

Лекция 13 «Потери напора в местных сопротивлениях»

Цель: Дайте характеристику коэффициенте местного сопротивления. Опишите виды местных сопротивлений. Напишите расчётные уравнения общих потерь напора.

Краткий конспект лекции: Рассмотрим расчет потерь напора на преодоление местных сопротивлений, т.е. определение $h_{м.с.}$ в уравнении (1).

$$h_{п} = h_{тр} + h_{м.с.} \quad (1)$$

В различных местных сопротивлениях происходят изменения значения скорости потока (см., например, рис. 1, *а,б*), ее направления (рис. 1, *в,г*) или одновременно и значения, и направления скорости (рис. 2). При этом возникают дополнительные необратимые потери энергии (напора), кроме потерь, связанных с трением. Так, при внезапном увеличении сечения трубы (рис. 1, *а*) напор теряется вследствие удара потока, выходящего с большей скоростью из части трубопровода с меньшим диаметром, о поток, движущийся медленнее в части трубопровода с большим диаметром; при этом в области, примыкающей к прямому углу трубы более широкого сечения, возникают обратные токи-завихрения, на образование которых бесполезно тратится часть энергии. При внезапном сужении трубопровода (рис. 1, *б*) дополнительная потеря энергии обусловлена тем, что сечение потока сначала становится меньше сечения самой трубы и лишь затем поток расширяется, заполняя всю трубу. При изменении направления потока (рис. 1, *в,г*) образование завихрений происходит вследствие действия инерционных (центробежных) сил.

Потери напора в местных сопротивлениях, как и потери на трение, выражают через скоростной напор. Отношение потери напора в данном местном сопротивлении $h_{м.с.}$ к скоростному напору $h_{ск} = \frac{w^2}{2g}$ называют *коэффициентом потерь энергии в местном сопротивлении*, или просто *коэффициентом местного сопротивления*, и обозначают через $\xi_{м.с.}$.

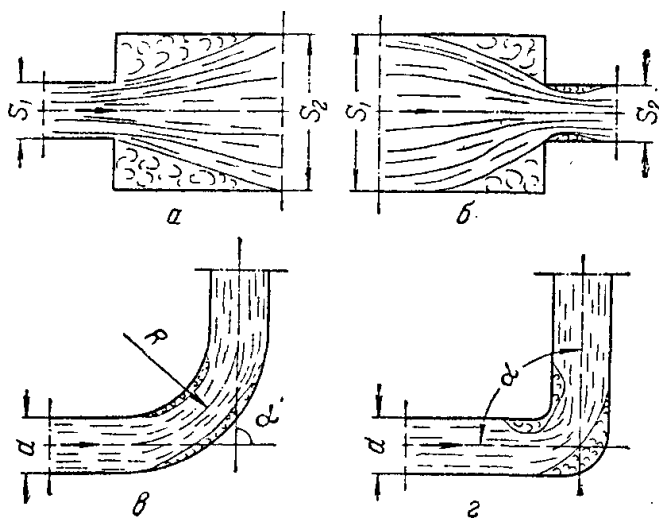


Рис. 1. Некоторые местные сопротивления:

а – внезапное расширение; *б* – внезапное сужение; *в* – плавный поворот на 90° (отвод);
г – резкий поворот на 90° (колесо)

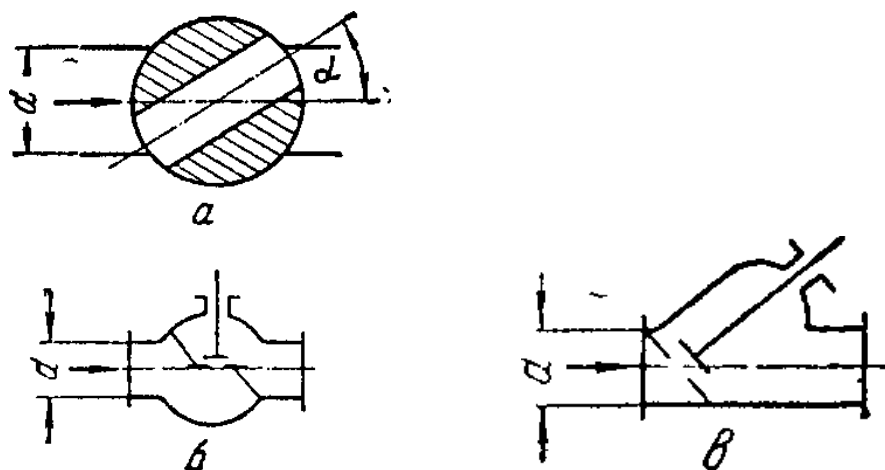


Рис. 2. Некоторые запорно-регулирующие устройства:
a – пробковый кран; *б* – стандартный вентиль; *в* – прямооточный вентиль с наклонным шпинделем

Следовательно, для различных местных сопротивлений

$$h_{\text{м.с.},1} = \xi_{\text{м.с.},1} \frac{w^2}{2g}$$

$$h_{\text{м.с.},2} = \xi_{\text{м.с.},2} \frac{w^2}{2g}$$

$$\dots\dots\dots$$

$$h_{\text{м.с.},n} = \xi_{\text{м.с.},n} \frac{w^2}{2g}$$

или суммарно – для всех местных сопротивлений трубопровода

$$h_{\text{м.с.},1} = \sum \xi_{\text{м.с.}} \frac{w^2}{2g} \quad (2)$$

Коэффициенты различных местных сопротивлений в большинстве случаев находят опытным путем; их средние значения приводятся в справочной литературе. В табл. 1 представлены примерные значения коэффициентов наиболее широко распространенных местных сопротивлений.

