

УДК 532.606

ГИДРОДИНАМИКА

С. М. Исаакян, член-корреспондент АН Армянской ССР С. Г. Матинян

Поверхностные эффекты в вихреобразовании

(Представлено 9/VIII 1985)

Несмотря на то, что природа вихреобразования привлекала многие годы большое число исследователей начиная с Гельмгольца и Рэлея, она до сих пор не понята окончательно. Вместе с тем многочисленные исследования позволяют думать, что причиной образования вихрей в несжимаемой жидкости является взаимодействие жидкости с границами (как твердыми, так и жидкими и даже в виде газовой среды). При этом не последнюю роль здесь должны играть эффекты, связанные с разностью давлений, вызываемой свойствами жидкости иметь поверхностное натяжение.

В настоящей работе рассмотрена роль поверхностного натяжения в образовании вихря. Для максимального упрощения задачи рассматривается движение невязкой, несжимаемой жидкости, находящейся в относительном движении с границей.

Считая, естественно, что изменение циркуляции скорости жидкости по замкнутому контуру  $s$  есть условие образования вихря, будем иметь для неменяющегося во времени контура

$$\frac{d\Gamma}{dt} = \oint_s \frac{d\vec{v}}{dt} ds. \quad (1)$$

Если жидкость находится под действием потенциальных массовых сил, то с помощью уравнений Эйлера получим

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = - \oint_s \frac{1}{\rho} \text{grad } p ds, \quad (2)$$

где  $\rho$  — плотность, а  $p$  — давление жидкости.

Очевидно, что  $\frac{d\Gamma}{dt} \neq 0$ , если только стоящая под интегралом величина испытывает скачок на контуре.

Одной из причин этого скачка является поверхностное натяжение на границе, которое вызывает конечный скачок давления  $p_1 - p_2$  на границе раздела двух несмешивающихся сред.

Величина этого скачка по направлению нормали к границе определяется известной формулой Лапласа (1)

$$p_1 - p_2 = T \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (3)$$

выражающей его величину через поверхностное натяжение, действующее по касательной к контуру, где  $R_1$  и  $R_2$ —главные радиусы кривизны контактной поверхности.

Заменив в (2) градиент давления скачком давления ( $p_1 - p_2$ ) (3), связанным с поверхностным натяжением на единице длины кон-

тура,  $\nabla p = \frac{p_1 - p_2}{2\pi R}$ , получим

$$\frac{d\Gamma}{dt} = -\frac{1}{2\pi\rho R} \oint_s T \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) ds. \quad (4)$$

Поверхностное натяжение можно определять, например, с помощью зависимости, предложенной в (2).

Применим (4) к случаю движения цилиндрической струи несжимаемой жидкости с учетом действия силы поверхностного натяжения на цилиндрических границах.



Рис. 1. Фото оставшей струи жидкого стекла

Эксперименты явно показывают (2,4), что в такой струе образуются два проти воположных вихревых шнура (рис. 1, 2).

С учетом этого факта, применяя (4) для цилиндра радиуса  $R$ , получим

$$\frac{d\Gamma}{dt} = -\frac{1}{2\pi\rho R^2} \left[ \oint_1 T ds + \oint_2 T ds \right], \quad (5)$$

где 1 означает контур  $АБВА$ , 2—контур  $ГДЕГ$  (рис. 3), охватывающие два указанных вихревых шнура, а  $ds = R d\theta$ .

В результате находим искомую зависимость вихреобразования от плотности жидкости, коэффициента поверхностного натяжения и радиуса цилиндра

$$\frac{d\Gamma}{dt} = -\frac{\Gamma}{\rho R}. \quad (6)$$

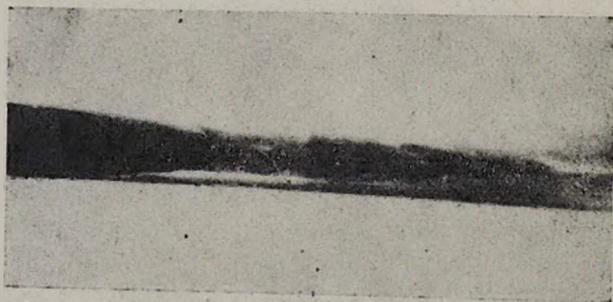


Рис. 2. Фото окрашенной воды в цилиндрической струе

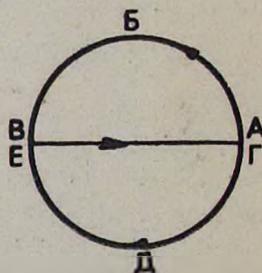


Рис. 3. Контур интегрирования в поперечном сечении цилиндрической струи

Մակերևութային եֆեկտները մրրիկների առաջացման մեջ

Մրրիկների առաջացման գնուլթն առալթմ վերջնականորեն չի բացահայտված: Միևնուլն ժամանակ բազմաթիվ ուսումնասիրութլուճները թուլլատրում են նկատել, որ սահմանափակ տիրուլթներում մրրիկներն առաջանում են հեղուկի և պատերի ուժալին փոխազդեցութլան հետևանքով: Այդ փոխազդեցութլան մեջ, ըստ երևուլթին, առաջնակարգ դեր են կատարում մակերևութալին լարվածութլան ուժերը, որոնք, համաձալն Լապլասի հալտնի (3) հավասարման, առաջացնում են ճնշման տարբերութլուն հեղուկի սահմանների վրա:

Օգտագործելով արագութլան ցիրկուլացիալի առաջացման հալտնի (1), (2), Լապլասի (3) հավասարումները, աշխատանքում ստացված է (4) առնչութլունը, որն արտահայտում է ցիրկուլացիալի առաջացման կապը մակերևութալին լարվածութլունից, հեղուկի խտութլունից, սահմանների ձևից և չափերից:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Կ Ի Լ Կ Ա Ն Ո Ւ Ք Ե Ո Ւ Ն

- <sup>1</sup> Л. Лифшиц, Е. Лифшиц, Механика сплошных сред, ГИТТЛ, М.—Л., 1944.  
<sup>2</sup> С. М. Исаакян, Арм. хим. журн., т. 28, № 5 (1975). <sup>3</sup> М. П. Калинушкин, Изв. АН СССР. Сер. ОТН, № 3, с. 359—366 (1952). <sup>4</sup> С. М. Исаакян, ДАН АрмССР, т. 50, № 1 (1970).