

Моделирование процессов биосорбционной очистки сточных вод

Е. К. Грудяева¹, И. И. Шпаковская²

СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

¹lizayo@yandex.ru, ²iishpakovskaya@stud.etu.ru

Аннотация. Промышленные стоки гальвано- и металлообрабатывающих предприятий характеризуются трудноутилизуемыми веществами. Цель работы – анализ динамической математической модели биосорбционной очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. Рассмотрено поведение базовых моделей биологического очистки и сорбции, составляющих основу технологического процесса биосорбции. Произведена модификация математической модели процессов биосорбции. Исследовано влияние концентрации загрязнений на выходе биосорбера в зависимости от концентраций ила, загрязнений и ионов тяжелых металлов на входе. Разработана система управления расходом обратного потока активного ила.

Ключевые слова: биосорбция; очистка; моделирования; регулятор; сточные воды; очистка; биосорбционная технология; моделирование процессов; система управления; пропорциональный регулятор

I. ВВЕДЕНИЕ

Сегодня во всем мире наблюдается тенденция увеличения количества предприятий и, как следствие, рост водопотребления. В связи с этим возникает вопрос о сохранности и рациональном использовании водных ресурсов. Ряд предприятий, занимающихся металлообработкой, нефтепереработкой, нанесением гальванического покрытия, насыщают стоки опасными веществами (нефтепродукты, ионы тяжелых металлов (ИТМ) и т.д.), наличие которых, в соответствии с предельно допустимыми нормами, должно быть минимально и строго регламентировано. Установлено, что наряду с нефтепродуктами именно тяжелые металлы являются тяжелоутилизуемыми отходами производств. Для решения проблемы очистки стоков можно выделить целый комплекс мер, одна из которых – повышения качества очистки сточных вод за счет моделирования и синтеза регуляторов.

Сравнивая биологические, сорбционные методы очистки сточных вод, можно выделить технологию очистки, которая совмещает в себе преимущества биохимического и адсорбционного способа – биосорбция [1].

Основными преимуществами биосорбционной технологии очистки промышленных сточных вод являются повышение скорости очистки, высокая эффективность удаления из воды веществ, устойчивых к биохимическому окислению в обычных аэротэнках и на биофильтрах, а так

же уменьшение влияния «залповых» нагрузок на работу очистных сооружений [3]. Наиболее перспективная технология биосорбционной очистки сточных вод от ИТМ представлена в [3].

Таким образом, целью данной работы является анализ модели технологического процесса биосорбции и разработка системы управления расходом обратного потока активного ила.

II. БИОСОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА СТОКОВ

Как правило, на крупных промышленных предприятиях для очистки вод используют аэротенки – резервуары, через которые пропускается сточная вода с илом, одновременно насыщая жидкость кислородом. За счет аэраторов (пневматических или механических), воздух вводится в резервуар и осуществляется перемешивание обрабатываемой сточной воды с активным илом. Благодаря насыщению сточной воды активным илом и непрерывным поступлением кислорода обеспечивается высокая интенсивность биохимического окисления органических веществ [1]. Однако, некоторые предприятия, такие как гальванообрабатывающие, металлообрабатывающие или нефтеперерабатывающие, имеют специфический состав сточных вод, которые не могут быть очищены биологическим способом.

В середине 90-х годов XX века был разработан новый метод, сначала используемый только для доочистки, а позже – и для полной очистки, заключающийся в совмещении в пространстве и во времени процессов сорбции загрязнений на активном сорбенте с их биологическим окислением. Такой процесс носит название биосорбционной очистки, а аппараты для его реализации – биосорберы [1].

Биосорбция – это процесс, объединяющий во времени и в пространстве биологическое окисление загрязнений микроорганизмами, в том числе фиксированными (иммобилизованными) на сорбенте, и адсорбцию загрязнений на поверхности и в порах сорбента.

Принципиальное отличие биосорбционной технологии от биохимической состоит в том, что рабочая среда имеет три основных компонента – активный ил, другой гранулированный сорбент и сточную воду.