С учетом выражений $h_{\text{тр}} = \xi_{\text{тр}} \frac{w^2}{2g} = \lambda \frac{1}{d} \cdot \frac{w^2}{2g}$ (7, Лекция 12) и (2) расчетное уравнение (1) для определения общей потери напора может быть представлено в виде

$$h_{\text{п}} = \sum \xi_{\text{тр}} \frac{w^2}{2g} + \sum \xi_{\text{м.с.}} \frac{w^2}{2g} = \sum \xi \frac{w^2}{2g} \quad (3)$$

где $\sum \xi$ - сумма коэффициентов сопротивления (сопротивления трения и местных сопротивлений).

Таким образом, потеря напора находится по уравнению

$$h_{\Pi} = \left(\lambda \frac{1}{d_3} + \Sigma \xi_{\text{м.с.}} \right) \frac{w^2}{2g} \quad (3a)$$

Таблица 1. Коэффициенты местных сопротивлений

Местные сопротивления	$\xi_{\text{м.с.}}$					
Вход в трубу из сосуда большого объема при острой входной кромке	0,5					
при острой входной кромке и выступе трубы внутрь сосуда на расстояние больше половины диаметра трубы	До 1,0					
Выход из трубы в сосуд большого объема	1,0					
Внезапное расширение (рис. 1, а) (при расчете скоростного напора по скорости в меньшем сечении)	$\left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2$					
Внезапное, сужение (рис. 1, б) (при расчете скоростного напора по скорости в меньшем сечении)	S_1/S_2	100	5	2	1,25	1
	$\xi_{\text{м.с.}}$	0,5	0,43	0,3	0,15	0
Отвод при $\alpha=90^\circ$ и $R \geq 3d$ (рис. 1, в)	0,14					
Колено при $\alpha=90^\circ$ (рис. 1, г) без закругления	1,1-1,3					
Пробочный кран (рис. 2, а) открытый	0,05					
при увеличении α от 20 до 50°	От 2 до 95					
при $\alpha=67^\circ$	∞					
Вентиль стандартный (рис. 2, б) при полном открытии						
при $d=13 \text{ мм}$	11					
при $d=20 \text{ мм}$	8					
при $d=40 \text{ мм}$ и более	4-6					
Вентиль прямоточный с наклонным шпинделем (рис. 2, в) для $d=25 \text{ мм}$ и более при полном открытии	До 1					

Соответственно потеря давления (с учетом того, что $\Delta p = \rho g h_{\Pi}$)

$$\Delta p_{\Pi} = \left(\lambda \frac{1}{d_3} + \Sigma \xi_{\text{м.с.}} \right) \frac{\rho w^2}{2} \quad (36)$$

Величина h_{Π} в уравнении (3а) выражается в м столба жидкости и не зависит от рода жидкости, а потери давления Δp_{Π} зависят от ее плотности.

В расчетной практике при вычислении потерь напора в местных сопротивлениях иногда вместо расчета с помощью коэффициентов $\xi_{\text{м.с.}}$ условно приравнивают эти сопротивления потерям напора на трение в некоторой гипотетической прямой трубе эквивалентной длины $l_{\text{экв}}$. Такой прием дает возможность использовать для расчета потери напора в местных сопротивлениях зависимость того же вида, что и уравнение (7, Лекция 12). Длину трубы, эквивалентную данному местному сопротивлению, выражают обычно в виде произведения диаметра трубы на некоторый коэффициент n , определяемый опытным путем:

$$l_{\text{экв}} = nd \quad (4)$$

В этом случае уравнение для расчета общих потерь напора на трение и местные сопротивления имеет вид

$$h_{\text{п}} = \lambda \frac{l + \Sigma l_{\text{экв}}}{d} \cdot \frac{w^2}{2g} = \lambda \frac{l + d \Sigma n}{d} \cdot \frac{w^2}{2g} = \lambda \left(\frac{1}{d} + \Sigma n \right) \frac{w^2}{2g} \quad (5)$$

Значения n приводятся в справочной литературе.

Вопросы для самоконтроля:

1. Дайте характеристику коэффициенте местного сопротивления.
2. Опишите виды местных сопротивлений.
3. Напишите расчётные уравнения общих потерь напора.

Литература

1. Лекции по курсу «Основные процессы и аппараты химической технологии»: учебно-методическое пособие / составители: Ж.Т. Ешова, Д.Н. Акбаева. – Алматы: Қазак университеті, 2017. – 392 с. – 40 экз.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1973. – 752 с.
3. Романков П.Г., Фролов В.Ф., Флисюк О.М. Методы расчёта процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи). – Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ, 2009. – 544 с.