

Истечение жидкостей из круглых отверстий и насадок в процессах и аппаратах химической технологии рассмотрено достаточно широко, но недостаточная изученность теории истечения жидкостей из отверстий прямоугольного сечения сдерживает расчет и развитие проектирования гидродинамических смесителей, для смешивания трудносмешиваемых и несмешивающихся жидкостей, в которых отверстия такого вида используются. Водосливом принято называть безнапорное отверстие (водосливное отверстие)- вырез, сделанный в гребне стенки, через который протекает жидкость. Часть стенки в пределах водосливного отверстия, через которую переливается жидкость, называется водосливной стенкой. Речные водосливы являются прототипом щелевых отверстий. Водосливы классифицируются по ряду признаков. В зависимости от геометрической формы водосливного отверстия различают: прямоугольные, треугольные, трапецеидальные, круговые, параболические, с наклонным гребнем. В зависимости от формы и размеров поперечного сечения водосливной стенки различают: водосливы с тонкой стенкой; в случае этих водосливов, струя воды переливающаяся через водосливную стенку, формируется под действием только верховой ее грани; остальные поверхности водосливной стенки не влияют на картину истечения; при наличии вертикальной стенки, водослив с тонкой стенкой имеет место, когда $b \leq (0.1-0.5)H$; водосливы с широким порогом, имеющие водосливную стенку любой высоты, гребень которой обычно представляет собой горизонтальную плоскость. В случае прямоугольных водосливов с широким порогом, толщина стенки лежит в пределах $2H \leq b \leq 8H$. водосливы со стенкой практического профиля. В зависимости от очертания гребня водосливной стенки в плане. различают водосливы с прямолинейным в плане гребнем: прямые (лобовые), косые, боковые. В зависимости от влияния нижнего бьефа на истечение. различают неподтопленные водосливы (Q и H не зависят от глубины h_p в нижнем бьефе), и подтопленные водосливы (Q и H зависят от глубины h_p в нижнем бьефе). В зависимости от соотношения b и B_0 (относится лишь к прямоугольным водосливам): водосливы без бокового сжатия, когда $b = B_0$ - водосливы с боковым сжатием, когда $b < B_0$ В зависимости от наклона водосливной стенки: водосливы с вертикальной стенкой; водосливы с наклонной стенкой; В зависимости от степени свободы доступа воздуха под струю жидкости, переливающуюся через водосливную стенку: водосливы со свободным истечением, со свободным доступом воздуха с боков в пространство под струю (или воды нижнего бьефа, в случае, если, уровень воды нижнего бьефа стоит выше гребня водослива) водослив с несвободным истечением, когда в подструйное пространство доступ воздуха (или воды нижнего бьефа) затруднен. В данной работе предпринята попытка исследования вертикального водослива подтопленного и неподтопленного типа, для которых ширина отверстия на порядок меньше высоты. Для исследования разработана лабораторная установка, представляющая собой емкость-реактор, из которого