Сорбент в системе с активным илом играет важную роль и выполняет следующие важные функции:

- защищает биоциноз активного ила от негативного действия «залповых» нагрузок, благодаря эффективной адсорбции, при этом обратимо адсорбированные вещества представляют собой доступный субстрат для микроорганизмов;
- является аккумулятором кислорода, накапливая его в поровом пространстве и предупреждая, кислородное голодание простейших и микроорганизмов при кратковременных «залповых» увеличениях концентраций загрязнений вод, поступающих на очистку;
- предоставляет свою поверхность для закрепления ила, способствуя увеличению биомассы в зоне очистки и повышению биохимической активности микроорганизмов. То есть создает благоприятную среду для развития биоценоза.

Микроорганизмы же, ведущие процесс обработки, постоянно регенерируют поверхность адсорбента, то есть постоянно протекает процесс биорегенерации. Биорегенерация – процесс, при котором адсорбированные органические вещества становятся доступными для биоокисления и обновляется поверхность адсорбента.

Эффективность биосорбционного метода очистки, обусловлена следующими процессами, протекающими в биосорбере:

- иммобилизация микроорганизмов на поверхностях адсорбционных материалов;
- адгезионно-сорбционные (за счет сцепления и поглощения) изъятие загрязняющих веществ биопленкой;
- сорбция примесей, в том числе, токсичных компонентов сточных вод на поверхности адсорбента;
- биологическое окисление загрязняющих веществ микроорганизмами, закрепленными на поверхности сорбента.

III. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА БИОСОРБЦИИ

Наиболее перспективная технология биосорбционной очистки сточных вод от ИТМ представлена в [3].

Биосорбционный процесс организуется в биосорбере горизонтального типа путем периодической загрузки гранулированного адсорбента в специальные мешалки, состоящие из трех жестко закрепленных сетчатых барабанов, расположенных на некотором расстоянии от оси вращения (рис. 1). При вращении барабанов ил и абсорбент приходят в движение, при этом обеспечиваются хорошие условия массообмена. Микроорганизмы активного ила развиваются на поверхности адсорбента, что повышает эффективность их работы. Так, при «залповых» нагрузках адсорбент в большей степени поглощает загрязнения, сохраняя условия для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов.

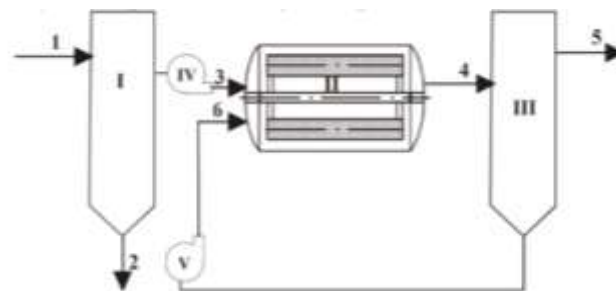


Рис. 1. Принципиальная схема установки: I – первичный отстойник; II – биосорбер горизонтального типа с перемешивающим устройством барабанного типа; III – вторичный отстойник; с анаэробным илом; IV, V – насосы; 1 – сточная вода, содержащая ИТМ; 2 – механические примеси; 3 – сток без механических примесей; 4 – обработанная жидкость в смеси; 5 – очищенная вода; 6 – рецикл анаэробного ила

IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ БИОСОРБЦИИ

Для исследования была выбрана ММ биосорбции [3], представленная в форме системы нелинейных дифференциальных уравнений. Сохраняя идейную основу модели [3], она была модифицирована с целью получения устойчивых режимов, как того требует физический смысл процессов.

При рассмотрении модели биосорбции как объекта управления (рис. 2), в качестве возмущающих входов принимаются концентрации загрязнений L_f , ИТМ Me_f и активного ила X_r . Соответствующие концентрации L , Me , X на выходах объекта следует отнести к управляемым. Управляющее воздействие представляет собой скорость подачи сточной воды v .

