

А. И. ЕРШОВ, Е. Д. ЕЛЬКИНА

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ НА ГИДРОДИНАМИКУ ОСЕВОГО ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА В КОНТАКТНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

В процессах химической технологии при взаимодействии между газом (паром) и жидкостью используются аппараты, в которых газ, движущийся по центру канала, контактирует с пленкой жидкости, текущей по стенке.

Контактные элементы многих существующих промышленных и вновь создаваемых пленочных аппаратов представляют собой круглые трубки разной длины [1, 2]. В зависимости от направления материальных потоков они могут быть противоточные и прямоточные. Причем прямоток возможен как при нисходящем, так и при восходящем движении фаз.

На практике очень важно знать условия перехода из одного режима в другой, однако аналитическое решение данной задачи на современном этапе не представляется возможным.

По имеющимся литературным данным [3—8], средняя скорость газа, при которой происходит инверсия движения жидкой пленки, колеблется в пределах $7 \div 15$ м/сек. Наличие такого большого диапазона скоростей газа и отсутствие обоснованных инженерных методов определения границ существования устойчивых режимов противотока и восходящего прямотока при пленочном течении жидкости явились причиной постановки новых исследований.

В настоящей работе приводятся сведения по изучению гидродинамики осевого двухфазного потока в коротких круглых трубах при противотоке и восходящем прямотоке.

В первом приближении при установившемся режиме пленка жидкости движется по стенке под действием силы тяжести самой жидкости и сил трения. От соотношения названных сил должно зависеть направление движения пленки. Противоточное движение фаз возможно тогда, когда сила тяжести жидкости превышает силу трения на границе газ — жидкость и жидкость — стенка. Когда же сила трения между газом и жидкостью превышает силу трения между жидкостью и стенкой и силу тяжести, наступает прямоточное движение фаз — восходящий прямоток.

Гидродинамическая картина двухфазного потока в действительности сложнее и зависит от большего числа факторов, судя по результатам экспериментальных исследований, проведенных нами на специальной установке, схема которой представлена на рис. 1. Основным элементом установки являлась прозрачная контактная трубка, состоящая из двух частей, расположенных вертикально одна над другой. Размеры трубок соответствовали нормализованным трубам, наиболее распространенным в химической технике. Их характеристика приведена в табл. 1.

В качестве газобразной фазы служил воздух, а в качестве жидкой — вода, глицерин, этанол и вода с добавками ПАВ.

Жидкость в экспериментальную трубку вводилась через кольцевую щель, образованную торцами ее верхней и нижней частей.

Согласно опытным данным, при отсутствии встречного потока газа вся жидкость стекает в виде пленки по нижней части трубки. С подачей газа характер течения пленки претерпевает изменения (это лучше всего наблюдалось при течении высоковязкой жидкости — глицерина).

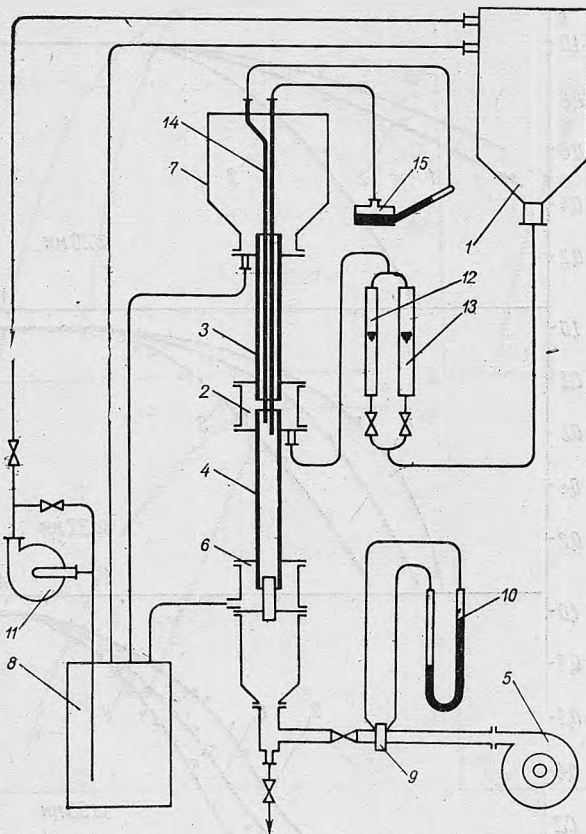


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1—напорный бак; 2—питающая камера; 3—верхняя часть трубки; 4—нижняя часть трубки; 5—воздуходувка; 6—приемная камера; 7—сепаратор; 8—сборник; 9—диафрагма; 10—дифманометр; 11—насос; 12—ротаметр РС-3; 13—ротаметр РС-5; 14—импульсная трубка; 15—микроманометр

