

С. В. Анаников, Ю. И. Азимов, С. Н. Савдур

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ В НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВАХ

Ключевые слова: сеть Петри, биоочистка, сточные воды.

Рассматривается технологический модуль биоочистки углеводородсодержащих стоков. Показана целесообразность использования математического аппарата теории сетей Петри при моделировании и проектировании данного технологического модуля. Построена модель в виде модифицированной сети Петри и на ее основе разработан программный комплекс системы управления биоочистки углеводородсодержащих стоков.

Keywords: Petri net, bioremediation, wastewater.

The article considers flexible technological module of bioremediation of oily water effluents. It shows the expediency in using mathematical Petri network when modeling and designing technological module in oily water effluents treatment. A model in the form of modified Petri network is constructed. This model has become the basis for programmed of automated control system of technological processes of bioremediation of oily water effluents.

Важнейшей современной экологической проблемой является защита водного бассейна от возрастающего объема сбрасываемых загрязненных сточных вод промышленными предприятиями. Поэтому оптимальным вариантом в минимизации потребления воды в промышленном производстве заключается в создании системы оборотного водоснабжения. Решение такой задачи определено разработкой современных системных агрегатов и установок очистки сточных вод, синтезированных для реального промышленного объекта на основе анализа исходных данных по условиям функционирования в широком пределе изменения начальных и граничных значений параметров процесса.

Современные установки очистки сточных вод крупных нефтехимических производств являются структурно сложными системами. Особый интерес представляют условия внештатного функционирования таких систем, когда сточные воды имеют динамически изменяющиеся параметры, как по составу, так и интенсивности потока вплоть до показателей залпового сброса. Эффективность их функционирования можно обеспечить с помощью современных методов обработки информации, применяя методы системного анализа сложных объектов на основе математического описания технологического процесса [1].

В работе использовался системный подход двухуровневого моделирования процессов биохимической очистки нефтесодержащих сточных вод, состоящий из моделей на нижнем и верхнем уровнях, что логично характеризует условия анализа динамики функционирования структурно сложных объектов управления. Структурная схема установки биоочистки нефтесодержащих сточных вод представлена на рис. 1.

Рассматривается моделирование на нижнем уровне – процесса деструкции углеводородов нефти нефтеокисляющими микроорганизмами в струйно-отстойном аппарате.

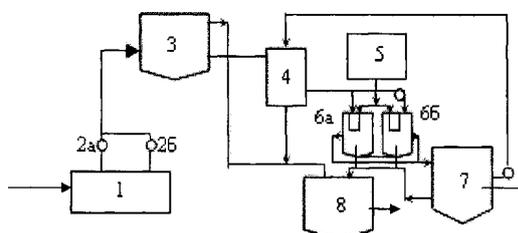


Рис. 1 - Структурная схема установки

Структурная схема установки включает (рис. 1): 1 – накопитель стоков, 2а и 2б – насосы, 3 – первичный отстойник, 4 – усреднитель, 5 – емкости для микроорганизмов и биостимуляторов, 6а и 6б – струйно-отстойные аппараты (СОА), 7 – вторичный отстойник, 8 – шламонакопитель.

Технологический процесс биологической очистки нефтесодержащих сточных вод (НСВ) осуществляется в аппарате колонного типа непрерывного действия – струйно-отстойном аппарате (СОА). Для построения математического описания структуры потоков в СОА весь объем аппарата условно разделили на три зоны. I – верхняя часть колонны – зона смешения, в которой реализуется основной процесс разложения углеводородов. II – средняя часть аппарата – зона оседания, в которой происходит дальнейший процесс биоочистки сточных вод от загрязнений. III – нижняя часть аппарата – зона отстоя, в которой заканчивается процесс разложения углеводородов.

Математическая модель процесса в зоне смешения (I зона) записывается в виде модели идеального смешения:

$$V \frac{dB^{(1)}}{dt} = (B^{(0)} - B^{(1)}) * v + q_B V \quad (1)$$

$$V \frac{dS^{(1)}}{dt} = (S^{(0)} - S^{(1)}) * v - q_S V \quad (2)$$

Начальные условия:

$$B^{(0)} = const, S^{(0)} = const \quad (3)$$

где $B^{(0)}$, $B^{(1)}$ – концентрация микроорганизмов во

входном потоке и в зоне смешения соответственно; $S^{(0)}$, $S^{(1)}$ – концентрация углеводородов нефти во входном потоке и в зоне смешения; q_B – скорость роста микроорганизмов; q_S – скорость окисления нефти микроорганизмами; V – объем зоны аппарата; U – объемная скорость потока.