Анализируя графики концентраций, можно установить, что при увеличении воздействия концентрации ила X_r , процесс очистки улучшается лишь в малой степени. При увеличении воздействия со стороны концентрации загрязнений L_f процесс очистки проходит ещё интенсивнее, т. е. разность между концентрацией загрязнений, воздействующих на объект, и установившейся концентрацией увеличивается при увеличении воздействия. Воздействия со стороны ИТМ Me не влияют на текущее значение концентрации загрязнений L .

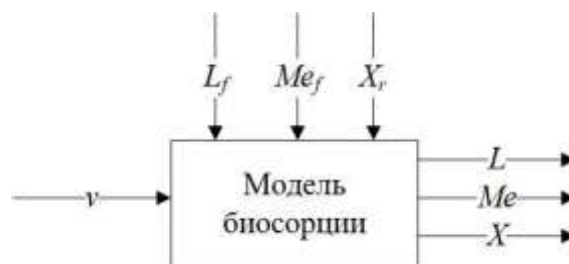


Рис. 2. Модель управляемого объекта

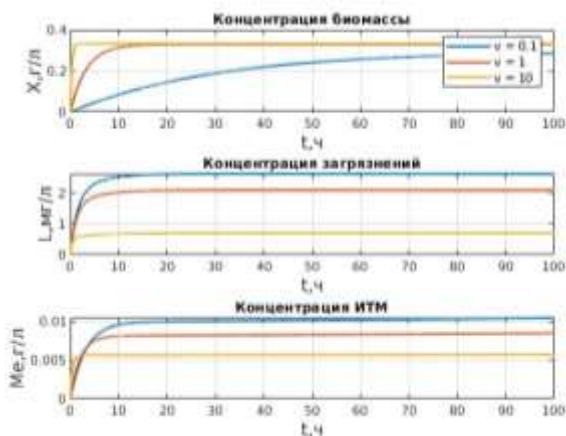


Рис. 3. Динамика изменения выходных сигналов, при изменении скорости подачи стока

Рассмотрев изменения концентраций при разных начальных значениях, было установлено, что начальные значения концентрации загрязнений в биосорбере $L(0)$ не влияют на значения загрязнений в установившемся режиме L на выходе объекта.

Анализ изменения выходных переменных объекта в зависимости от изменения скорости v подачи сточной воды представлен семейством графиков на рис. 3.

Из полученных результатов модельного эксперимента (рис. 3) можно отметить, что концентрация ила X в установившемся режиме не зависит от изменения скорости v , тогда как изменения концентрации суммарных загрязнений L и ИТМ Me в установившемся режиме уменьшается при увлечении скорости v .

V. СИНТЕЗ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДОМ СТОЧНОЙ ВОДЫ

Простейшим способом управления процессами биоочистки в биосорбере является регулирование скоростью подачи сточной воды в аппарат. Так как регулирование будет производиться по расходу стоков Q , насосная установка будет входить в состав объекта управления (рис. 4).

Помимо ценовой характеристики, к насосной установке предъявляется требование – насос должен иметь возможность перекачивать плотную, густую жидкость, с средним расходом не менее $1 \text{ м}^3/\text{ч}$. Для этих целей помимо стандартного винтового насоса, подходят такие насосы, как перистальтический и шламовый. Например, можно рекомендовать шламовый насос ШН 250-34 с напряжением питания 380 В и максимальным расходом $250 \text{ м}^3/\text{ч}$. В обратной связи необходимо установить расходомер, который может работать с густой неоднородной жидкостью. Для этих целей подходит ультразвуковой расходомер, например ПИР RF5107 или LUXUS F608.

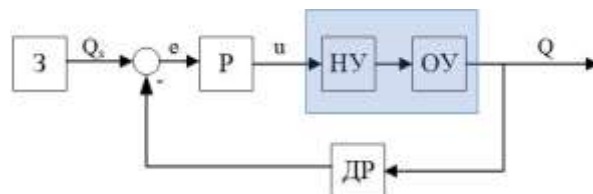


Рис. 4. Функциональная схема регулирования расходом сточной воды: ОУ – объект управления; НУ – насосная установка; Р – регулятор; ДР – датчик расхода; З – задатчик

Для вычислительных экспериментов был выбран регулятор с пропорциональным законом управления. При изменении коэффициента настройки регулятора были получены семейства графиков изменения концентраций на выходах биосорбера (рис. 5), так же семейство графиков ошибки регулирования расходом (рис. 6).

