

УДК 66.067.34

А. А. Боровик, доцент (БГТУ); С. К. Протасов, доцент (БГТУ)

НОВАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ФИЛЬТРОВ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ С ДВИЖУЩЕЙСЯ ПОВЕРХНОСТЬЮ ФИЛЬТРОВАНИЯ

В работе выполнен анализ современных методов расчета процесса фильтрования при постоянной разности давлений в аппаратах с движущейся поверхностью фильтрования. Отмечено, что существующие методы расчета не учитывают изменения толщины слоя осадка твердых частиц на фильтрующей поверхности от входа в зону фильтрования до выхода из нее. Все это приводит к снижению точности вычислений. С применением элементов дифференциального исчисления получены расчетные зависимости, позволяющие определить частоту вращения либо производительность непрерывно действующих аппаратов барабанного и ленточного типов по получаемому фильтрату с учетом изменения толщины осадка.

In work the analysis of existing methods of calculation of process of filtering at constant difference of pressure in devices with a moving surface of filtering. It is noticed that existing design procedures do not consider change of thickness of layer of deposit of firm particles on filtering surface from an input in zone of filtering to an exit from it. It leads to essential decrease in accuracy of calculations. With application of elements in differential calculus settlement dependences allowing are received to define frequency of rotation or productivity of continuously operating devices of drum-type and tape types on a received filtrate taking into account change of thickness of deposit.

Введение. В химической, нефтехимической, пищевой и других смежных с ними отраслях промышленности нашли широкое применение процессы фильтрования.

Фильтрование – это процесс разделения неоднородных систем с твердой дисперсной фазой пористыми перегородками, способными пропустить жидкость или газ и задерживать твердые частицы.

При разделении суспензий способом фильтрования получается осадок твердых частиц и фильтрат – жидкая фаза, прошедшая через пористую перегородку. При фильтровании газов на перегородке образуется осадок твердых частиц, а за перегородкой – очищенный от пылевых частиц газ. Движущей силой процесса является разность давлений ΔP по обе стороны пористой перегородки. При фильтровании достигается высокая разделительная способность по фазам даже при работе с тонкодисперсными неоднородными системами, что является несомненным достоинством данного процесса.

В промышленности фильтрование проводят в фильтрах периодического или непрерывного действия.

В периодически действующих фильтрах фильтровальная перегородка неподвижна, а все стадии (собственно фильтрование, промывка, продувка и выгрузка осадка) осуществляются в одном месте (аппарате), но в разное время. В фильтрах непрерывного действия фильтрующая поверхность, как правило, перемещается, причем все стадии процесса происходят одновременно, но в разных местах аппарата.

Фильтры периодического действия работают при постоянной или переменной разности давлений, а непрерывно действующие

фильтры – в режиме постоянного перепада давлений.

При расчете стадии фильтрования суспензий в периодически действующих фильтрах, работающих при постоянной разности давлений ΔP , используется известное уравнение [1, 2, 3]

$$V_F^2 + CV_F = K\tau, \quad (1)$$

где V_F – объем фильтрата, прошедший через единицу площади фильтрующей поверхности; C – константа фильтрования, характеризующая гидравлическое сопротивление фильтровальной перегородки; K – константа фильтрования, учитывающая физико-химические свойства осадка и жидкости, а также величину движущей силы процесса ΔP ; τ – время фильтрования. При этом C и K могут быть найдены с помощью следующих зависимостей:

$$C = \frac{R_{\phi.п.}}{r_0 x_0}; \quad (2)$$

$$K = \frac{2\Delta P}{\mu r_0 x_0}, \quad (3)$$

где $R_{\phi.п.}$ – сопротивление фильтровальной перегородки; r_0 – удельное объемное сопротивление слоя осадка; x_0 – отношение объема осадка к объему получаемого фильтрата; μ – коэффициент динамической вязкости фильтрата.

При дифференцировании выражения (1) получено уравнение для определения скорости фильтрования

$$\frac{dV_F}{d\tau} = \frac{K}{2(V_F + C)}. \quad (4)$$

Из (4) следует, что скорость фильтрования уменьшается с ростом объема полученного фильтрата, что вызвано увеличением толщины, а значит, и сопротивления осадка твердых частиц.

