

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ НАПОРНО-РАСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОТОЧНОГО ФИЛЬТРА

М.С. Василишин, О.С. Иванов, А.Г. Карпов, А.А. Кухленко,
А.Г. Овчаренко, Д.Б. Иванова

Получены аналитические зависимости для оценки напорно-расходных характеристик проточного фильтра применительно к процессу непрерывной промывки твёрдой фазы суспензий. Полученные данные могут быть полезны при расчёте и проектировании соответствующего технологического оборудования.

Ключевые слова: проточный фильтр, расчёт гидродинамических характеристик.

Характерной особенностью развития техники фильтрования суспензий является стремление к осуществлению процесса в непрерывном режиме. Из теории фильтрования [1, 2] известно, что скорость удаления жидкости из осадка обратно пропорциональна его толщине δ_{OC} . Очевидно, что скорость фильтрования будет максимальной при наименьшем значении толщины. Технически данное условие может быть реализовано при фильтровании суспензии с непрерывным удалением части осадка путём его смыва самим потоком суспензии. Такие способы непрерывны, их производительность весьма высока, а аппаратное оформление несложно [3].

Чаще всего для уменьшения δ_{OC} используются проточные фильтры, выполненные либо в виде протяжённого канала с коаксиальной фильтрующей вставкой [4], либо в виде канала, стенки которого являются фильтровальной перегородкой [5]. Двигаясь под давлением по каналу, суспензия теряет часть жидкой фазы в виде фильтрата, при этом она сгущается, а затем непрерывно выводится из фильтра. Непосредственно у перегородки сохраняется тонкий слой осадка, обеспечивающий отсутствие в фильтрате частиц твёрдой фазы.

Принципиальная схема установки для промывки суспензий волокнистых материалов (хитозан, целлюлоза и т.п.) от воднощелочного раствора показана на рисунке 1.

В состав установки входит аппарат с перемешивающим устройством 1 емкостью 0,1 м³, проточный фильтр 2 с коаксиальной фильтрующей вставкой и насос 3, обеспечивающий непрерывный транспорт обрабатываемой суспензии через циркуляционный контур установки.

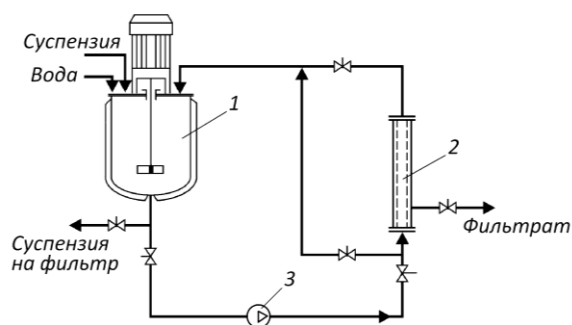


Рисунок 1 – Принципиальная схема установки

Работа установки осуществляется в следующей последовательности. Исходная воднощелочная суспензия волокнистого материала загружается в аппарат 1 и насосом 3 многократно пропускается через циркуляционный контур установки. Проходя через проточный фильтр 2, определенная часть раствора фильтруется через внешнюю перегородку и выводится из установки.

Частично сгущенная суспензия возвращается в аппарат 1, где смешивается со свежей промывной водой. Расход промывной воды должен соответствовать расходу фильтрата, выводимого из циркуляционного контура установки. После достижения требуемой концентрации щелочи в продукте, суспензия сбрасывается на фильтр для окончательного отжима.

Основным элементом установки является проточный фильтр. Он представляет собой стеклянную царгу внутренним диаметром 0,08 м и длиной 1,5 м. По оси фильтра установлена дренажная труба, внутренним диаметром 0,05 м, закрытая фильтрующей тканью (лавсан). Дренажная труба делит внутреннюю полость царги на центральный транспортный канал и периферийный – для сбора и отвода фильтрата.

Важнейшим условием обеспечения надёжной работы фильтра является поддержание необходимой толщины слоя осадка твёрдой фазы на поверхности фильтрования. Экспериментами по отмывке суспензии хитозана от водно-щелочного раствора установлено, что оптимальное значение толщины намывного слоя δ_{OC} составляет $(1-2) \cdot 10^{-3}$ м.

При меньших значениях δ_{OC} фильтрат загрязнён частицами твёрдой фазы суспензии. Увеличение δ_{OC} более $2 \cdot 10^{-3}$ м снижает производительность отмывки и, более того, провоцирует забивку фильтра.

