

С. П. НАЗАРБЕКОВА, К. А. БЕКЖИГИТОВА, А. А. МИРЗАЕВ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ХЛОПЧАТОБУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Математическое моделирование процесса очистки методом реагентной напорной флотации сточных вод хлопчатобумажной промышленности выполнялась для режима 50%-ной рециркуляции очищенной воды.

Изучена кинетика окисления концентрации загрязнений по ХПК и ПАВ для максимальных, средних и минимальных исходных значений величин ХПК и ПАВ сточных вод хлопчатобумажной промышленности. Каждая точка на рисунке является результатом не менее 3-х опытов.

Математическое моделирование основных процессов очистки сточных вод проведено в соответствии с современной теорией статистического анализа экспериментальных данных при использовании метода регрессивного анализа [1, 2].

Предполагаем, что зависимость концентраций загрязнений с $C^{ХПК(t)}$ и $C^{ПАВ(t)}$ в любой момент времени $C(t)$ имеет следующий вид:

$$C(t) = C_0 \cdot e^{-\beta t}, \quad (1)$$

где C_0 – исходная концентрация, мг/л; t – время проведения процесса, мин; β – константа.

Либо уравнение (1) можно преобразовать

$$\ln C(t) = \ln C_0 + \beta t. \quad (2)$$

Однако из-за влияния различных неучтенных факторов, а также действия случайности и помех наблюдения значения $\ln C(t)$ будут в большей или меньшей степени отклоняться от линейной зависимости. В виду этого зависимость $\ln C(t)$ будет не функциональная, а статистическая.

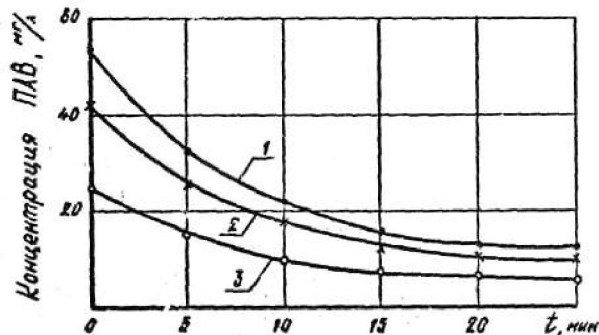
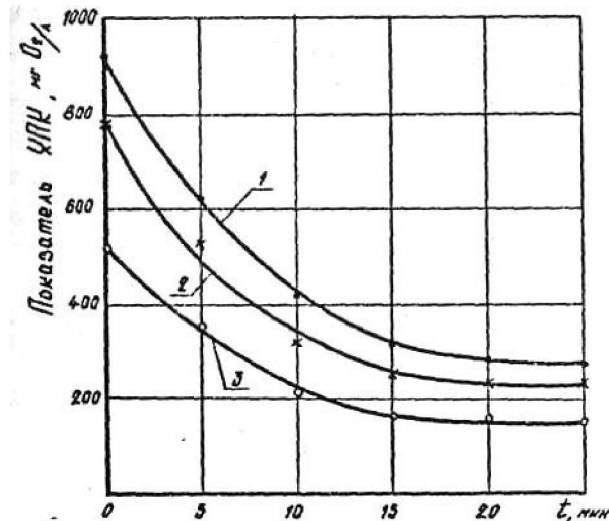
Введя обозначение $y = \ln C(t)$, статистическая модель можно представить

$$y = \alpha + \beta t + \varepsilon(t), \quad (3)$$

где $\varepsilon(t)$ – случайная величина, имеющая нормальное распределение $N(0, G^2)$.

Следовательно, для данного соответствующее значение y состоит из величины $\alpha + \beta t$ плюс добавка $\varepsilon(t)$.

Уравнение (3) является уравнением регрессии [2]. В уравнении регрессии трудно определить $\varepsilon(t)$, в то время как α и β можно оценить по имеющимся наблюдениям $y(t_i)$, где $i = 1, \dots, n$.



Снижение концентрации загрязнений сточных вод хлопчатобумажной промышленности в процессе реагентной напорной флотации:

1 – $ХПК_0 = 920$ мг/л; $С^{ПАВ} = 54$ мг/л;

2 – $ХПК_0 = 920$ мг/л; $С^{ПАВ} = 42$ мг/л;

3 – $ХПК_0 = 920$ мг/л; $С^{ПАВ} = 25$ мг/л

После того, как получим оценки α и β , равные $\hat{\alpha}$ и $\hat{\beta}$, уравнение примет вид

$$y = \alpha + \beta t. \quad (4)$$

Уравнение (4) может быть использовано как предсказывающее уравнение; подстановка в него значений t позволяет предсказать среднее значение y для этого t .

В качестве процедуры оценивания α и β используется метод наименьших квадратов [1]. Суть этого метода заключается в том, что выбираются такие значения a и b , при которых сумма квадратов отклонения истинного значения $y(t_i)$

от предсказанного была бы минимальной

$$S = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \alpha - \beta t)^2 = \min \quad (5)$$

S принимает максимальное значение при

$$\beta = \frac{\sum Y_i \cdot t_i - \frac{1}{n} [(\sum t_i) \cdot (\sum y_i)]}{\sum t_i^2 - \frac{(\sum t_i)^2}{n}}, \quad (6)$$

$$\alpha = \frac{\sum Y_i}{n} - \beta \frac{\sum t_i}{n}. \quad (7)$$

Все расчеты проводилась на ЭВМ БС 1033 с использованием пакета программ регрессионного анализа [2].