Уравнения (1) и (4) в общем случае справедливы лишь при условии одинаковой толщины слоя осадка на всей поверхности фильтрования в любой момент времени.

Вместе с тем зависимость (1) применяется и для расчета непрерывно действующих фильтров с подвижной поверхностью фильтрования, например, барабанных и ленточных [1, 2, 3]. При этом на основании практических наблюдений задается наименьшая допустимая толщина слоя осадка h_{oc} , выходящего из зоны собственно фильтрования, чем обеспечивается наибольшая производительность и устойчивое удаление осадка с поверхности фильтрования.

Эту высоту слоя осадка принимают одинаковой по всей поверхности фильтрования.

Для заданных h_{oc} и площади фильтрованной поверхности S находят удельный объем пропускаемого через перегородку фильтрата

$$V_F = \frac{h_{oc}}{x_0}. \quad (5)$$

Затем с помощью уравнения (1) определяют время фильтрования τ , т. е. время нахождения элемента фильтрующей поверхности в зоне фильтрования, в течение которого на нем образуется осадок толщиной h_{oc} . При этом в [2] сопротивлением фильтровальной перегородки пренебрегают, т. е. $R_{ф.п} = 0$. Далее на основании найденной τ рассчитывают скорость движения фильтровальной ткани (для цилиндрических поверхностей фильтрования барабанных фильтров – угловую скорость ω или частоту вращения n).

Однако в действительности толщина слоя осадка увеличивается от нуля на входе элемента фильтрующей поверхности в зону фильтрования до максимального значения на выходе указанного элемента из зоны фильтрования. Причем увеличение толщины осадка не является линейным. Это означает, что нельзя воспользоваться также средним значением высоты осадка $h_{oc} / 2$. Следовательно, методики расчета производительности фильтра и скорости движения фильтрующей поверхности, представленные в [1–3], являются приближенными. Причем ошибка вычислений увеличивается с уменьшением скорости движения поверхности фильтрования.

Основная часть. В связи с этим разработанная усовершенствованная методика расчета непрерывно действующих фильтров, учитывающая изменение толщины слоя осадка на любом

фильтрующем элементе от входа в зону фильтрования до выхода из указанной зоны.

Рассмотрим вначале процесс непрерывного фильтрования на цилиндрической поверхности барабанного фильтра, вращающегося вокруг своей оси с постоянной угловой скоростью ω (рис. 1).

Выделим на поверхности фильтрования элементарный участок площадью dF . Толщину осадка твердых частиц на поверхности этого участка можно считать величиной постоянной во всех точках в данный момент времени.

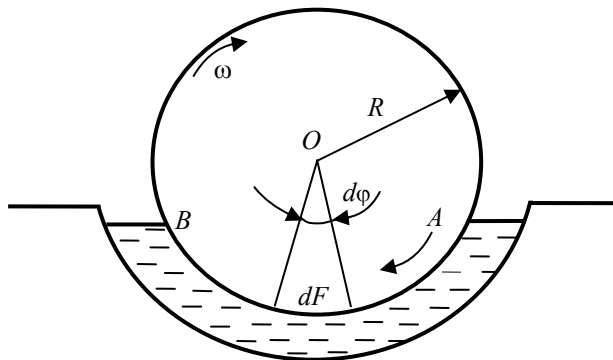


Рис. 1. Схема процесса фильтрования на барабанном фильтре

Запишем для выделенного участка dF уравнение фильтрования (1)

$$V_F + 2CV_F = K\tau_{\phi}. \quad (6)$$

Следовательно,

$$V_F = \sqrt{C^2 + K\tau_{\phi}} - C. \quad V_F = \frac{dV}{dF}. \quad (7)$$

При этом

$$V_F = \frac{dV}{dF}. \quad (8)$$

В уравнениях (6), (7), (8) dV – объем фильтрата, прошедшего через фильтрующий элемент площадью dF за время нахождения в зоне фильтрования τ_{ϕ} ; C и K – константы фильтрования, полученные для неподвижной поверхности барабана, погруженной в данную суспензию. Кроме того,

$$\tau_{\phi} = \frac{m_d}{n}, \quad (9)$$

где m_d – доля поверхности фильтрования, т. е. отношение длины участка фильтрования AB ко всей длине окружности; n – частота вращения барабана. Тогда

$$V_F = \frac{dV}{dF} = \sqrt{C^2 + \frac{m_d K}{n}} - C. \quad (10)$$

Однако

$$dF = hdL, \quad (11)$$

где h – ширина фильтровальной ленты, обтягивающей поверхность барабана; dL – элементарная длина выделенного участка фильтрования.

$$dL = Rd\varphi, \quad (12)$$

где R – радиус поверхности фильтрования; $d\varphi$ – элементарный центральный угол.

