

01;03;11

©1995

К ВОПРОСУ О СВЕРХБЫСТРОМ РАСПРОСТРАНЕНИИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПО ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ

И.Н.Алиев

В связи с участвовавшими в последнее время экологическими катастрофами и связанными с ними загрязнениями поверхностей водоемов, вновь усилился интерес к задаче, сформулированной еще Б. Франклином [1], о природе сверхбыстрого поверхностного загрязнения жидкости, которая не имеет объяснения до настоящего времени. В предыдущей работе [2] была представлена модель, объясняющая природу этого явления.

Различного рода загрязнения существуют обыкновенно в виде примесей и распространяются в природе потоками газов и жидкостей или путем диффузии. Если потоки отсутствуют, то типичное значение коэффициента диффузии молекул в воде порядка 10^{-6} см²/с. Это означает, что смещение на 1 см происходит за время 10^3 с. Однако в природе существует одна уникальная возможность, когда загрязняющие вещества в той же жидкой фазе распространяются со скоростью, соизмеримой со скоростью звука. Речь идет о распространении по поверхности жидкости так называемых поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые понижают поверхностное натяжение жидкости. Если пленка ПАВ не закрывает всего зеркала жидкости, то можно выделить три силы, действующие по ее краю и совпадающие с соответствующими значениями поверхностного натяжения: вдоль поверхности жидкость-газ, направленной от пленки и вдоль поверхностей жидкость-пленка и пленка-газ, направленных вдоль поля пленки. Для ПАВ справедлива ситуация, когда первая сила превышает две другие. В результате рождается вихревой поток, ось которого параллельна краю пленки; в своем движении он растягивает пленку ПАВ и обеспечивает ее быстрое перемещение по поверхности жидкости. В работе [2] подобный вихрь назван лидером. Скорость движения лидера определяется по формуле [3] $v \sim \frac{\Delta\gamma}{\eta}$ ($\Delta\gamma$ — разность между поверхностным натяжением на свободной поверхности и суммой поверхностных натяжений на границах пленки с газом и жидкостью, η максимальное из значений вязкости пленки и жидкости). Так, для воды типичное

значение $\Delta\gamma \sim 50 \text{ Г/с}^2$, $\eta \sim 0.1 \text{ Г/см}\cdot\text{с}$, в результате имеем $v \sim 500 \text{ см/с}$. Поперечный диаметр лидера определяется следующей оценкой $d_1 \sim \frac{\eta^2}{\rho\Delta\gamma}$ (ρ — плотность жидкости). Для тех же значений величина d_1 оценивается в несколько микрон.

Формула, оценивающая диаметр лидера, применима только для малых скоростей, т. е. малых $\Delta\gamma$. Действительно, характерное время движения оценивается отношением $\Delta t \sim \frac{d}{v}$ (для приведенных выше данных $\Delta t \sim 10^{-7} \text{ с}$). С другой стороны, для реальных жидкостей характерна вязкоупругость, т. е. твердоугольное поведение при сдвиге, в течении с характерным временем релаксации τ , — при больших временах сдвиговые напряжения “рассасываются” и жидкость течет [4]. Экспериментально установлено, что для многих жидкостей в нормальных условиях (в частности, для воды) $\tau \sim 10^{-5} \text{ с}$. Если $\Delta t \ll \tau$, то лидер вовлекает в вихревое движение жидкость в трубке большего диаметра $d_2 \sim v\tau \sim \frac{\tau\Delta\gamma}{\eta}$, в то время как внутренняя часть этого лидера ведет себя как изотропное твердое тело, по поверхности которого течет жидкость (для воды $d_2 \sim 0.1 \text{ мм}$). Таким образом, учет вязкоупругого поведения жидкости показывает, что имеет место существенное увеличение диаметра вихревой трубки лидера, растягивающего пленку ПАВ по поверхности жидкости. Скорость распространения ПАВ по поверхности при этом остается неизменной.

Приведенные соображения показывают, что пленки ПАВ могут растекаться по поверхности удивительно быстро. Если ПАВ являются загрязненными (например, содержат в своем составе радионуклиды), то данным механизмом реализуется сверхбыстрое загрязнение больших площадей.

Список литературы

- [1] Franklin B. // Phil. Trans. Rou. Soc., June, 2-nd, 1774, p. 144. Русск. пер. в кн. Джейксон М., Парфит Дж. Химия поверхностей раздела фаз. М.: Мир, 1984.
- [2] Алиев И.Н., Полуэктов П.П. Тез. докл. 1 междунар. симп. “Физические проблемы экологии”. Ижевск, июнь 1992. С. 61.
- [3] Алиев И.Н. Исследование поверхностной электродинамики проводящей жидкости. Автореф. канд. дис.: 01.02.05. М., 1989. 14 с.
- [4] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. М.: Наука, 1987. 244 с.

Московский государственный
технический университет
им. Н.Э. Баумана

Поступило в Редакцию
13 октября 1994 г.