производится непосредственно истечение (процесс смешивания); щелевая насадка, с заданными размерами установлена на стенке реактора, для изучения определенного вида истечения или смешивания жидкостей; насосом осуществляется подача воды и создается требуемых расход. Кроме того, к установке подведена линия слива, для создания и поддержания необходимого уровня жидкости. В процессе истечения жидкости в данной установке, отверстие предполагается малым, по сравнению с напором H и размерами резервуара и свободная поверхность жидкости не влияют на приток струи жидкости к отверстию, т.е. наблюдается совершенное сжатие струи. Степень сжатия оценивается коэффициентом сжатия ϵ , равным отношению площади поперечного сечения струи в месте сжатия к площади отверстия: $\epsilon = w_c/w$. (1.1) После преобразований находим: (1.2) где ϕ – коэффициент скорости (для отверстия в тонкой стенке $\phi = 0,97$) Обычно площадь реактора намного больше площади отверстия, поэтому скорость v_0 практически незначительна и ею можно пренебречь, тогда формула примет простой вид: (1.3) Распределение скоростей по сечению струи является равномерным лишь в средней части сечения (в ядре струи), наружный же слой жидкости несколько заторможен вследствие трения о стенку. Как показывают опыты, скорость в ядре струи практически равна теоретической, поэтому введенный коэффициент ϕ следует рассматривать как коэффициент средней скорости. Если истечение происходит в атмосферу, то давление по всему сечению цилиндрической струи равно атмосферному. Расход жидкости в сжатом сечении можно определить из уравнения неразрывности: $Q = w_c s_j v$ (1.4) Практически удобнее пользоваться вместо $w_c s_j$ произведение $w \epsilon$ где ϵ коэффициент сжатия для малых отверстий, равный $0,6-0,64$), таким образом, можно записать: (1.5) Произведение ϵ на ϕ принято обозначать буквой μ и называть коэффициентом расхода, подставив $\mu = \epsilon \phi$ получим формулу для расчета расхода жидкости при истечении ее в атмосферу через отверстия и насадки: (1.6) где p – расчетное давление, под действием которого происходит истечение жидкости. На основе опытов установлено, что для малого отверстия в тонкой стенке μ колеблется от $0,59$ до $0,63$, или в среднем $\mu = 0,61$. Это выражение применимо для всех случаев истечения, трудность заключается в достаточно точной оценке коэффициента расхода μ . Из уравнения следует, что: (1.7) Это значит, что коэффициент расхода также представляет собой отношение действительного расхода к теоретическому, который имел бы место при отсутствии сжатия струи и сопротивления, но теоретический расход не является расходом при истечении идеальной жидкости, так как, сжатие струи будет иметь место и при отсутствии гидравлических потерь. Т.о. действительный расход всегда меньше теоретического, следовательно, коэффициент расхода всегда меньше 1 вследствие влияния двух факторов: сжатия струи и сопротивления. В одних случаях больше влияет первый фактор, в других – второй. При истечении

жидкостей через затопленные отверстия, вся кинетическая энергия струи теряется на вихреобразование, как при внезапном расширении. Для затопленного отверстия формулы для определения скорости и расхода имеют тот же вид, что и для незатопленного отверстия. Разница заключается в том, что под величиной подразумевается в случае затопленного отверстия не глубина погружения, а разность уровней в резервуарах: (1.8) где $\mu_{\text{нес}}$ - коэффициент расхода затопленного отверстия, определяемый по формуле А.Д.Альштуля: $\mu = \epsilon / \mu_{\text{З}} = \epsilon / (1.9)$ где $n = \omega / \Omega$ отношение площади отверстия к площади сечения потока выше отверстия, $m = \omega / \Omega^2$ то же ниже отверстия. Для отверстий малых размеров по сравнению с резервуарами ($n \ll 0$, $m \ll 0$): $\mu_{\text{З}} = \epsilon / (2.0)$ т.е. совпадает со значением коэффициента расхода при незатопленном истечении (истечении в атмосферу). Коэффициент сжатия струи ϵ и коэффициент сопротивления ξ при истечении при затопленном отверстии практически не отличается от соответствующих коэффициентов при истечении через незатопленное отверстие. Опыт показывает, что коэффициент расхода μ при истечении через затопленное отверстие можно принимать равным коэффициенту μ для незатопленного отверстия. На изображенной схеме, рис. 1, истечение происходит следующим образом: вода, скопившись перед стенкой водослива, переливается через щель, сделанную в стенке водослива. Рис. 1 -

Геометрические размеры: b - ширина водосливного отверстия; δ - толщина водосливной стенки; $C_{\text{в}}$, $C_{\text{н}}$ - высоты водосливной стенки в верхнем и нижнем бьефах; B_0 - ширина русла, в котором установлен водослив; Z - геометрический перепад на водосливе (разность горизонтов воды в верхнем и нижнем бьефах); v - скорость подхода, средняя скорость, измеряемая в указанном выше сечении В-В. Верхним бьефом называется область потока перед водосливной стенкой, нижним бьефом называется область потока за водосливной стенкой. Сечение В-В - сечение на расстоянии $l_{\text{в}}$, в котором начинается заметный спад свободной поверхности. Как правило, $l_{\text{в}} = (3-5)H$. Величина H , измеряемая в сечении В-В, называется геометрическим напором на водосливе. Геометрический напор на водосливе представляет собой превышение над гребнем водосливной стенки горизонта воды в сечении В-В, где еще нет заметного спада свободной поверхности, обусловленного истечением воды через водослив. В данной работе рассматривается прямоугольный водослив, с вертикальной тонкой стенкой. Рассматриваются подтопленные и неподтопленные водосливы с боковым сжатием. Назначением данной лабораторной установки является изучение процессов истечения жидкостей из щелевых насадок, водосливов, а так же для изучения процессов смешивания не смешивающихся или трудносмешиваемых жидкостей. Главным условием при проектировании установки для изучения истечения жидкостей из насадок, являлось создание и учет условий подтопления, влияния порога водослива, необходимого вертикального и бокового сжатия, совершенного сжатия струи, т.е. исключения влияния боковых

