

Урецкий Е.А., Венецианов Е.В.

ДИНАМИКА ФИЛЬТРАЦИОННОГО ОСВЕЩЕНИЯ СУСПЕНЗИЙ НА КАРКАСНО-ЗАСЫПНЫХ ФИЛЬТРАХ

1. Особенности процесса фильтрационного осветления суспензий на каркасно-засыпных фильтрах

Схема каркасно-засыпного фильтра представлена на рис. 1.

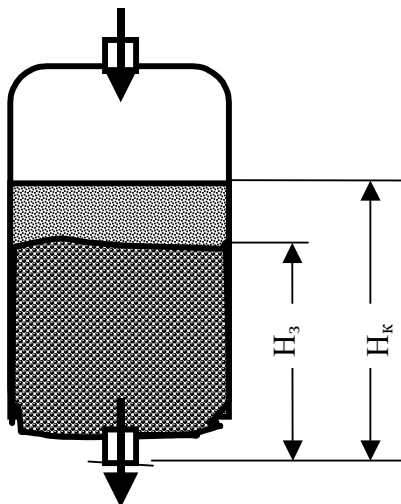


Рис. 1. Схема каркасно-засыпного фильтра.

Каркас фильтра составляет крупные зерна из тяжелых пород, например гранита, неправильной формы, с размером зерен, в 40-20 раз превышающим размер зерен загрузки, обычно применяемой в коммунальном водоснабжении. В пористом пространстве каркаса помещается зернистая загрузка с частицами 1-3 мм. Высота каркаса в 1,3 - 1,5 раз превышает высоту засыпки H_3 , чтобы обеспечить необходимую высоту "кипения" слоя при промывке в неподвижном каркасе.

Такая структура фильтра обеспечивает более благоприятные условия отмывки осадка, поскольку энергия при соударении зерен загрузки с каркасом выше, чем при соударении частиц друг с другом. Поэтому затраты на отмывку осадка в каркасно-засыпном фильтре оказываются ниже.

При отмывке каркас остаётся неподвижным. Если обозначить через χ_k - порозность каркаса, то при промывке в каркасно-засыпном фильтре для достижения необходимой скорости для взвешивания зерен засыпной фракции требуется меньшая объёмная скорость, равная $\chi_k w$ по сравнению w для традиционных фильтров.

Исходя из феноменологической модели фильтрования [1], а также решения задачи динамики сорбции для смеси сорбентов [2], рассмотрим модель динамики сорбции на каркасно-засыпном фильтре и на этой основе остановимся на вопросе об их эффективности и расчёте.

2. Математическая модель динамики фильтрования на каркасно-засыпных фильтрах

Рассмотрим, какое влияние на равновесие и кинетику процесса осветления оказывает наличие каркаса.

Каркасно-засыпной фильтр представляет собой типичный

пример фильтра, составленного из смеси загрузок с различными фильтрационными свойствами. Допустим, что размеры зёрен засыпной части и каркаса равны d_3 и d_k , порозность каркаса χ_k , засыпки внутри каркаса - χ_3 . Положим также, что засыпан в фильтр определенный объем мелкой фракции V , а площадь сечения фильтра - S .

Если мелкая фракция засыпана в фильтр без каркаса, то высота слоя равна $t_c = \frac{V}{S}$. При расходе в единицу времени w линейная скорость $V = w/S$. Тогда зависимость коэффициента распределения Γ и кинетического коэффициента β от V и d_3 даётся выражениями [1]

$$\beta_0 = b_0 V^{n_1} d^{n_2}; \quad (1)$$

$$\Gamma = q_0 V^{n_3} d^{n_4}, \quad (2)$$

где $n_1 > 0$, а n_2, n_3, n_4 - отрицательны. Например, для песчаных фильтров $n_1 = 0,3, n_2 = -1,7, n_3 = -0,7, n_4 = -0,7$. Коэффициенты b_0, q_0 зависят от условий предобработки суспензии и определяются экспериментально, например, методом технологического моделирования.

