

Б. Г. ХОЛИН

О ВЛИЯНИИ ФОРМЫ РЕГУЛЯРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ
ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОЙ СТРУИ НА ЕЕ РАСПАД НА КАПЛИ

(Представлено академиком Л. И. Седовым 25 II 1970)

Распад тонких ламинарных или слегка турбулентных струй мало-вязкой жидкости на капли обусловлен статической неустойчивостью жидкого цилиндра, подверженного действию силы поверхностного натяжения и случайных или регулярных возмущений, накладываемых на поверхность жидкой струи (¹).

При естественном распаде жидкой струи случайный характер возмущений приводит к ее распаду с образованием дискретного ряда капель (²). При этом, в соответствии с теорией Рэлея, образуется максимальное количество капель, объем которых близок к величине объема участка невозмущенной струи длиной $4,51 d_{стр}$. Наложение регулярных возмущений на поверхность струи приводит к ее распаду на равномерные капли (³).

При каплеобразовании, наряду с образованием основных капель, в местах перетяжек струи образуется большое количество значительно меньших по размеру капель (³). Эти микрокапли, называемые еще спутниками или шариками Плато, являются основным источником потерь ценных продуктов и вредных выбросов аэрозольных частиц в атмосферу при гранулировании азотных удобрений, распылении жидкостей и при ряде других технологических процессов.

В результате проведенных ранее исследований удалось установить, что распад струи плава аммиачной селитры на капли при наложении регулярных возмущений определенной частоты за счет импульсов давления от колеблющейся мембраны может происходить с получением строго равномерных гранул (капель) (⁴).

В данной работе исследованы условия регулярного распада струй жидкости на равномерные капли без образования спутников при возмущении поверхности струй за счет регулярного изменения скорости истечения жидкости из отверстий. Регулярное изменение скорости истечения жидкости осуществлялось путем распространения в ней импульсов давления от колеблющейся мембраны (⁵). Использовались отверстия истечения диаметром от 0,5 до 1,2 мм при напоре жидкости от 0,08 до 1,2 м. Частота колебаний мембраны от 80 до 1200 гц.

В качестве рабочей жидкости использовалась вода при 16° и плава аммиачной селитры при 174°. При исследованиях использовались установленные ранее пределы эффективных частот колебаний мембраны

$$\nu = V / (3,5 \div 8)_{отв. \varepsilon},$$

а диаметр получаемых капель соответствовал диаметру, рассчитанному по уравнению (⁶)

$$d = \sqrt[3]{3d_{отв}^2 \varepsilon V / 2\nu},$$

где ν — частота колебаний мембраны; V — скорость истечения струи жидкости; $d_{отв}$ — диаметр отверстия истечения; ε — коэффициент сжатия струи; d — диаметр образующихся капель.

Исследовалось истечение жидкости из отверстий в тонкой стенке и из стеклянных сопел. Наблюдения проводились визуально с помощью стробоскопа СТ-5, все особенно интересные случаи фотографировались. Кроме того, получаемые капли аммиачной селитры кристаллизовались на вращающемся алюминиевом диске, после чего определялся их диаметр и наличие спутников.



Рис. 1. Регулярное дробление горизонтальной струи жидкости с образованием спутников при симметричных возмущениях поверхности. Частота импульсов давления 1285 гц; напор 1,22 м; диаметр отверстия $1 \cdot 10^{-3}$ м

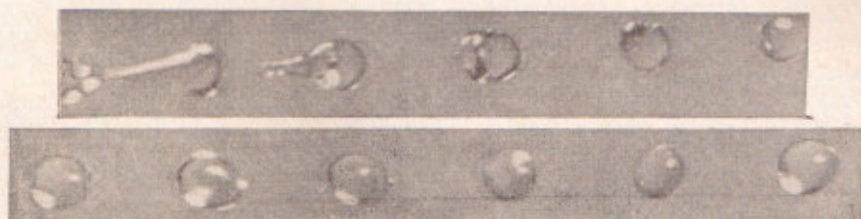


Рис. 2. Регулярное дробление горизонтальной струи жидкости без образования спутников при асимметричных возмущениях поверхности. Частота импульсов давления 584 гц; напор 0,54 м; диаметр отверстия $1,2 \cdot 10^{-3}$ м

В результате исследований установлено, что при регулярном распаде струи жидкости на капли при использовании регулярных импульсов давления могут быть получены равномерные капли как без спутников, так и со спутниками.