Таблица 1

Характеристика опытных контактных трубок

Внутренний диаметр трубки, мм	Длина верхней части трубки, мм	Длина нижней части трубки, мм
20	200	120
32	250	200
50	300	300

При небольших расходах газа на поверхности пленки возникают волны, которые перемещаются в направлении движения жидкости. Постепенно с увеличением расхода газа скорость перемещения волн уменьшается и наступает момент, когда волны останавливаются, хотя жидкость по-

прежнему течет вниз. Затем волны начинают двигаться вверх, в сторону движения газового потока, вслед за этим и жидкость увлекается газом в верхнюю часть трубки. Причем вверх увлекается только часть жидкости, а остальная жидкость течет вниз. Движение жидкости в верхней части трубки носит сложный пульсирующий характер, режим движения потока близок к пробковому. Выброс жидкости из трубки в

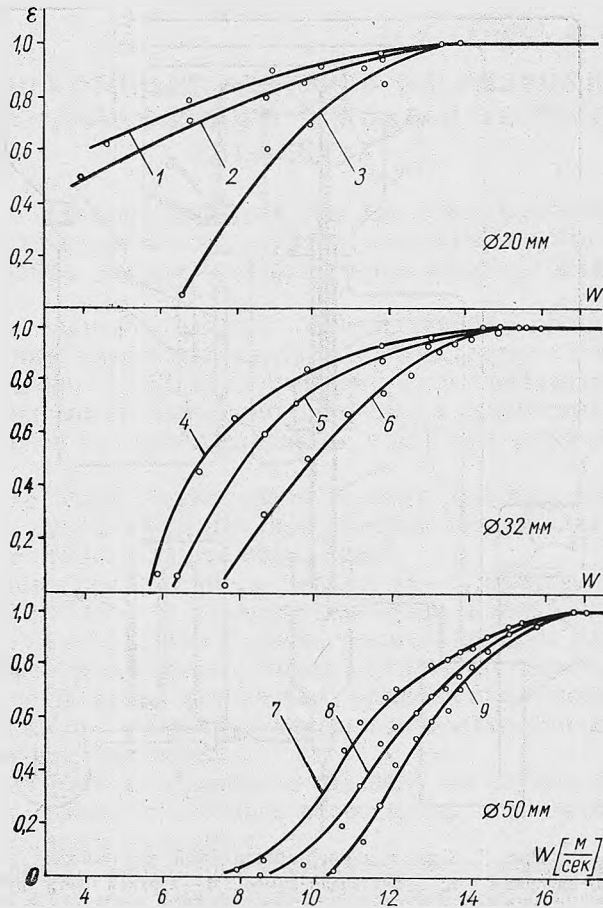


Рис. 2. Зависимость доли жидкости E , увлекаемой газом вверх, от скорости газа W при различных плотностях орошения q (система воздух — вода):

1—2,15 $\text{см}^2/\text{сек}$; 2—1,5 $\text{см}^2/\text{сек}$; 3—0,286 $\text{см}^2/\text{сек}$; 4—2,58 $\text{см}^2/\text{сек}$;
5—2,11 $\text{см}^2/\text{сек}$; 6—1,64 $\text{см}^2/\text{сек}$; 7—2,515 $\text{см}^2/\text{сек}$; 8—2,06 $\text{см}^2/\text{сек}$;
9—1,57 $\text{см}^2/\text{сек}$

сепаратор происходит отдельными порциями. С увеличением скорости газа частота выбросов увеличивается. Пленочное течение жидкости в верхней части трубки начинается при скоростях газа, превышающих скорость, соответствующую увлечению всей жидкости в верхнюю часть трубки.

