

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Л. Я. КРЕМНЕВ и В. С. КУПРИК

ГОМОГЕНИЗАЦИЯ ЭМУЛЬСИЙ ПРИ НИЗКИХ ДАВЛЕНИЯХ  
ПРОДАВЛИВАНИЯ ЧЕРЕЗ КАПИЛЛЯР

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 26 VII 1951)

Для получения высокодисперсных и однородных по размерам капелек эмульсии, в частности жиросодержащих, применяется процесс гомогенизации, в котором грубо- и полидисперсные системы продавливаются через весьма узкие зазоры в специальных аппаратах — гомогенизаторах — под давлением порядка 200 атм. Теоретически необходимость столь высоких давлений для дробления в эмульсиях капель больших и средних размеров не обоснована. Действительно, и результаты наших опытов, полностью соответствующие воззрениям акад. П. А. Ребиндера (1), доказывают существенный рост дисперсности высококонцентрированных эмульсий (содержание дисперсной фазы выше 74 объемн. %) после их прохождения через капилляр при давлении  $P$ , равном всего лишь 0,1 атм. (2).

В дальнейшем нами изучалась гомогенизация на примерах эмульсии бензола в 5% растворе олеата натрия в большом интервале концентраций дисперсной фазы. Эмульсии продавливались через капиллярные трубки длиной  $l = 0,2 \div 100$  см и диаметром  $2r = 0,23 \div 12$  мм под давлением не выше 5 атм. Результаты гомогенизации устанавливались по изменениям удельной поверхности капелек  $S_{уд}$  см<sup>-1</sup>, рассчитанным из данных полного микроскопического анализа дисперсности.

В многочисленных опытах с эмульсиями в интервале концентраций от 10 до 97,6 объемн. % мы неизменно наблюдали увеличение дисперсности после прохождения эмульсий через капилляры под небольшими давлениями. При этом эффект дробления капель возрастал с увеличением  $P$  и повышением концентрации эмульсии.

Определяющим фактором гомогенизации является средняя линейная скорость потока эмульсии  $v$  в см/сек в капилляре. Результаты гомогенизации, выраженные изменениями  $S_{уд}$ , всецело определяются значениями  $v$ , так что дисперсность гомогенизированной эмульсии может быть выражена уравнением прямой линии

$$S_{уд} = S_{уд}^0 + \alpha v,$$

где  $S_{уд}^0$  — дисперсность негомогенизированной эмульсии,  $\alpha$  — тангенс угла наклона прямой к абсциссе, величина которого определяется концентрацией эмульсии.

В наших опытах различная скорость достигалась как изменением длины и сечения капилляров, так и давления.

На рис. 1 показана графически зависимость  $S_{уд}$  от  $v$  для эмульсий разных концентраций: 50, 80 и 90%.

Повышение дисперсности высококонцентрированных эмульсий при их движении в капиллярах осуществляется путем растяжения равно- сторонне деформированных в додекаэдры капель больших и средних размеров и их последующего самопроизвольного распада. Распад наступает с достижением критического соотношения  $\lambda_{\text{крит}}$  между длиной растянутой капли и ее периметром, при котором запас свободной поверхностной энергии  $F = \sigma S$  удлиненной капли больше такового элементов распада.

При таком механизме диспергирования капель гомогенизация, естественно, затрудняется с повышением вязкости дисперсной фазы эмульсии, как свойства жидкости сопротивляться растягивающим и касательным усилиям. Такое влияние вязкости установлено в серии опытов с 90% эмульсиями. Дисперсной фазой служили смеси в различных соотношениях медицинского вазелинового масла и бензола. Дисперсность исходных эмульсий была близка и практически составляла:  $S_{\text{уд}}^0 2,50 \cdot 10^2 \text{ см}^{-1}$ . Результаты представлены в табл. 1.

