

УДК 628.345 : 541.183

И.Н.ЧУБ

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

**РАСЧЕТ АППАРАТОВ С ПЛОТНЫМ СЛОЕМ НА ОСНОВЕ  
РАЗРАБОТАННОГО СПОСОБА УЧЕТА НЕРАВНОВЕСНОЙ СОРБЦИИ**

Приводится расчет аппарата с плотным слоем на основе разработанного способа учета неравновесной сорбции. Выполнено сравнение существующего и предложенного расчета степени насыщения зоны массопередачи.

Большинство сорбционных процессов осуществляется в аппаратах с неподвижным плотным слоем. Для технологических расчетов этих аппаратов используют различные существующие инженерные методы расчета. Самыми распространенными и теоретически обоснованными являются расчеты, основанные на применении уравнения Н.А.Шилова. В настоящее время предложены различные варианты этого уравнения для расчета ионообменного умягчения или деминерализации воды. Уравнение Шилова положено в основу расчета ионообменных фильтров в курсе водоподготовка [1].

Расчет параметров в уравнении Шилова может выполняться на основе массообменных методов. Анализ существующих работ по данной теме показывает, что расчеты на основе массообменных методов не учитывают влияния кинетики. В связи с этим неточно определяется время работы слоя заданной высоты. Поэтому предметом настоящей статьи является усовершенствование существующего способа расчета параметров в уравнении Шилова на основе массообменного метода.

Формула Н.А.Шилова отражает влияние статического  $k$  и кинетического  $\tau_0$  факторов на динамику поглощения слоем [2].

$$\tau = kL - \tau_0, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент защитного действия слоя;  $\tau_0$  – потеря времени защитного действия;  $L$  – длина слоя.

Для анализа механизма сорбции в динамических условиях необходимо представить сорбционный процесс внутри неподвижного слоя. На рисунке показан аппарат с неподвижным слоем длиной  $L$  и графическая интерпретация связи времени и высоты слоя.

Согласно принятой модели реальной сорбции фронт протяженностью  $l_0$  перемещается вдоль слоя со скоростью  $u$  с неизменным распределением в нем концентрации поглощаемого вещества, начиная с момента формирования фронта  $\tau_\phi$ . Само формирование фронта про-

исходит по специфическим законам, учитывающим свойства рабочих тел и интенсивность массообмена. На рисунке показана зона  $\tau_{\phi}$  и формирование  $l_0$  – это первый период. В этой зоне формируется определенное поле концентраций. Средняя концентрация поглощенного вещества в сорбенте в границах зоны массопередачи, промежуточная между  $a_p$  и  $a_n$ , остается постоянной в процессе перемещения зоны  $l_0$  вниз по слою. Эта средняя по зоне концентрация поглощенного сорбентом вещества записывается в виде  $\Psi a_p$ , причем  $\Psi$  именуется средней степенью насыщения зоны массопередачи и зависит от профиля концентраций поглощаемого вещества. Она влияет на рабочую емкость сорбента, так как определяет длину неиспользованного слоя сорбента и определение кинетического параметра  $\tau_0$  в уравнении Шилова.

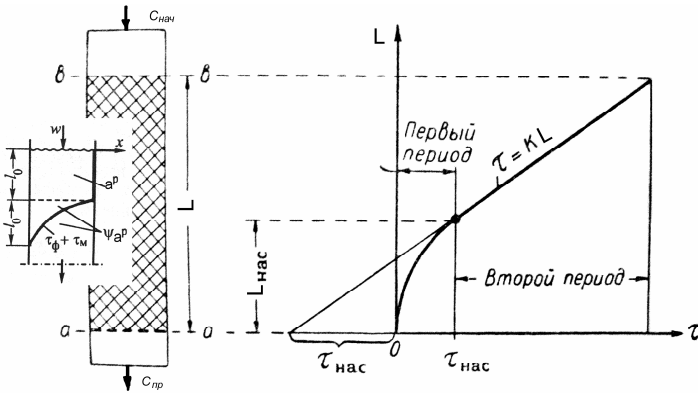


Схема процесса сорбции и зависимость времени сорбции  $\tau$  от длины слоя сорбента  $L$

Существующий способ определения степени насыщения зоны массопередачи, который представлен формулами (2), не учитывает влияния кинетики на характер распределения вещества и длину рабочей зоны в процессе динамики сорбции.

$$\Psi \approx 1/S_x, \quad \Psi \approx 1/\ln(C_0/C_{np}). \quad (2)$$

Здесь  $S_x$  – число единиц переноса;  $C_0$  – исходная концентрация раствора;  $C_{np}$  – проскоковая концентрация на выходе из аппарата.