Кинетические характеристики (параметры) процесса q_B и q_S определяются (рассчитываются) по эмпирическим соотношениям:

$$q_B = \frac{m_{\max} SB}{\left(1 + H^+ / K_1 + K_2 / H^+\right) (K_S + S)} \times \frac{1}{1} - K_d B \quad (4)$$

$$\times \exp \left[\frac{(t_{opt}^0 - t^0)^2}{d} \right] \left(1 + \frac{C_{кат}}{K_{кат1}} + \frac{K_{кат2}}{C_{кат}} \right)$$

$$q_B = - \frac{1}{Y_S} \frac{m_{\max} SB}{\left(1 + H^+ / K_1 + K_2 / H^+\right) (K_S + S)} \times \frac{1}{1} \quad (5)$$

$$\times \exp \left[\frac{(t_{opt}^0 - t^0)^2}{d} \right] \left(1 + \frac{C_{кат}}{K_{кат1}} + \frac{K_{кат2}}{C_{кат}} \right)$$

где m_{\max} – максимальная удельная скорость роста микроорганизмов; K_d – константа скорости отмирания микроорганизмов; Y_S – коэффициент по субстрату, связывающий количество биомассы и количество ушедшего на ее прирост субстрата (углеводородов); K_S – константа полунасыщения (константа сродства субстрату); K_1 и K_2 – константы ингибирования ионами водорода; K_1 описывает ингибирование в кислой области ($H^+ \gg K_1$); K_2 описывает ингибирование в щелочной области ($K_2 \gg H^+$); H^+ – концентрация ионов водорода; t_{opt}^0 – значение температуры, оптимальное для развития микроорганизмов; t^0 – текущая температура; d – температурный диапазон; $C_{кат}$ – концентрация биокатализирующих соединений; $K_{кат1}$ и $K_{кат2}$ – эффективные константы ингибирования – активации в соответствующих областях, pK_1 и pK_2 – константы диссоциации.

Идентификация кинетических параметров скорости реакций q_B и q_S осуществлялось на основе обработки данных, полученных в лаборатории биотехнологии КГПУ и опубликованных в работах Морозова Н.В., Азимова Ю.И.:

$m_{\max} = 0,7$; $K_S = 10$; $pK_1 = 4$; $K_1 = -\lg(pK_1)$; $pK_2 = 9$; $K_2 = -\lg(pK_2)$; $K_{кат1} = 5$; $K_{кат2} = 50$; $t_{opt}^0 = 28^{\circ}\text{C}$; $d =$ от 14°C до 30°C ; $K_d = 0,02$; $Y_S = 1$.

Система уравнений (1, 2) решается совместно с уравнениями кинетики биохимического превращения (4, 5) методом Рунге - Кутты.

Математическая модель очистки нефтесодержащих сточных вод во II зоне - зоне оседания, определена условием, что биопроцесс сопровождается постепенным осаждением распыленных частиц потока и представляется возможность записи процесса в виде однопараметрической диффузионной модели:

$$f \frac{\partial B^{(2)}}{\partial \tau} = -v \frac{\partial B^{(2)}}{\partial x} + f D_L \frac{\partial^2 B^{(2)}}{\partial x^2} + q_B f \quad (6)$$

$$f \frac{\partial S^{(2)}}{\partial \tau} = -v \frac{\partial S^{(2)}}{\partial x} + f D_L \frac{\partial^2 S^{(2)}}{\partial x^2} + q_S f \quad (7)$$

где $B^{(2)}$ – концентрация микроорганизмов в зоне вытеснения; $S^{(2)}$ – концентрация углеводородов в зоне вытеснения; τ_{cp2} – среднее время пребывания элемента потока в зоне вытеснения; D_L – коэффициент продольного перемешивания в процессе осаждения распыленных частиц потока; l – длина зоны осаждения; U – объемная скорость потока НСВ; f – сечение аппарата.

Сформулированные для данной системы уравнений в области изменения переменных начальные и граничные условия имеют вид

$$\tau \in [\tau_{cp1}; \tau_{cp1} + \tau_{cp2}] \quad x \in [0; l],$$

начальные условия:

$$\tau_{cp1} < \tau < \tau_{cp1} + \tau_{cp2},$$

$$B^{(2)}|_{\tau=\tau_{cp1}} = B^{(1)}, \quad S^{(2)}|_{\tau=\tau_{cp1}} = S^{(1)}, \quad (8)$$

граничные условия:

$$B^{(2)}(0; \tau) = B^{(1)}, \quad S^{(2)}(0; \tau) = S^{(1)}, \quad (9)$$

$$\frac{\partial B}{\partial x}|_{x=l} = 0, \quad S^{(2)}(l; \tau) = S^{ПКК}.$$

Система уравнений (6, 7) решается совместно с уравнениями кинетики биохимического превращения (4, 5). Данная система дифференциальных уравнений, описывающих процесс в зоне оседания, нами была решена методом конечных разностей по неявной схеме.

Результаты расчетов по модели представлены на рис. 2, 3.