Использование установки с проточным фильтром для отмывки суспензии хитозана от водно-щелочного раствора позволило сократить продолжительность операции на 20 % и на 5–7 % уменьшить расход промывной воды в сравнении с отмывкой на дурк-фильтре.

К сожалению, проточные фильтры не получили пока широкого промышленного применения, что связано, прежде всего, с недостаточной изученностью основных закономерностей их работы и отсутствием инженерных методик расчёта.

Рассмотрим ламинарное установившееся течение суспензии в цилиндрическом канале с проницаемыми стенками (рисунок 2). Полагаем, что фильтрование происходит под давлением движущейся суспензии, сопротивление фильтровальной перегородки пренебрежимо мало, эффективная вязкость суспензии μ_E и коэффициент проницаемости слоя осадка k не меняются при движении суспензии вдоль перегородки.

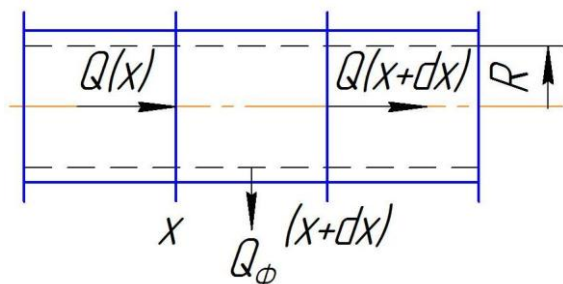


Рисунок 2 – Расчётная схема элемента проточного фильтра

Согласно [6] объёмный расход суспензии Q в сечении на расстоянии x от входа в элемент проточного фильтра составит:

$$Q(x) = \frac{\pi \cdot R^4}{8 \cdot \mu_C} \cdot \frac{d}{dx} P(x), \quad (1)$$

где R – внутренний радиус элемента проточного фильтра; μ_C – эффективный коэффициент динамической вязкости суспензии; $P(x)$ – давление суспензии на расстоянии x от входа в элемент проточного фильтра.

На расстоянии $(x + dx)$ от входа объём:

$$Q(x + dx) = \frac{\pi \cdot R^4}{8 \cdot \mu_C} \cdot \frac{d}{dx} P(x + dx), \quad (2)$$

где $P(x + dx)$ – давление суспензии на расстоянии $(x + dx)$ от входа в элемент проточного фильтра.

Фильтрационный расход через боковую поверхность на участке длиной dx в соответствии с законом Дарси [7]:

$$Q_\phi = \frac{k \cdot P}{\mu_\phi \cdot \delta_{OC}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R dx, \quad (3)$$

где k – коэффициент проницаемости слоя осадка; μ_ϕ – коэффициент динамической вязкости фильтрата.

Уравнение материального баланса для рассматриваемого элементарного объёма фильтра может быть представлено в виде:

$$\frac{d^2 P}{dx^2} + \frac{16 \cdot k \cdot \mu_C}{\mu_\phi \cdot \delta_{OC} \cdot R^3} \cdot P = 0 \quad (4)$$

Введя обозначение:

$$\lambda = \frac{16 \cdot k \cdot \mu_C}{\mu_\phi \cdot \delta_{OC} \cdot R^3},$$

запишем уравнение (4) в виде:

$$\frac{d^2 P}{dx^2} + \lambda \cdot P = 0 \quad (5)$$

При $\lambda > 0$ общим решением уравнения (5), согласно [8], будет:

$$P = C_1 \cdot \cos \sqrt{\lambda} x + \frac{C_2}{\sqrt{\lambda}} \sin \sqrt{\lambda} x,$$

где C_1 и C_2 – постоянные интегрирования.