стенки и дна резервуара на процесс истечения жидкости из затопленного и незатопленного щелевого отверстия. При исследовании истечения жидкостей, одним из исследуемых параметров является анализ и изучение вида насадки, ее геометрии и расположение, определение коэффициента расхода, зависящего напрямую от геометрического напора (расхода подаваемой жидкости, относительного перепада бьефов), параметров и типа насадки (коэффициентов сжатия). Установка состоит из емкости-реактора, из которой производится непосредственно истечение (процесс смешивания), щелевой насадки, с заданными размерами, для изучения определенного вида истечения или смешивания жидкостей, емкостей из которых происходит подача жидкостей для смешивания, и насоса для подачи воды и осуществления процесса циркуляционного перемешивания. Кроме того, к установке подведены линия подачи воды и линия слива, для создания и поддержания необходимого уровня жидкости. Так же на линиях установлены регулирующие вентили для осуществления общей функциональности лабораторной установки и регуляции расхода компонентов при изучении процессов смешивания. Достижение условий подтопления и неподтопления при исследовании достигалось изменением вариантов компоновки подачи жидкости в емкость-реактор. Для определения коэффициента расхода производится исследование истечения при различных величинах геометрического напора на водосливе и расходах воды. Кроме того, при данном исследовании производится анализ вида истекающей струи и величина ее вылета, как факторов способных оказывать влияние на процесс истечения жидкости.

Рис. 2 - Схема изучения истечения жидкостей через неподтопленный водослив. 1 - емкость-реактор, 2 - насадка щелевая, 3 - резервуар для хранения подачи жидкостей для смешивания, 4 - насос на линии нагнетания, 5 регулирующие вентили, 6 - ротаметр. -1- Линия подачи воды, -2- линия подачи жидкостей смешивания, -3- линия слива В реактор 1 производится подача воды, по линии -1- до определенного уровня, из которого через насадку 2 происходит истечение жидкости. Вода циркулирует в установке по замкнутому контуру при помощи насоса 4. Измерение расхода производится при помощи ротаметра 6, регулирование осуществляется вентилем, находящимся на линии нагнетания. Слив жидкости из установки осуществляется по линии слива -3-. При использовании установки по рис.1 вентиль на линии нагнетания воды в реактор, при работе насоса всегда должен быть открыт.

Достоинством установки является возможность имитации работы смесительных устройств в аппаратах типа «Смекон» [6, 7], применяющихся для получения эмульсий и суспензий из трудно смешивающихся компонентов. Действительный расход, теоретический расход, коэффициент расхода и число Рейнольдса при свободном истечении жидкости определяются следующим образом: $Q_d = V/t$, (2.1) где Q_d - действительный расход(м³/сек); t - время истечения(сек.); V -объем истечения(м³). (2.2) где Q_t - теоретический расход(м³/сек.), - коэффициент

расхода, b - ширина щели(м), H высота уровня жидкости(м) Q_d/Q (2.3) $w_{ср} Q_d/ba$ (2.4) $d_{экв} b*a/2(b*a)$ (2.5) $Re=w_{ср}* d_{экв}*ρ/μ$ (2.6) где a - высота щели (м), - средняя скорость(м/с), -эквивалентный диаметр щели(м), -плотность жидкости(кг/м³), -динамический коэффициент вязкости(МПа*с). На основе расчетов получены следующие графики: Рис. 3 - График зависимости расхода от высоты уровня жидкости для щелей размерами: ◆-2х100 ■-2,7х100 ▲-3,4х100(мм) Рис. 4 - График зависимости коэффициента расхода от числа Рейнольдса для щелей размерами: ◆-2х100 ■-2,7х100 ▲-3,4х100(мм) Из графиков видно что с увеличением высоты уровня жидкости расход практически линейно возрастает. А при $Re \approx 2000$ стабилизируется коэффициент расхода, что вероятно является признаком перехода истечения в турбулентный режим.