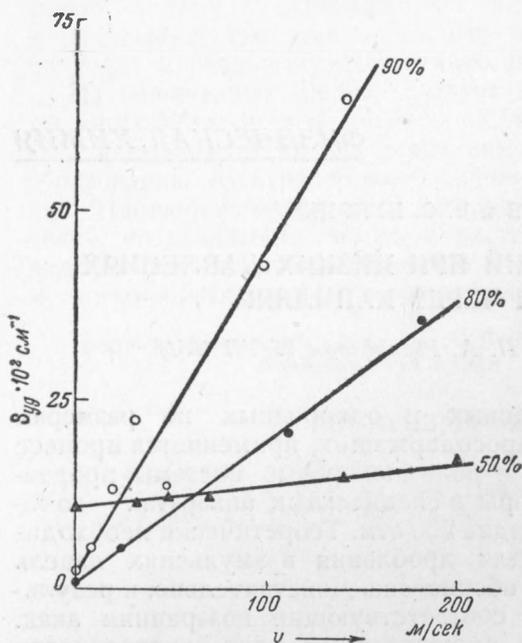


Рис. 1

Таблица 1

Влияние вязкости дисперсной фазы  $\eta$  на  $S_{\text{уд}}$   
(длина капилляра  $l = 10 \text{ см}$ ,  $2r = 0,65 \text{ мм}$ ,  $P = 2 \text{ атм.}$ )

Вязкость $\eta_{\text{сп}}$ . . . . .	116	33,9	20,9	10,1	4,31	2,1	0,7
$S_{\text{уд}} \cdot 10^2 \text{ см}^{-1}$ после гомогенизации . . . . .	7,18	8,95	11,8	20,38	24,39	25,3	31,5

В одинаковых условиях опыта на эффект гомогенизации также оказывает сильное влияние и природа стабилизатора, что видно из данных табл. 2.

Таблица 2

Влияние природы стабилизатора на  $S_{\text{уд}}$

Стабилизаторы	$S_{\text{уд}}^0 \cdot 10^2 \text{ см}^{-1}$		$\frac{S_{\text{уд}}}{S_{\text{уд}}^0} = A$
	исх. эмульсии	гомогениз. эм.	
Олеат натрия . . . . .	1,00	17,64	17,6
Сапонин . . . . .	0,83	9,62	11,5
Гуммиарабик . . . . .	1,17	8,15	7,0
Желатина . . . . .	0,87	4,22	4,9

При одинаковой концентрации растворов природа стабилизатора в известной мере сказывается на скорости потока  $v$ . Но результаты гомогенизации в основном зависят от различной скорости адсорбции молекул того или иного стабилизатора и формирования сплошных защитных слоев на капельках, чему соответствуют значения  $A = S_{уд} / S_{уд}^0$ .

Диспергирование капелек в концентрированных эмульсиях (содержание дисперсной фазы ниже 74%) также происходит в линейной зависимости от скорости  $v$  (см. рис. 1), но с гораздо меньшим эффектом, чем у высококонцентрированных систем. Механизм гомогенизации в данном случае другой, так как к удаленным на значительные расстояния сферическим капелькам необходимо приложить значительные срезающие усилия, отсутствующие в ламинарном потоке. Высокие напряжения среза  $Q$  появляются в турбулентном потоке, и если капиллярное давление  $P = \frac{2\sigma}{r} < Q$ , то будет происходить их дробление.

Легче всего, конечно, будут дробиться большие капли.

Низкие значения критерия Рейнольдса как будто не подтверждают наличия устойчивого турбулентного режима потока эмульсий в опытах с низким давлением. При таком положении необходимо было получить сведения о режиме потока. С этой целью были осуществлены микрокиносъемка и прямые наблюдения под микроскопом при малых скоростях  $v$ , не превышавших 8 см/сек.

Съемка и наблюдения показали, что даже при весьма малых скоростях потока движение эмульсий происходит турбулентно. При этом капельки и дисперсионная среда перемещаются с разной скоростью. Независимо от размеров, все капельки вращаются в дисперсионной среде при движении эмульсии, а маленькие капельки, кроме того, описывают ломаные траектории и часто пересекают направление потока под большими углами (до  $90^\circ$ ). Любое изменение скорости потока характерным образом отражается на картине потока, что легко установить по изменению траекторий движения маленьких капелек.

Особенно важно отметить, что уже при малых давлениях большие капли вытягиваются по оси потока. Однако в наших условиях (малые скорости) еще не наблюдается диспергирования, так как возникающие срезающие усилия недостаточны для этой цели.

Ленинградский технологический институт  
им. Ленсовета

Поступило  
21 VII 1951

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> П. А. Ребиндер, Колл. журн., 8, 157 (1946). <sup>2</sup> Л. Я. Кремнев и С. А. Соскин, Колл. журн., 10, 209 (1948).