С учётом граничных условий:

$$P|_{x=0} = P_0 \text{ и } Q|_{x=0} = Q_0 = \frac{\pi \cdot R^4}{8 \cdot \mu_C} \cdot \frac{dP}{dx}, \quad (6)$$

можно записать:

$$\frac{dP}{dx} = \frac{Q_0 \cdot 8 \cdot \mu_C}{\pi \cdot R^4} \quad (7)$$

Окончательно, решением уравнения (5) с учётом (6) и (7) будет:

$$P(x) = P_0 \cos \sqrt{\lambda} x + \frac{Q_0 \cdot 8 \cdot \mu_C}{\pi \cdot R^4} \cdot \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \sin \sqrt{\lambda} x \quad (8)$$

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ НАПОРНО-РАСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОТОЧНОГО ФИЛЬТРА

Продифференцировав (8) по x , получим:

$$\frac{dP}{dx} = -\sqrt{\lambda} P_0 \sin \sqrt{\lambda} x + \frac{Q_0 \cdot 8 \cdot \mu_c}{\pi \cdot R^4} \cos \sqrt{\lambda} x \quad (9)$$

После подстановки (9) в (1), получим зависимость, описывающую изменение расхода суспензии при её движении по каналу с проницаемыми стенками:

$$Q = Q_0 \cdot \cos \sqrt{\lambda} x - \frac{\pi \cdot R^4}{8 \cdot \mu_c} \sqrt{\lambda} \cdot P_0 \sin \sqrt{\lambda} x \quad (10)$$

Выражение (9) и (10) позволяют выполнить оценку влияния конструктивных и технологических параметров на напорно-расходные

характеристики проточного фильтра.

В таблице приведены результаты расчёта изменения расхода водной суспензии хитозана по длине элемента проточного фильтра в ходе процесса промывки при различной скорости её движения. Параметры, характеризующие суспензию:

$$\mu_c = 2,03 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}; \mu_\phi = 1,005 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\delta_{oc} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}; k = 0,5 \cdot 10^{-13} \text{ м}^2.$$

Длина фильтрующего элемента $L = 1,5 \text{ м}$; радиус фильтрующей поверхности $R = 0,025 \text{ м}$.

Таблица – Изменение расхода водной суспензии хитозана по длине элемента проточного фильтра [расчёт по уравнению (10)]

Длина участка $x, \text{ м}$	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5
Расход суспензии $Q \cdot 10^4, \text{ м}^3 / \text{с}$	3,89	3,88	3,88	3,86	3,87	3,85
	5,83	5,82	5,81	5,80	5,79	5,79
	7,77	7,75	7,74	7,73	7,73	7,73
	9,71	9,70	9,68	9,67	9,67	9,67

Анализ данных таблицы указывает на снижение величины транспортного расхода суспензии при её движении по элементу проточного фильтра за счет отбора фильтрата. С увеличением транспортного расхода возрастает удельная производительность элемента по фильтру.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жужиков, В. А. Фильтрация. Теория и практика разделения суспензий / В. А. Жужиков. – М. : Химия, 1980. – 397 с.
2. Малиновская, Т. А. Разделение суспензий в химической промышленности / Т. А. Малиновская, И. А. Кобринский, О. С. Кирсанов. – М. : Химия, 1983. – 264 с.
3. А.с. № 142626. Класс 12d, 2401 / Жевноватый А. И. Заявл. 20.02.1959; опубл. БИ № 22, 1961.
4. Жевноватый, А. И. // Химическое машиностроение. – 1963. – № 5. – С. 16–19.
5. Гуськов, В. А., Ивановский, М. Д. // Цветные металлы. – 1973. – № 8. – С. 9–11.
6. Романков, П. Г. Гидромеханические процессы химической технологии / П. Г. Романков, М. И. Курочкина. – Л. : Химия, 1982. – 287 с.
7. Малиновская, Т. А. Разделение суспензий в промышленности органического синтеза / Т. А. Малиновская. – М. : Химия, 1971. – 318 с.

8. Камкэ, Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям / Э. Камкэ. – М. : Наука, 1971. – 575 с.

Василишин Михаил Степанович – к.т.н., доцент, заведующий лабораторией ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, 659322, e-mail: ipcet@mail.ru.

Иванов Олег Сергеевич – к.т.н., научный сотрудник ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, 659322, e-mail: ipcet@mail.ru.

Карпов Анатолий Геннадьевич – научный сотрудник ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, 659322, e-mail: ipcet@mail.ru.

Кухленко Алексей Анатольевич – к.т.н., доцент, старший научный сотрудник ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, 659322, e-mail: ipcet@mail.ru.

Овчаренко Александр Григорьевич – д.т.н., профессор, декан факультета БТИ-АлтГТУ, г. Бийск, ул. Трофимова, 27, 659305, e-mail: info@bti.secna.ru.

Иванова Дарья Борисовна – к.т.н., научный сотрудник ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, 659322, e-mail: ipcet@mail.ru.