Исходя из проведенных экспериментов, можно сделать заключение, что управляя расходом, наилучшее решение достигается при использовании П-регулятора с коэффициентом $k_p = 10$. Установившаяся ошибка при заданных значениях параметров будет равна 0,05 %.

Таким образом, управляя только расходом сточной воды, поступающей в аппарат, появляется возможность влиять на динамические характеристики системы управления, например, уменьшить время переходного процесса концентраций биомассы, загрязнений и отдельно ИТМ. Однако, регулируя только расход сточной воды, не возможно влиять на установившееся значение концентрации активного ила в биосорбере. Поэтому существует необходимость разработки многомерной системы регулирования. Только увеличивая количество управляемых величин в системе, можно достичь необходимого качества управления.

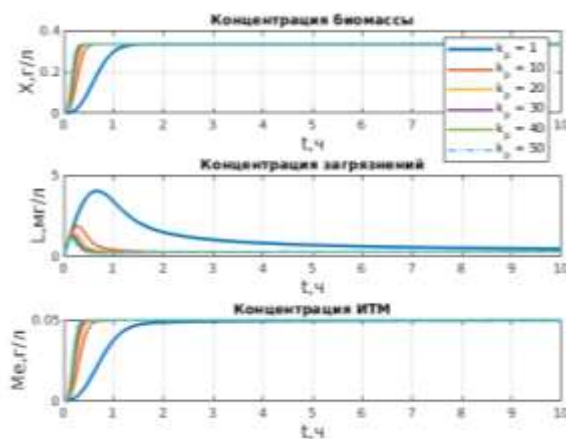


Рис. 5. Графики изменения переходного процессов изменения концентраций на выходах биосорбера

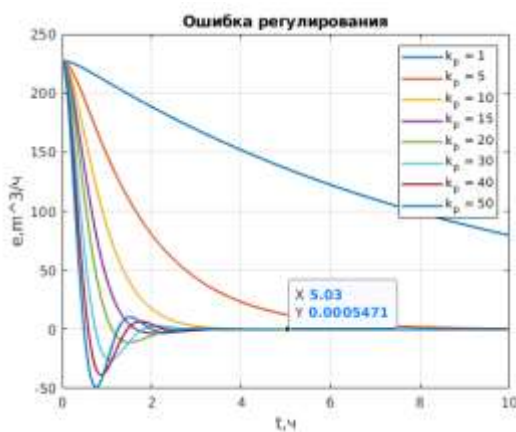


Рис. 6. Графики изменения и ошибки регулирования при различных настройках регулятора

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа различных методов биологической очистки промышленных сточных вод были установлены преимущества биосорбционной технологии, которые заключаются в повышенной скорости очистки воды, высокой эффективности удаления из воды веществ, устойчивых к биохимическому окислению, уменьшении

влияния «залповых» нагрузок на работу очистных сооружений.

В ходе вычислительного эксперимента была произведена модификация известной математической модели биосорбционной очистки.

Система регулирования по расходу обратного потока активного ила позволяет увеличивать или уменьшать концентрацию загрязнений, но не дает возможности влиять на концентрацию ила, что требует создания многомерной системы регулирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ручай Н.С., Маркевич Р.М. Экологическая биотехнология: Учеб. пособие. Минск: Изд-во БГТУ, 2006. 312 с.
- [2] Вавилин В.А., Васильев В.Б. Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод активным илом. М.: Наука, 1979. 119 с.
- [3] Шулаев М.В. Научные основы обезвреживания жидких отходов гальванических и металлообрабатывающих производств с использованием анаэробной биосорбционной технологии: дисс. доктора техн. наук / Казан. гос. ун-т, Казань, 2009.
- [4] Грудяева Е.К., Душин С.Е. Моделирование управляемых процессов биологической очистки сточных вод. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. 222 с.