Выразим $d\varphi$ следующим образом:

$$d\varphi = 2\pi nd\tau_\phi, \quad (13)$$

где $d\tau_\phi$ – элементарный промежуток времени фильтрования. Тогда

$$dL = R2\pi nd\tau_\phi, \quad (14)$$

$$dL = hR2\pi nd\tau_\phi, \quad (15)$$

$$V_F = \frac{dV}{dF} = \frac{dV}{hR2\pi nd\tau_\phi} = \sqrt{C^2 + \frac{m_d K}{n}} - \tilde{N}. \quad (16)$$

Но $dV/d\tau_\phi = Q$ – объемная производительность фильтра по фильтрату. Таким образом, искомая зависимость примет вид

$$Q = \frac{dV}{d\tau_\phi} = \left(\sqrt{C^2 + \frac{m_d K}{n}} - C \right) 2\pi nhR. \quad (17)$$

Далее рассмотрим процесс непрерывного фильтрования на плоской поверхности ленточного фильтра, двигающейся с постоянной скоростью W .

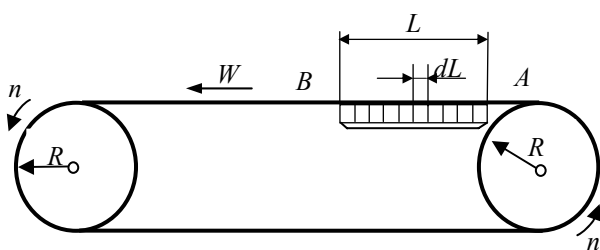


Рис. 2. Схема процесса фильтрования на ленточном фильтре

Аналогичным образом выделим на поверхности фильтрования AB (рис. 2) элементарный участок площадью dF , для которого запишем уравнение фильтрования (7)

$$V_F = \frac{dV}{dF} = \sqrt{C^2 + K\tau_\phi} - C. \quad (18)$$

При этом

$$dF = hdL, \quad (19)$$

$$dL = WRd\tau_\phi = 2\pi nRd\tau_\phi, \quad (20)$$

$$dF = h2\pi nRd\tau_\phi. \quad (21)$$

Время τ_ϕ нахождения фильтрующего элемента в зоне фильтрования определим как

$$\tau_\phi = \frac{L}{W} = \frac{L}{2\pi nR}. \quad (22)$$

Тогда

$$V_F = \frac{dV}{h2\pi nRd\tau_\phi} = \sqrt{C^2 + \frac{KL}{2\pi nR}} - C, \quad (23)$$

и уравнение для определения объемной производительности по фильтрату примет вид

$$Q = \frac{dV}{d\tau_\phi} = \left(\sqrt{\frac{KL}{2\pi nR}} - C \right) h2\pi nR. \quad (24)$$

Таким образом, задаваясь частотой вращения n , с помощью зависимостей (17) и (24) можно определить объемный расход Q получаемого фильтрата либо по заданному технологией объемному расходу Q вычислить соответствующую частоту вращения барабана n .

Заключение. В работе проведен анализ существующих методов расчета процесса фильтрования при постоянной разности давлений в аппаратах с движущейся поверхностью фильтрования. Отмечено, что существующие методы расчета не учитывают изменения толщины слоя осадка твердых частиц на фильтрующей поверхности, поэтому являются приближенными. С применением элементов дифференциального исчисления получены расчетные зависимости, позволяющие определить частоту вращения либо производительность непрерывно действующих аппаратов барабанного и ленточного типов по получаемому фильтрату с учетом изменения толщины осадка.

Литература

1. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учеб. пособие для ВУЗов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – М., 2007. – 576 с.
2. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М., 1973. – 752 с.
3. Жужиков, В. А. Фильтрование. Теория и практика разделение суспензий / В. А. Жужиков. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1980. – 398 с.

Поступила 31.03.2010