

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

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-

на C_0 , однако распределение частиц по размерам меняется, и в выходном сечении содержание вторичных (укрупненных) частиц взвеси будет максимальным.

Обозначим текущую концентрацию первичных частиц в растворе C_1 , в осадке – a_1 соответственно вторичных частиц – C_2 и a_2 . Уравнение баланса для них имеют вид:

$$V = \frac{\partial C_1}{\partial x} + \frac{\partial a_1}{\partial t} = 0; \quad V \frac{\partial C_2}{\partial x} + \frac{\partial a_2}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

где V – скорость фильтрации. В силу стационарности режима имеем очевидные соотношения:

$$C_1 + C_2 = C_0; \quad a_1 + a_2 = a_0, \quad (2)$$

где a_0 – полная емкость фильтра. Кинетика прилипания первичных частиц описывается внешнедиффузионным уравнением:

$$\frac{\partial a_1}{\partial t} = \beta C_1 \quad (3)$$

причем в силу (2) отрыв вторичных частиц определяется скоростью прилипания первичных частиц взвеси, т.е.

$$\frac{\partial a_2}{\partial t} = -\frac{\partial a_1}{\partial t}$$

Решение системы (1)-(3) имеет вид:

$$\frac{C_1}{C_0} = \exp\left(-\frac{\beta x}{V}\right), \quad \frac{C_2}{C_0} = 1 - \frac{C_1}{C_0} \quad (4)$$

и является стационарным. Таким образом, степень обогащения суспензии вторичными частицами определяется кинетикой прилипания первичных частиц. Чем выше кинетический коэффициент β и длина фильтра l , тем эффективнее происходит процесс агрегирования.

Кинетический коэффициент β зависит от свойств осадка и гидродинамических условий в закольцованном слое. В литературе отсутствуют данные о параметрах фильтрования в области пересыщения фильтра осадком. Однако для оценок можно воспользоваться теми данными, которые приводятся в литературе для стадии формирования осадки (в докритической области).

Кинетический коэффициент β для песчаных фильтров по данным Минца [1] зависит от скорости V и диаметра зерен загрузки в соответствии с формулой:

$$\beta = b_0 \cdot V^{0,3} \cdot d^{-1,7}. \quad (5)$$

Численное значение коэффициента b_0 может быть рассчитано методом технологического моделирования. Более точные зависимости от условий фильтрации могут быть определены на основе экспериментальных исследований.

Укажем способ выбора условий фильтрования в "запрещенной" области. Длина фильтра l , размер зерен d и скорость фильтрации V выбираются таким образом, чтобы для суспензии заданного качества обеспечить заданную степень осветления на чистой загрузке, см. формулу (4). Тогда соответствующая степень агрегирования может быть достигнута при тех же условиях фильтрации в области пересыщения фильтра.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды. – М.: Стройиздат, 1964. 156 с.
2. Веницианов Е.В., Рубинштейн Р.Н. Динамика сорбции из жидких сред. – М.: Наука, 1983. 240 с.
3. Mintz D.M., Modern Theory of Filtration - In: Intern. water suppli Congr. Barselona. 1966, Sp Sub № 10. 32p.