При удельной мощности излучателя импульсов давления (использовался электродинамический мембранный излучатель) порядка 50 вт на 1 м^2 перфорированной поверхности на струе образуются едва заметные начальные перетяжки, которые затем сужаются при почти полном сохранении симметрии. При этом в местах перетяжек образуются микрокапли-спутники (рис. 1). Размер спутников увеличивается с увеличением длины волны начальных возмущений.

При увеличении удельной мощности излучателя импульсов давления до величины порядка 360 вт на 1 м^2 перфорированной поверхности конфигурация начальных перетяжек меняется. Они приобретают явно выраженную асимметричную форму относительно плоскости перпендикулярной оси струи. Капли в момент распада струи имеют грушевидную форму, обращенную острым концом к отверстию истечения. После распада струи на капли заостренный конец за время порядка $\frac{1}{500}$ сек. втягивается в каплю за счет силы поверхностного натяжения жидкости. Если мембрана излучает при этом регулярные акустические колебания без наложения шумов, струя дробится на равномерные капли без образования спутников (см. рис. 2).

Наличие шумов (из-за некачественного крепления мембраны или по другим причинам) способствует образованию спутников. Почти регулярно образуются спутники и при естественном распаде струй жидкости на капли (рис. 3).

При наблюдении движения спутников, образовавшихся при регулярном дроблении струй на капли, было отмечено три варианта их движе-

ния. При первом варианте образовавшиеся в местах перетяжек спутники сразу удалялись от основных капель со скоростью 0,5—1,5 м/сек, следуя примерно по одной траектории. При втором варианте образовавшиеся спутники приближаются к основным каплям и поглощаются ими. Образование микробрызг не происходит. При третьем варианте образовавшиеся спутники ударяются об основную каплю и после удара не сливаются с ней, а отскакивают от нее, не меняя своего размера.



Рис. 3. Естественный распад струи жидкости на капли. Напор 0,54 м; диаметр отверстия $1 \cdot 10^{-3}$ м

Удаление спутников от основных капель и их слияние можно объяснить электрическими явлениями. Когда капля и спутник имеют разномименный заряд, они сливаются.

Отсутствие спутников при указанной грушевидной форме разрыва струи жидкости на капли можно объяснить близостью места образования спутника от основной капли, что усиливает электростатическое взаимодействие спутника и капли и способствует их слиянию. Кроме того, при грушевидной форме капли вообще затрудняются условия образования спутника.

Образование грушевидной формы капли в момент ее отрыва от струи обусловлено разностью скоростей частиц жидкости внутри струи, а затем внутри капли вследствие периодического изменения скорости истечения жидкости из отверстия или сопла.

Наиболее легко управлять этим процессом при наложении регулярных возмущений на поверхность струи за счет периодического изменения давления перед отверстием истечения. Меняя закон периодического изменения давления, можно усилить или уменьшить грушевидность, и таким образом управлять процессом каплеобразования.

Регулярное дробление струи жидкости на капли можно осуществить, накладывая возмущения на струю жидкости другими способами, например, путем крутильных колебаний осесимметричной перфорированной поверхности. Однако и в этом случае количество спутников будет минимальным при грушевидной форме капли в момент ее отрыва, что обусловлено указанными выше причинами.

Отскакивание спутников после удара об основную каплю можно объяснить поверхностными явлениями вследствие наличия в жидкостях примесей или попадания примесей из окружающей атмосферы.

Использование установленных закономерностей регулируемого распада струи жидкости на капли позволяет ликвидировать или резко уменьшить потери ценных продуктов и аэрозольные выбросы в атмосферу в ряде производств.

Сумский филиал
Харьковского политехнического института
им. В. И. Ленина

Поступило
20 II 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Р. Рэлей, Теория звука, 2, М., 1955. ² В. И. Блинов, О дисперсности механически распыленной воды, М., 1931. ³ Б. Г. Холін, Хім. пром., № 3, 40, Київ (1960).
⁴ Б. Г. Холін, Диссертация, Харьковск. политехи. инст. им. В. И. Ленина, 1965.