Таким образом, между устойчивым противотоком и устойчивым восходящим прямотоком существует область неустойчивого течения жидкости, когда часть ее движется в противотоке с газом в виде пленки вниз, а другая часть увлекается потоком газа вверх.

На рис. 2, 3, 4 представлена графическая зависимость доли жидко-

сти, увлекаемой вверх, от скорости газа при различных плотностях орошения (расход жидкости, приходящийся на единицу периметра трубки) для разных систем. Из графиков следует, что при большей плотности орошения увлечение жидкости вверх начинается при меньшей скорости газа, так как с увеличением орошения растут толщина плен-

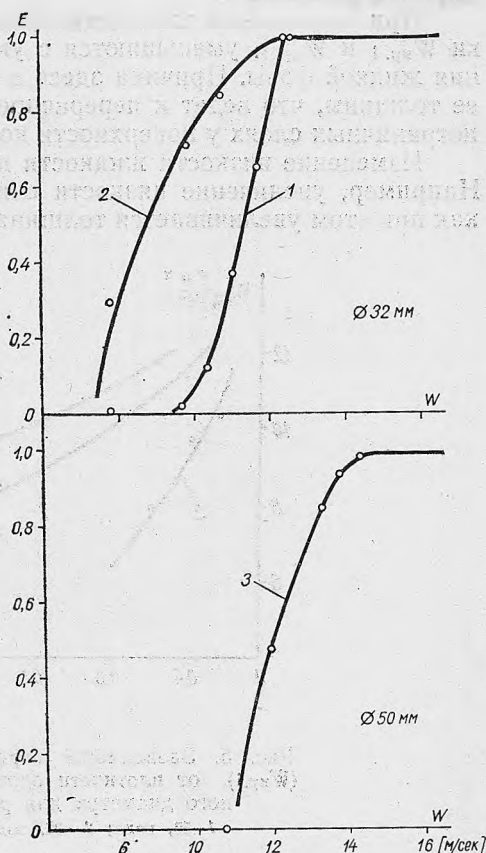
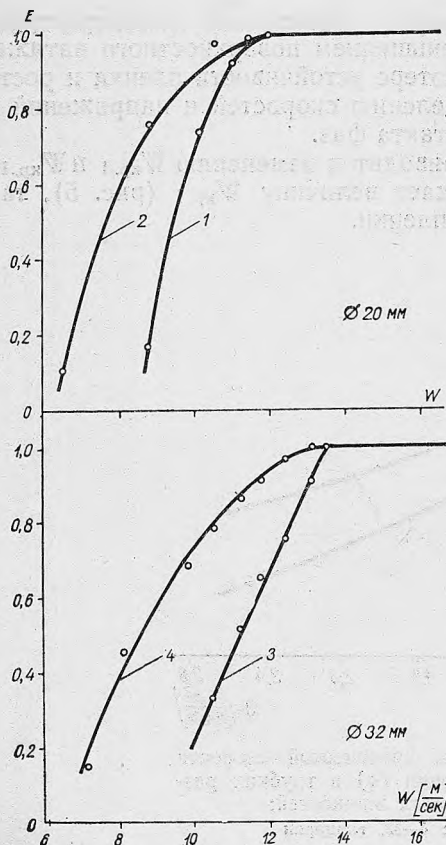


Рис. 3. Зависимость доли жидкости E , увлекаемой газом вверх, от скорости газа W при различных плотностях орошения q (система воздух — вода + ПАВ):
 1 — $0,91 \text{ см}^2/\text{сек}$; 2 — $1,3 \text{ см}^2/\text{сек}$; 3 — $0,82 \text{ см}^2/\text{сек}$; 4 — $1,8 \text{ см}^2/\text{сек}$

Рис. 4. Зависимость доли жидкости E , увлекаемой газом вверх, от скорости газа W при различных плотностях орошения (система воздух — этанол):
 1 — $0,144 \text{ см}^2/\text{сек}$; 2 — $0,878 \text{ см}^2/\text{сек}$; 3 — $0,186 \text{ см}^2/\text{сек}$.

ки и скорость жидкости, а увеличение последней повышает напряжение трения на границе раздела фаз. Увлечение всей жидкости происходит при постоянной для определенного диаметра скорости газа, поскольку в нижней части трубки развивается такое давление, когда жидкость вытесняется газом.

