

$\delta/R=1/100$. В этом случае кривизна поверхности вносит поправку к толщине пленки в пределах 4—10%. Влияние кривизны поверхности на толщину пленки можно объяснить возникновением капиллярных сил, действующих по радиусу трубы.

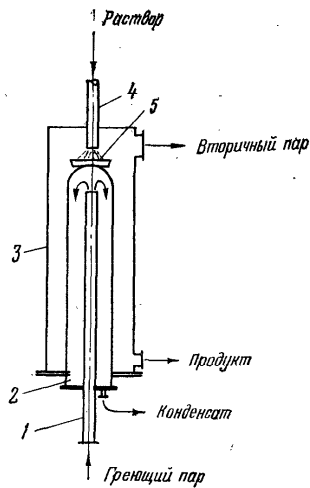


Рис. 1.3. Экспериментальный пленочный испаритель: 1 — труба греющего пара; 2 — внутренний стакан для пленочного испарения раствора; 3 — корпус; 4 — труба для подачи раствора; 5 — оросительное кольцо

Для течения жидкостных пленок в трубах при неизменных значениях плотности и вязкости в направлении оси z можно использовать уравнение Навье—Стокса

$$\rho \frac{\partial w}{\partial t} + \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = z - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right), \quad (1.35)$$

где $\rho \frac{\partial w}{\partial t}$ — сила, отнесенная к единице объема для получения неустойчивого потока; $u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z}$ — перенос момента жидкостью, протекающей через единицу площади поперечного сечения; z — внешняя сила — сила тяжести в вертикальном направлении; $\frac{\partial P}{\partial x}$ — градиент давления; $\mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)$ — сопротивление, возникающее при изменении объема из-за вязкости сил.

Анализируя уравнение (1.35), можно допустить, что левая часть уравнения крайне мала и ею можно пренебречь. Значение z также весьма мало. Величина $\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}$ остается равной нулю до тех пор, пока на частицу пленки не действует ускорение в направлении движения потока.

Таким образом, для устойчивого несжимаемого потока вертикальная составляющая скорости жидкости будет равна

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = - \frac{\rho g}{\mu}, \quad (1.36)$$

а для потока вдоль стенки трубы по оси

$$\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = - \frac{\rho g}{\mu}. \quad (1.37)$$

Сопоставляя формулу (1.16), полученную для течения жидкостной пленки по плоской вертикальной поверхности, с формулой (1.37) для течения пленки по вертикальной поверхности трубы можно заметить тождество величин.

В связи с этим для расчета гравитационного течения жидкостных пленок по внутренней или наружной поверхности трубы можно воспользоваться формулами, найденными для течения пленок по плоской вертикальной поверхности. В частности, скорость течения пленки определится как

$$\omega_x = \frac{g}{\nu} \left(y \delta - \frac{y^2}{2} \right) = \frac{g}{2\nu} \delta^2 = \frac{g}{2\nu} (R - r)^2, \quad (1.38)$$

где

$$r = R - \delta; \quad \delta = R - r.$$