Для устранения существующих недостатков при определении  $\Psi$  предлагается использовать псевдоравновесную кривую. Эта кривая

отражает влияние кинетики в процессе динамики сорбции и позволяет определить реальные концентрации в рабочей зоне с учетом влияния кинетики.

В предыдущих работах нами обосновано применение псевдоравновесной (кинетической) кривой для описания неравновесной сорбции в аппаратах с неподвижным слоем [3]. Поэтому воспользуемся методом получения точек этой кривой, предложенным в работах [3]. Для этого необходимо определить изотерму и рабочую линию, построить равновесные ступени. Далее следуя изложенной методике в [3], определяют неизвестные точки и по ним проводят псевдоравновесную кривую. Затем, используя эту кривую, определяют эффективность по Мэрффри для каждой равновесной ступени по формуле

$$E_{жс} = \frac{X_n - X}{X_n - X_p(a_n)} = \frac{AC}{AD}, \quad (3)$$

где  $X_n$  – концентрация поступающего на ступень раствора;  $X_p$  – концентрация раствора равновесная с адсорбентом;  $X$  – концентрация уходящего неравновесного раствора.

Учитывая полученную эффективность для каждой ступени, средняя степень насыщения зоны массопередачи  $\Psi$  будет определяться по выражению

$$\Psi = \frac{E_{жсст1} + E_{жсст2} + E_{.....}}{n}, \quad (4)$$

где  $n$  – число равновесных ступеней, определяемых по изотерме;  $E_{жсст}$  – эффективность каждой равновесной ступени по жидкой фазе.

Такой способ определения степени насыщения зоны массопередачи основан на достаточно простом учете кинетики, через эффективность ступени по Мэрффри. Именно эффективность дает представление о незавершенности процесса сорбции в рабочей зоне и позволяет оценить влияние кинетики на характер распределения вещества.

От величины  $\Psi$  зависит определение  $\tau_0$  и рабочей емкости сорбента на основе массообменных методов. Определение параметров в уравнении Шилова на основе теории массообмена приводится в литературе [4], поэтому в статье мы остановимся на определении только кинетического параметра  $\tau_0$ . Потерянное время  $\tau_0$  определяется на основе времени массопередачи  $\tau_M$  [4].

$$\tau_0 = \tau_M (1 - \Psi). \quad (5)$$

Время массопередачи :

$$\tau_M = \frac{w - \varepsilon_0 u}{K_v u} S_x, \quad (6)$$

где  $S_x$  – число единиц переноса;  $w$  – расчетная скорость потока;  $u$  – скорость перемещения фронта сорбции;  $\varepsilon_0$  – порозность слоя сорбента;  $K_v$  – объемный коэффициент массопередачи. Эти величины  $S_x$ ,  $u$ ,  $K_v$  – определяются по предложенной методике [4].

Для обоснования применения полученного выражения (4) был выполнен сравнительный расчет степени насыщения зоны массопередачи –  $\Psi$  по формулам (4) и (2). Было установлено, что по формуле (2)  $\Psi = 0,27-0,2$ , а по формуле (4)  $\Psi = 0,63-0,85$ . Наиболее благоприятным считается второй результат, так как, ссылаясь на литературные данные, значения  $\Psi$  колеблются в пределах 0,3-0,8 и более.

Таким образом, установлено, что для расчета  $\tau_0$  можно рекомендовать предложенный способ расчета  $\Psi$  по формуле (4).

1. Громогласов А.А. и др. Водоподготовка: Процессы и аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 272 с.

2. Захаров Е.И. и др. Ионообменное оборудование атомной промышленности. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 245 с.

3. Чуб И.Н. Расчет сорбционных фильтров с неподвижным слоем для процессов водоподготовки // Сборник тезисов докладов участников I Всеукр. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – К.: НТУУ «КПІ» ВПІ ВПК «Політехніка», 2006. – С.134

4. Айштейн В.Г., Захаров М.К., Носов Г.А., Захаренко В.В. и др. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии Т.2. – М.: Высшая школа, 2003. – 930 с.

*Получено 07.11.2006*

УДК 504.4

С.В.СВЕРГУЗОВА, канд. техн. наук, Ж.А.СВЕРГУЗОВА

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова  
(Российская Федерация)*

### **ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ И ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТХОДАМИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Рассматривается возможность использования отходов промышленности для очистки сточных вод, что дает возможность уменьшить количество загрязняющих веществ, поступающих в водные объекты.

Известно, что около 80% возбудителей различных заболеваний