Установлено также, что для каждой из указанных систем при одинаковой плотности орошения в трубках разного диаметра скорость газа, соответствующая началу увлечения жидкости вверх (первая критическая скорость $W_{кр. I}$), и скорость газа, соответствующая увлечению всей жидкости вверх (вторая критическая скорость $W_{кр. II}$), меньше в трубках меньшего диаметра. Это явление можно объяснить следующим образом. При турбулентном режиме газового потока толщина ламина-

нарного подслоя меньше в трубках меньшего диаметра. Следовательно, одинаковые касательные напряжения на границе газ — жидкость будут достигнуты в трубках меньшего диаметра при меньших скоростях газа.

Величины первой и второй критических скоростей являются также функциями физических свойств соприкасающихся сред, что подтверждается рис. 2, 3, 4.

При одинаковой плотности орошения и одинаковом диаметре трубки $W_{кр. I}$ и $W_{кр. II}$ уменьшаются с уменьшением поверхностного натяжения жидкой фазы. Причина здесь в потере устойчивости пленки и росте ее толщины, что ведет к перераспределению скоростей и напряжений в пограничных слоях у поверхности контакта фаз.

Изменение вязкости жидкости приводит к изменению $W_{кр. I}$ и $W_{кр. II}$. Например, увеличение вязкости снижает величину $W_{кр. I}$ (рис. 5), так как при этом увеличивается толщина пленки.

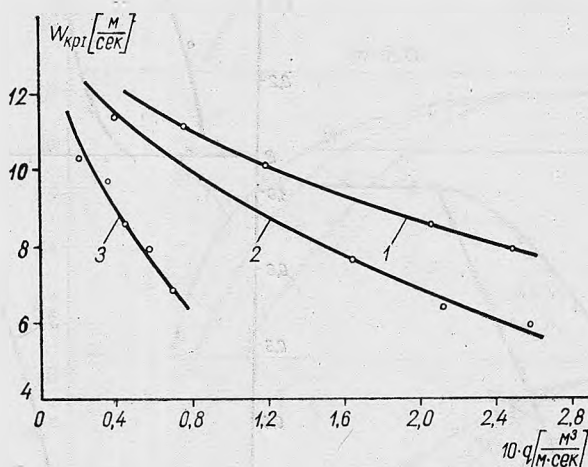


Рис. 5. Зависимость первой критической скорости ($W_{кр. I}$) от плотности орошения (q) в трубках разного диаметра для разных жидкостей:

1—50, вода; 2—32, вода; 3—32, глицерин

О влиянии вязкости жидкости на $W_{кр. II}$ сведений получено пока недостаточно, так как при работе на системе глицерин — воздух менялась не только вязкость, но и плотность, и поверхностное натяжение.

Выводы

1. Установлено, что между устойчивым противотоком и устойчивым восходящим прямоходом в пленочных контактных устройствах существует область неустойчивого течения жидкости, когда часть ее увлекается газом вверх, а другая часть продолжает стекать вниз в виде пленки.

2. Величина скорости, соответствующей началу увлечения жидкости газом вверх (первая критическая скорость), зависит от плотности орошения, диаметра трубы, физических свойств жидкости и условий ввода газа и жидкости.

3. Величина скорости, соответствующей увлечению всей жидкости вверх (вторая критическая скорость), зависит от диаметра трубки, физических свойств фаз и не зависит от плотности орошения.

Литература

- [1] П. А. Семенов. Авт. свид. № 118487. Бюлл. изобр., 6 (1959). [2] М. А. Берковский, А. И. Скобло и др. Химия и технология топлив и масел, 5, 41 (1966). [3] П. А. Семенов. ЖТФ, 14, 7—8 (1944). [4] П. А. Семенов. ЖТФ, 20, 8 (1950). [5] Б. И. Конобеев, В. А. Малюсов, Н. М. Жаворонков. Хим. пром., 3, 38 (1957). [6] Б. И. Конобеев. Автореф. канд. дисс. М., 1958. [7] Л. Я. Живайкин. Хим. маш., 6, 25 (1961). [8] В. М. Рамм. Абсорбция газов. М., 1967.