

Б. Ф. САДОВСКИЙ, Г. И. БАБЕРКИНА, Н. Д. РОЗЕНБЛЮМ,
академик И. В. ПЕТРЯНОВ

О МИГРАЦИИ ЖИДКОСТИ ПО ВОЛОКНАМ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ТУМАНОВ

При фильтрации туманов волокнистыми фильтрами происходит их отравление. Фильтрующие характеристики таких фильтров ухудшаются, сопротивление и проскок тумана возрастают. Осаждаясь на волокнах фильтрующего слоя, капли тумана в зависимости от природы жидкости и волокна, а также диаметра волокна, полностью или частично его смачивают с образованием в дальнейшем крупных вторичных капель⁽¹⁾. Между этими каплями находится устойчивый слой жидкости⁽²⁾, по которому проис-

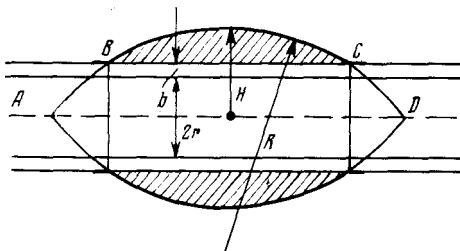


Рис. 1

ходит перетекание жидкости и скатывание крупных капель, достигших определенного, критического размера.

При дальнейшей работе фильтра или подаче большого количества тумана происходит накопление жидкости на волокне в виде вторичных крупных капель, расположенных на малых расстояниях друг от друга, наподобие бус. Периодическое освобождение волокна от таких капель происходит под действием силы тяжести или напора газа.

Если вес капли становится соизмерим с силой сцепления с волокном, то под действием силы тяжести она скатывается по волокну, захватывая на своем пути все сидящие на нем капли. Рост вторичных капель происходит преимущественно за счет жидкости, содержащейся в частицах тумана, уловленных волокном, свободным от вторичных капель, так как эффективность захвата частиц тумана тонкими волокнами много больше, чем для крупных капель.

Перетекание жидкости по волокну происходит и тогда, когда на фильтр не поступает туман и поток газа. При малых концентрациях тумана на относительно толстых волокнах образовавшееся небольшое количество капель остается без изменения в течение длительного времени, так как осаждающаяся жидкость успевает мигрировать по волокну в локальные места фильтра.

Если в какой-то момент времени, когда на волокне уже образовались капли, прекратить подачу тумана и наблюдать в микроскоп за волокном, то можно заметить, что некоторые капли постепенно уменьшаются в размерах, в то время как другие, более крупные увеличиваются. Так как эксперименты проводили с труднолетучими жидкостями, изотермическая перегонка практически отсутствовала. Перетекание жидкости из малых капель в крупные происходит вследствие различия внутреннего давления жидкости в каплях, которое увеличивается с уменьшением размера капли и может быть описано уравнением:

$$dV/dt = KP/l, \quad (1)$$

где dV/dt изменение объема капли со временем, P — внутреннее давление

в капле, l — расстояние, на которое перетекает жидкость, K — коэффициент пропорциональности.

Внутреннее давление в капле может быть записано:

$$P = \sigma \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{H} \right), \quad (2)$$

где σ — поверхностное натяжение капли, R и H главные радиусы кривизны капли. Капля может быть представлена в виде фигуры, полученной при вращении сегмента вокруг оси волокна, рис. 1.

Подставив значение P из (2) в (1) и проинтегрировав изменение объема капли за время dt , получим:

$$v_t = \frac{K\sigma}{l} \int_0^t \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{H} \right) dt.$$

Зная объем капли в момент времени t и вычислив значение интеграла $\int_0^t \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{H} \right) dt$, можно определить $K\sigma$ константу, характеризующую скорость миграции жидкости.

Объем тела, полученный при вращении сегмента (рис. 1, $ABCD$) вокруг оси волокна AD , минус объем тела, полученного при вращении дуг AB и CD и минус объем волокна, на котором сидит капля, будет:

$$v_t = \frac{2}{3} \pi \sqrt{R^2 - [(R-H) + (r+h)]^2} \left\{ 2R^2 + (R+H)^2 - (R-H)(r+h) - 2(r+h)^2 - 2\pi R^2 (R-H) \arcsin \frac{1}{R} \sqrt{R^2 - [(R-H) + (r+h)]^2} \right\}.$$

Интеграл $\int_0^t \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{H} \right) dt$ определялся графически. Для этого, начиная с момента времени t через определенные промежутки времени производилось фотографирование капли, по мере уменьшения (или увеличения) ее объема вплоть до полного исчезновения. По серии снимков измерялись R и H и строилась кривая зависимости $1/R + 1/H$ от t . Площадь, ограниченная полученной кривой и абсциссой t , давала значение интеграла. Константу скорости миграции рассчитывали по формуле:

$$K\sigma = v_t / \left(\frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} \right) \int_0^t \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{H} \right) dt,$$

l_1 и l_2 — расстояния между каплями, перекрестиями или концами волокон. При расчете делалось допущение, что поверхностное натяжение остается постоянным по всей поверхности капли и не меняется со временем. Толщину устойчивого слоя жидкости на волокне h , по которому происходит перетекание (миграция жидкости), принимали равной $4 \cdot 10^{-6}$ см (¹).