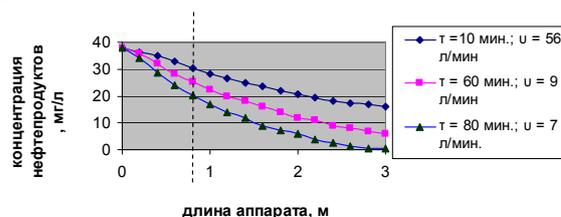


Рис. 2 - Изменение концентрации нефтепродуктов по длине аппарата

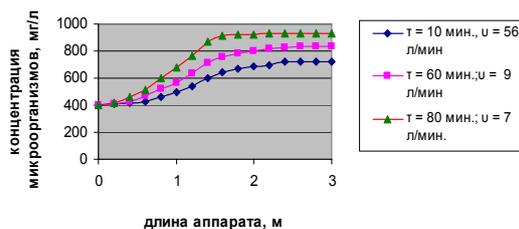


Рис. 3 - Изменение концентрации микроорганизмов по длине аппарата

На рисунке 2 представлены расчетные данные кинетики процесса биохимической очистки нефтесодержащих сточных вод при различных скоростях потока. Расчеты показывают, что допустимая степень очистки достигается при скоростях потока в пределах 7 л/мин. При скоростях потока в пределах 7 л/мин увеличивается количество микроорганизмов в 2 раза (рис. 3), что повышает эффективность процесса биоокисления в СОА.

Для управления процессом очистки нефтесодержащих сточных вод разработана математическая модель технологической схемы и ее программная реализация.

Математическая модель системы биоочистки нефтесодержащих сточных вод (верхний уровень) разработана в виде модифицированной сети Петри, выполнение которой позволяет исследовать функционирование данного комплекса в условиях различных нагрузок и воздействий, а также проводить анализ управляющих алгоритмов [2].

Были построены модели основных аппаратов, реализующих технологический процесс биоочистки. Из СП моделей типовых аппаратов была синтезирована модель всей установки.

С использованием СП-модели нами разработан программный комплекс системы технологического модуля биоочистки нефтесодержащих сточных вод, имитирующей функционирование биоочистки в виртуальном времени.

Средствами SCADA-технологии TRACE MODE разработан программный комплекс системы управления технологическим процессом биологической очистки нефтесодержащих стоков. Существенной особенностью разработанного программного комплекса системы управления технологическим процессом является его способность адаптироваться к технологическому модулю биоочистки любой мощности, как для установки в рамках отдельной бензоколонки, или танкера так и системы водоочистки крупных производств нефтехимии [3].

На представленной (рис. 4) основной экранной форме системы управления БОСВ

отображены основные элементы комплекса биоочистки.

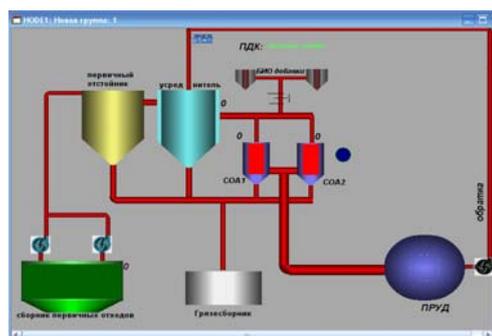


Рис. 4 - Основная экранная форма проекта системы управления БОСВ

Система управления технологического процесса позволяет выполнять следующие действия:

1. диспетчерский контроль основных элементов системы управления (уровень сточных вод, длительность процесса и т. д.);
2. при необходимости остановка системы биоочистки;
3. анализ состояния системы биоочистки в целом и прогнозирование развития внештатных ситуаций.

Литература

1. Кафаров В.В. Гибкие производственные автоматизированные системы химической промышленности / В.В. Кафаров // Журнал ВХО им. Д.И. Менделеева. – 1987. – Т. 32, № 3. – С. 252 – 258.
2. Азимов Ю.И. Технологический модуль очистки нефтесодержащих сточных вод / Ю.И. Азимов, С. Н. Савдур // Известия КазГАСУ. – 2009. - № 2 (12). - С. 227 – 232.
3. Морозов Н.В., Савдур С.Н. Системный подход в управляемой очистке и доочистке нефтесодержащих сточных вод с элементами математического моделирования процесса / Н.В. Морозов, С.Н. Савдур // Материалы ежегодной научно – практической конференции «Инновации РАН – 2010». - Казань, 2010. - С. 65 – 68.

© С. В. Анаников – д-р техн. наук, проф. каф. химической кибернетики КНИТУ, ananikovsv@rambler.ru; Ю. И. Азимов - д-р техн. наук, проф. каф. статистики, эконометрики и естествознания К(П)ФУ; С. Н. Савдур – асс. каф. статистики, эконометрики и естествознания К(П)ФУ, savdur.svetlana@yandex.ru.