерации использовался 0,02% водный раствор ПАВ. Среднее время разрушения половины столба пены без добавки наночастиц составляет: 5,5 минут для первичной пены, 1,5 минут для вторичной пены. Первичная пена – пена, полученная из только что приготовленного раствора, вторичная пена – пена, полученная из раствора, в котором уже происходило пенообразование. Экспериментально было подтверждено, что каждое следующее вспенивание создает более нестабильную пену. Через несколько вспениваний стабильная пена перестает создаваться.

В качестве твердой фазы использовались качественно отличающиеся наночастицы: наноалмазы (НА), обладающие гидрофильными свойствами, и шихта детонационного синтеза (ШДС), обладающая гидрофобными свойствами.

Ниже в таблицах представлены результаты исследований для разных частиц при разных концентрациях.

**Таблица 1 – время разрушения первичной и вторичных пен при массе добавочных наночастиц 0,01 г**

Концентрация наночастиц и тип наночастиц	Первичная пена, время жизни, мин.	Вторичная пена, время жизни, мин.
0,01 г НА	7,5	2,5
0,01 г НА	8,0	3,5
0,01 г НА	6,5	2,0
0,01 г ШДС	9,0	2,0
0,01 г ШДС	10,0	4,0
0,01 г ШДС	11,0	4,0

Из таблицы 1 следует, что добавка 0,01 г НА образует пену со средним временем жизни первичной пены 7,3 минуты и вторичной пены 2,6 минуты. Добавка 0,01 г ШДС образует пену со средним временем жизни первичной пены 10 минут и вторичной пены 3,3 минуты. Следовательно, увеличение времени жизни, по сравнению с базовым раствором составило: с добавкой 0,01 г НА у первичной пены +32,7% и у вторичной

пены +73,3%; с добавкой 0,01 ШДС у первичной пены +81,8% и у вторичной пены +120%.

**Таблица 2 - время разрушения первичной и вторичных пен при массе добавочных наночастиц 0,02 г**

Концентрация наночастиц и тип наночастиц	Первичная пена, время жизни, мин.	Вторичная пена, время жизни, мин.
0,02 г НА	4,5	3,0
0,02 г НА	4,5	2,5
0,02 г НА	4,5	3,0
0,02 г ШДС	8,0	4,0
0,02 г ШДС	7,5	3,0
0,02 г ШДС	8,0	4,0

Из таблицы 2 следует, что добавка 0,02 г НА образует пену со средним временем жизни первичной пены 4,5 минуты и вторичной пены 2,8 минуты. Добавка 0,02 г ШДС образует пену со средним временем жизни первичной пены 7,8 минут и вторичной пены 3,6 минуты. Следовательно, увеличение времени жизни, по сравнению с базовым раствором составило: с добавкой 0,02 г НА у первичной пены -18,1% и у вторичной пены +86,6%; с добавкой 0,02 ШДС у первичной пены +41,8% и у вторичной пены +140%.

**Таблица 3 - время разрушения первичной и вторичных пен при массе добавочных наночастиц 0,005 г**

Концентрация наночастиц и тип наночастиц	Первичная пена, время жизни, мин.	Вторичная пена, время жизни, мин.
0,005 г НА	7,0	2,0
0,005 г НА	5,0	3,5
0,005 г НА	6,5	4,0
0,005 г ШДС	8,0	4,0
0,005 г ШДС	7,0	4,0
0,005 г ШДС	5,5	3,0

Из таблицы 3 следует, что добавка 0,005 г НА образует пену со средним временем жизни первичной пены 6,2 минуты и вторичной пены 3,2 минуты. Добавка 0,005г ШДС образует пену со средним временем жизни первичной пены 6,8 минут и вторичной пены 3,6 минуты. Следовательно, увеличение времени жизни, по сравнению с базовым раствором составило: с добавкой 0,005 г НА у первичной пены +12,7% и у вторичной пены +113,3%; с добавкой 0,005 ШДС у первичной пены +23,6% и у вторичной пены +140%.

Сравнение всех трех серий экспериментов представлены в таблице 4.

**Таблица 4 – сравнение увеличения времени жизни у первичной и вторичной пен, при разной массе НА и ШДС**

Добавка и величина, г	Увеличение времени жизни, %	
	Первичная пена	Вторичная пена
НА 0,005	+12,7	+113,3

НА 0,01	+32,7	+73,3
НА 0,02	-18,1	+86,6
ШДС 0,005	+23,6	+140,0
ШДС 0,01	+81,8	+120,0
ШДС 0,02	+41,8	+140,0

Из таблицы 4 видно, что гидрофильные частицы (НА) увеличивают время жизни пены меньше, чем гидрофобные частицы (ШДС), а при определенных концентрациях даже уменьшают. При концентрации 0,02 г НА вероятно осуществляется механизм, описанный в работе [1] – частицы образуют коагуляты, которые забивают каналы Плато-Гиббса, тем самым уменьшая синерезис и время жизни пены, в условиях большой концентрации твердой фазы при малой концентрации ПАВ в растворе. Также из таблицы видно, что любая добавка твердой фазы увеличивает время жизни вторичной пены.

По нашим представлениям процессы деструкции пены происходят следующим образом. Гидрофобные частицы захватываются пузырьками воздуха, на них адсорбируются молекулы ПАВ и это приводит к механизму, описанному в [1]. Если добавить гидрофильные частицы, то при малых концентрациях, они удерживают утекающую воду из пленок, препятствуя их преждевременному разрушению от испарения, но не уменьшая синерезис. При больших концентрациях, частиц становится настолько много, что они образуют закупорки в каналах, препятствуя синерезису, тем самым ускоряя разрушение пены.

### **Выводы**

1. При низких концентрациях ПАВ в растворе, гидрофильные частицы могут уменьшать или увеличивать время жизни первичной пены, в зависимости от их концентрации. Время жизни вторичной пены увеличивается.
2. При низких концентрациях ПАВ в растворе, гидрофобные частицы увеличивают время жизни первичной и вторичной пен.
3. Раствор пенообразователя имеет ограничение в циклах пенообразования – после нескольких вспениваний подряд одного и того же раствора, перестает образовываться стабильная пена.

### **Список использованных источников**

1. Кругляков, П.М. Синерезис и устойчивость пен, содержащих твердую фазу / П.М. Кругляков, П.Р. Таубе // Коллоидный журнал. – 1972. - № 2. – С. 228-230.
2. Кругляков, П. М. Пены и пенные пленки : монография / П. М. Кругляков, Д. Р. Ексерова. – Москва : Химия, 1990. – 432 с.