Таким образом была определена величина $K\sigma$ для различных систем жидкость — твердое тело, а также для одной и той же системы в зависимости от радиуса волокна. Результаты опытов приведены в табл. 1.

Эти результаты показывают, что величина $K\sigma$ зависит от природы жидкости и волокна и может отличаться на 1,5—2 порядка. Так, на перхлорвиниле перетекание силиконового масла происходит значительно быстрее, чем на стекле, капли же по времени живут в десятки раз дольше для соизмеримых по толщине стеклянных волокон.

Увеличение радиуса волокна перхлорвинила с 0,11 до 0,73 μ дает возрастание $K\sigma$ на 4 порядка для гидрооксихлорида титана. Для волокон асбеста увеличение радиуса с 0,03 до 0,63 μ дает изменение K почти на 6 порядков.

Таблица 1

Радиус волокна, μ	Жидкость	$K\sigma$	Пределы изменения $K\sigma$
Перхлорвиниловые волокна			
0,11—0,73	Гидрооксихлорид титана	$1,4 \cdot 10^{-23}$ — $4,4 \cdot 10^{-19}$	$(7,5 \div 10,25) \cdot 10^{-20}$
0,6	То же	ср. $8,31 \cdot 10^{-21}$	$(0,36 \div 12,9) \cdot 10^{-21}$
0,28	75% водный раствор глицерина	ср. $1,92 \cdot 10^{-21}$	
0,9	Силиконовое масло	$16,6 \cdot 10^{-18}$	
1,0	»	$2,53 \cdot 10^{-18}$	
Стекловолокно			
0,9	Силиконовое масло	ср. $1,64 \cdot 10^{-20}$	$(1,53 \div 1,74) \cdot 10^{-20}$
1,0	»	$7,1 \cdot 10^{-20}$	
Асбестовое волокно			
0,03—0,63	Масло	$2 \cdot 10^{-25}$ — $9,6 \cdot 10^{-20}$	
0,28	75% водный раствор глицерина	ср. $3,22 \cdot 10^{-22}$	$(0,04 \div 7,6) \cdot 10^{-22}$
0,65	То же	ср. $4,97 \cdot 10^{-20}$	$(0,33 \div 18,7) \cdot 10^{-20}$
0,155	Гидрооксихлорид титана	$5,84 \cdot 10^{-23}$	
0,118	Трикрезилфосфат	$5,67 \cdot 10^{-22}$	
0,148	5% раствор NaCl в 75% водном растворе глицерина	ср. $1,0 \cdot 10^{-22}$	$(0,042 \div 3,75) \cdot 10^{-22}$
0,206	То же	ср. $1,56 \cdot 10^{-22}$	$(0,22 \div 2,5) \cdot 10^{-22}$
0,28	»	ср. $1,57 \cdot 10^{-24}$	$(0,43 \div 4,14) \cdot 10^{-24}$
0,65	»	ср. $0,907 \cdot 10^{-20}$	$(0,09 \div 1,89) \cdot 10^{-20}$

Различие в величине K в пределах одного порядка может быть вызвано недостаточной точностью замера кривизны поверхности капли, проводившегося графически по фотоснимкам. Кроме того, для определения величины K измеряли изменение капель различного диаметра, что также сказывалось на результатах, вследствие различия в величине внутреннего давления. Некоторое влияние на K оказывает и различие в вязкости жидкостей: в тонких слоях вязкость может отличаться от нормальной в несколько раз, но это влияние невелико.

Полученные результаты показали также, что с увеличением радиуса волокна возрастает толщина устойчивого слоя жидкости на волокне между крупными вторичными каплями, по которым происходит движение жидкости.

Физико-химический институт
им. Л. Я. Карпова
Москва

Поступило
13 IX 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ И. В. Петрянов, Н. Д. Розенблюм, ДАН, 61, № 4, 661 (1948). ² Б. Ф. Садовский, Г. И. Баберкина и др., Зав. лаб., 35, № 4 (1969).