Об адекватности рассчитанного уравнения регрессии судят по значению F -критерия Фишера, который показывает во сколько раз сумма квадратов, обусловленных уравнением регрессии, больше суммы квадратов отклонений от этого уравнения.

Если вычисленное значение F больше критического $F_{\text{крит}}$, то модель считается адекватной. На сколько полученное уравнение регрессии объясняет общий разброс данных относительно среднего значения, показывает коэффициент детерминации, выраженных в процентах.

Расчет зависимостей $C^{\text{ХПК}(t)}$ и $C^{\text{ПАВ}(t)}$ осуществляется по данным в моменты времени $t_1 = 0$; $t_2 = 5$ мин; $t_3 = 10$ мин; $t_4 = 20$ мин; $t_5 = 25$ мин. При таком количестве наблюдений и выбранном уровне значимости ($\alpha = 0,05$) $F_{\text{крит}} = 7,7$.

Расчет общей зависимости падения концентраций, как функции от исходного значения концентраций и от времени

$$C(t) = f(C_{\text{нач.}}, t) \quad (8)$$

проводится в два этапа.

На первом этапе осуществляется проверка выполнения свойства линейности по $C_{\text{нач.}}$ функции ($C_{\text{нач.}}, t$), т.е.

$$f(\lambda C_{\text{нач.}}, t) = \lambda f(C_{\text{нач.}}, t). \quad (9)$$

Для этого рассчитывается зависимость $C(t)$ от времени на границе диапазона измерения исходной концентрации $C_{\text{нач. мин.}}$ и $C_{\text{нач. макс.}}$, а также в середине этого диапазона.

На втором этапе рассчитывается зависимость (8) линейная по $C_{\text{нач.}}$ и экспоненциальная по температуре.

В результате расчетов получены уравнения процесса реагентной напорной флотации.

1. Снижения концентраций загрязнений, выраженные показателями ХПК и концентрацией ПАВ, в зависимости от исходных величин этих показателей и времени флотации.

$$C_t^{\text{ХПК}}(C_{\text{нач.}}^{\text{ХПК}}, t) = 0,83 \cdot C_{\text{нач.}}^{\text{ХПК}} \cdot I^{-0,05t}, \quad (10)$$

$$C_t^{\text{ПАВ}}(C_{\text{нач.}}^{\text{ПАВ}}, t) = 0,84 \cdot C_{\text{нач.}}^{\text{ПАВ}} \cdot I^{-0,06t}. \quad (11)$$

2. Времени пребывания сточных вод в реагентном напорном флотаторе в зависимости от исходных и требуемых остаточных величин концентраций загрязнений ХПК и ПАВ

$$t_1 = 20 \ln \left(\frac{C_{\text{нач.}}^{\text{ХПК}}}{C_{\text{нач.}}^{\text{ХПК}}} \right) - 3,7, \quad (12)$$

$$t_2 = 16,7 \ln \left(\frac{C_{\text{нач.}}^{\text{ПАВ}}}{C_{\text{нач.}}^{\text{ПАВ}}} \right) - 2,9. \quad (13)$$

3. Эффект очистки по показателям ХПК и ПАВ в зависимости от времени пребывания сточных вод с реагентном напорном флотаторе

$$\mathcal{E}^{\text{ПАВ}}(t) = (1 - 0,83 \cdot I^{-0,05t}) \cdot 100\%, \quad (14)$$

$$\mathcal{E}^{\text{ПАВ}}(t) = (1 - 0,84 \cdot I^{-0,06t}) \cdot 100\%. \quad (15)$$

Для процесса очистки сточных вод хлопчатобумажной промышленности методом реагентной напорной флотации необходимо рассчитывать дозу коагулянта в зависимости от исходной и требуемой остаточной концентраций ПАВ. В табл. приведены усредненные (по 5-ти опытам) экспериментальные данные удаления ПАВ из сточных вод при оптимальном режиме реагентной напорной флотации – 50%-ной рециркуляции.

Анализ экспериментальных данных табл. и их математическая обработка позволили вывести расчетную зависимость дозы коагулянта от

Снижение концентрации ПАВ в процессе очистки сточных вод хлопчатобумажной промышленности методом реагентной напорной флотации в зависимости от дозы сульфата алюминия

Концентрация ПАВ в исходной воде, мг/л	Концентрация ПАВ в очищенной воде в мг/л при дозах сульфата алюминия, мг/л					
	50	100	150	200	250	300
54	34,5	24	18	15	12	12,1
42	28	20,5	16	13	11,5	10
25	18	13,5	11,5	9	8	7,5

исходной и конечной концентрации ПАВ, которая достаточно хорошо аппроксимируется уравнением:

$$D_k = (19357,6 - 25,5C_{нач}) \cdot C_{кон}^{0,013C_{нач} - 2,334}, \quad (16)$$

где D_k – доза коагулянта, мг, л; $C_{нач}$ – исходная концентрация ПАВ, мг/л; $C_{кон}$ – конечная (остаточная) концентрация ПАВ, мг/л.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ. М.: Мир, 1982. 488 с.

2. Дрейнер Н., Смит Г. Прикладной регрессивный анализ. М.: Статистика, 1973. 391 с.

Резюме

Оттекті (ОХП) және беттік белсенді заттарды (БАЗ) химиялық пайдалану бойынша мақта-мата өнеркәсібінің ақаба суларының ОХП мен БАЗ мөлшерінің ең жоғарғы, орташа және ең төменгі бастапқы мәні үшін ластану тотығуының кинетикасы зерттелді.

Математикалық модельдеу үшін регрессивті талдау әдісі қолданылды.

УДК 661.067.1

Поступила 3.04.07г.