

### § 93. Кинематическое описание движения жидкости

1. Для описания движения жидкости можно поступить двояко. Можно проследить за движением *каждой индивидуальной частицы жидкости*, т. е. указать положение и скорость этой частицы в каждый момент времени. Тем самым будут определены и *траектории* всех частиц жидкости. Но можно поступить и иначе. Можно проследить, что происходит с течением времени в *каждой точке пространства*. Точнее, можно указать величины и направления скоростей различных частиц жидкости, которые в различные моменты времени проходят через одну и ту же точку пространства. Если взять всевозможные точки пространства, но фиксировать время  $t$ , то при втором способе описания в пространстве получится мгновенная картина распределения скоростей жидкости — *поле скоростей*.

В каждой точке пространства будет указан вектор скорости той частицы жидкости, которая проходит через эту точку в рассматриваемый момент времени. Линия, касательная к которой указывает направление скорости частицы жидкости, проходящей в рассматриваемый момент времени через точку касания, называется *линией тока*. Если поле скоростей, а следовательно, и соответствующие ему линии тока не меняются с течением

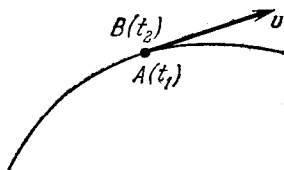


Рис. 237.

времени, то движение жидкости называется *стационарным* или *установившимся*. Если же они меняются во времени, то движение называется *нестационарным* или *неустановившимся*. В случае нестационарного движения при втором способе описания скорость жидкости явно зависит от координат и времени:  $\mathbf{v} = \mathbf{v}(\mathbf{r}, t)$ . При стационарном движении явной зависимости от времени нет, скорость зависит только от координат:  $\mathbf{v} = \mathbf{v}(\mathbf{r})$ .

2. В случае нестационарного движения линии тока, вообще говоря, не совпадают с траекториями частиц жидкости. Действительно, траектория указывает путь *одной и той же частицы* жидкости за все время ее движения. Линия же тока характеризует направления движения *бесконечного множества частиц*, которые в рассматриваемый момент находятся на этой линии. Только *при стационарном течении линии тока совпадают с траекториями частиц*. Для доказательства возьмем траекторию какой-либо произвольной частицы  $A$  (рис. 237). Пусть  $A(t_1)$  — положение этой частицы в момент времени  $t_1$ . Возьмем другую частицу  $B$ , которая в момент  $t_2$  занимает то же положение, что и частица  $A$  в момент  $t_1$ . Так как движение стационарно, то через точку  $A(t_1)$  частица  $A$  пройдет с той же скоростью, с какой пройдет через нее частица  $B$  в момент  $t_2$ . Значит, скорость частицы  $B$  в положении  $A(t_1)$  направлена по касательной к траектории частицы  $A$ . Так как момент

времени  $t_2$  можно выбрать произвольно, то отсюда следует, что траектория частицы  $A$  является также линией тока.

3. Возьмем произвольный замкнутый контур  $C$  и через каждую точку его в один и тот же момент времени проведем линии тока (рис. 238). Они расположатся на некоторой трубчатой поверхности, называемой *трубкой тока*. Так как скорости частиц жидкости направлены по касательным к линиям тока, то при течении жидкость не может пересекать боковую поверхность трубки тока. Трубка тока ведет себя подобно боковой поверхности жесткой трубки, вдоль которой течет жидкость. На такие трубки тока можно разбить все пространство, занимаемое жидкостью. Если поперечное сечение трубки тока бесконечно мало, то можно считать, что скорость жидкости одна и та же во всех точках одного и того же поперечного сечения и направлена вдоль оси трубки тока. Масса жидкости, протекающая за время  $dt$  через поперечное сечение трубки, определяется выражением



$$dm = \rho v S dt, \quad (93.1)$$

Рис. 238. где  $\rho$  — плотность жидкости, а  $S$  — площадь (нормального) поперечного сечения трубки.

В случае стационарного течения масса  $dm$  будет одной и той же для всех сечений трубки тока. Если взять два сечения, площади которых равны  $S_1$  и  $S_2$ , то можно написать

$$\rho_1 v_1 S_1 = \rho_2 v_2 S_2. \quad (93.2)$$

Если бы это равенство не соблюдалось, то масса жидкости между сечениями  $S_1$  и  $S_2$  изменялась бы во времени. А это противоречит закону сохранения массы и предположению о стационарности течения. Если жидкость несжимаема, то  $\rho_1 = \rho_2$ , и соотношение (93.2) принимает вид

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1}. \quad (93.3)$$

Скорость жидкости в одной и той же трубке тока тем больше, чем уже поперечное сечение трубки. Она обратно пропорциональна площади этого поперечного сечения.

## § 94. Стационарное движение идеальной жидкости. Уравнение Бернулли

1. Изучение движения реальных жидкостей и газов, вообще говоря, представляет очень сложную задачу. Для ее упрощения сначала полностью пренебрегают силами внутреннего трения. Рассматривают случай идеальной жидкости, в которой при любых движениях не возникают касательные и нормальные силы внутреннего