Сравним теперь этот фильтр с каркасно-засыпным при условии, что объёмная скорость и площадь сечения остаются постоянными.

При пористости каркаса χ_k свободное сечение при засыпке мелкой фракцией с пористостью χ_3 равно $\chi_k \cdot \chi_3$, где V скорость фильтрации в однородном фильтре. Поскольку $\chi_{3k} < 1$ то свободное сечение в каркасно-засыпном фильтре меньше, чем в однородном фильтре с мелкой загрузкой, и эффективная скорость фильтрации равна $V_3 = \frac{V}{\chi_{3k}} \cdot V$, где V

- скорость фильтрации в однородном фильтре. Следовательно, кинетический коэффициент в засыпке увеличится.

Уровень "проскока" в фильтрате, как известно, определяется по формуле [3]:

$$\frac{C(t)}{C_0} = \exp\left(-\frac{\beta t}{V}\right), \quad (3)$$

где C_0 - концентрация исходной суспензии, l - длина фильтра. Для каркасно-засыпного фильтра $l_3 = l/\chi_{3k}$, а $V_3 = V/\chi_{3k}$. Следовательно, уменьшение проскока происходит за счет увеличения кинетического коэффициента β .

Однако увеличение β в действительности больше, поскольку кроме адгезии внутри засыпки происходит формирование осадка в местах контакта зерен с каркасом. Это дополнительное увеличение кинетического коэффициента β можно оценить по следующей очевидной формуле:

Урецкий Евгений Аронович, член-корреспондент Белорусской инженерной технологической академии, доцент Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Венецианов Евгений Викторович, д.ф.-м.н., зав. лабораторией охраны и качества вод Института водных проблем АН РФ.

$$\beta_3 = \beta_3 \left(1 + \frac{d_3}{d_k} \right). \quad (4)$$

Действительно, относительное увеличение кинетического коэффициента для мелкой фракции (засыпки) пропорционально относительному увеличению удельной поверхности за счет каркаса.

Для частиц неправильной формы, из которых сложен каркас, величина $\chi_k \cong 0,5$. По формуле (1) для песчаных загрузок увеличение β примерно составляет ~25%, а с учетом формулы (4) для $d_3/d_k \cong 0,05$ составит ~30%.

Оценим изменение емкости фильтра. Очевидно, что локальная емкость фильтра уменьшится, поскольку в соответствии с формулой (2) частицы каркаса обладают значительно меньшей емкостью, чем частицы засыпки. Кроме того, величина емкости меньше из-за увеличения локальной скорости. В качестве примера оценим вклад загрузки каркаса в грязеемкость фильтра для условий: $d_3/d_k = 10$. Тогда локальная емкость каркаса составит 0,12 от локальной емкости засыпки.

Локальная емкость засыпки также несколько уменьшится, поскольку локальные скорости в каркасе выше. Так, для $\chi_k \cong 0,5$ локальная емкость составит 65% от исходной.

Таким образом, емкость загрузки в целом составит $(0,12 + 0,65\chi_k) \cong 0,45a_0$. Поскольку высота слоя в каркасе увеличится в χ_k^{-1} раз, то уменьшение полной емкости будет незначительным. Для рассмотренного примера полная емкость фильтра составит 90% от исходной.

Резюмируя отметим, что каркасно-засыпной фильтр обладает лучшей кинетикой и несколько меньшей емкостью, чем фильтр, загруженный только мелкой фракцией загрузки.

УДК 628.356

Урецкий Е.А., Венецианов Е.В.

ДИНАМИКА ПРОЦЕССА ПОВЕРХНОСТНОЙ КОАГУЛЯЦИИ В ФИЛЬТРАХ В ОБЛАСТИ ПЕРЕСЫЩЕНИЯ ОСАДКОМ

1. Особенности фильтрования в области пересыщения осадком

Эффект осветления в зернистых фильтрах достигается за счет адгезии частиц взвеси в пористом пространстве фильтра. Существующие теории процесса осветления [1,2] ограничиваются рассмотрением процесса фильтрования в докритической области, пока сформировавшаяся дисперсная структура осадка устойчива по отношению к касательным гидродинамическим напряжениям. По мере коагуляции и старения осадка в лобовых частях фильтра может быть достигнуто равенство, сдвигающих гидродинамических напряжений и прочности осадка на сдвиг. Такое состояние осадка является неустойчивым.

Дальнейшее нарастание концентрации осадка может привести к его пересыщению. Эта ситуация при фильтровании суспензий аналогична процессу пересыщения растворов. Появление в таких растворах центров кристаллизации приведет к лавинообразному выпадению кристаллов.

Подобное явление происходит и в случае пересыщения фильтра осадком, локальный отрыв агрегатов частиц в слое вызывает увеличение локальных скоростей. Хотя это увеличение вначале может быть незначительным, тем не менее, в условиях неустойчивого равновесия его может быть достаточно для срыва дополнительных агрегатов частиц. Далее

это уменьшение грязеемкости легко компенсируется небольшим увеличением высоты фильтрующего слоя (~10-20% высоты).

Выводы

1. Сочетание двух фракций зернистого материала с резко отличающимися размерами зёрен придаёт фильтрующему слою сумму свойств, которыми по отдельности не обладают ни мелкозернистые, ни ультракрупнозернистые загрузки.
2. При фильтровании каркас играет роль зернистого хлопьеобразователя, что препятствует коагуляции верхнего слоя мелкозернистого материала и повышает динамические характеристики фильтрования. При промывке расширение мелкозернистого материала в порах нерасширяющейся крупнозернистой загрузки создаёт высокую энергию соударения зёрен "засыпки" с поверхностью каркаса, в результате процессы отмывки интенсифицируются при меньших расходах промывной воды.
3. Повышение грязеемкости фильтра может быть достигнуто за счет увеличения высоты слоя каркаса, а повышение эффекта осветления - за счет изменения величины зёрен засыпки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Венецианов Е.В., Сенявин М.М. Математические описание фильтрационного осветления суспензий, Теор. основы хим. технологии, 1979, т. 10, М, с. 584 - 591.
2. Венецианов Е.В. Решение задачи динамики сорбции для смеси сорбентов с учетом массообмена между фракциями сорбента (внешняя диффузия, линейная изотерма).- Изв. АН СССР, Сер. хим., 1977, №9, , 2106 - 2109.
3. Венецианов Е.В., Рубинштейн Р.Н. Динамика сорбции из жидких сред. - М.: Наука, 1983. 240 с.

процесс развивается лавинообразно, пока сформировавшаяся "пробка", или зона повышенного содержания вторичных частиц не достигнет тех зон фильтра, которые находятся в докритическом состоянии.

Описанный эффект неоднократно наблюдался в натуральных условиях и описан Д.М.Минцем [3].

Состояние пересыщения фильтра осадком является нежелательным в практике осветления растворов. Однако он может использоваться с целью увеличения размера частиц взвеси за счет поверхностной коагуляции.

Процесс укрупнения хлопьев зависит от свойств дисперсной фазы суспензии, поступающей на фильтр, размера и формы зёрен загрузки и скорости потока.

2. Математическая модель хлопьеобразования в области пересыщения осадком

Рассмотрим фильтр, находящийся в состоянии пересыщения осадком, в стационарном состоянии, когда количество осадка в нем не меняется. В каждом сечении фильтра концентрация осевших частиц равна концентрации отрывающихся частиц. Предположим, что поступающая на вход фильтра суспензия состоит из мелких частиц с концентрацией C_0 . Вследствие сделанного предположения на выходе (а также в любом сечении фильтра) концентрация суспензии также рав-