

Е. И. Семенова

г. Киев

Интенсификация
биохимического окисления
загрязнений судовых
(подсланевых)
сточных вод воздействием
электрического тока
на активный ил

Совет Министров СССР обязал Госстандарт СССР внести в стандарты по охране природы и рациональному использованию природных ресурсов изменения, направленные на предотвращение загрязнения окружающей природной среды отработанными нефтепродуктами [1]. В частности, имеют

ся в виду судовые очистные установки, от эффективности работы которых зависит успех природоохранных мероприятий в широких масштабах (соблюдение и восстановление чистоты акваторий рек и прибрежной части морей).

Увеличение степени очистки сточных вод судов от нефтепродуктов непосредственно связано с интенсификацией работы очистных установок, усовершенствования технологических схем и конструкций очистных аппаратов. Достигнуть этой цели путем увеличения объемов установок практически невозможно ввиду особых условий их монтажа на кораблях или в виде плавучих очистных станций. Увеличение числа портовых очистных установок также маловероятно из-за стесненности территорий размещения.

Для очистки судовых (подсланевых) сточных вод наиболее распространен метод биохимического окисления загрязнений активным илом. Преимущества этого метода — в простоте конструктивного оформления, высокой степени устойчивости процесса, минимальных эксплуатационных затратах, незначительном количестве и стабильности осадка, сравнительно легко поддающегося уплотнению и обезвоживанию.

Используемый биологический реагент — активный ил — характеризуется самовоспроизводимостью и богатством состава микрофлоры, адаптирующейся к изменяющимся условиям и легко подвержен-

ной стимулирующему воздействию различных биохимических и физических факторов. В частности, наиболее практически осуществим и высоко эффективен метод электростимулирования деятельности активного ила слабыми токами.

Влияние электрического тока на жизнедеятельность микробных популяций активного ила, используемого для биохимической очистки городских сточных вод, освещено в [2, 3].

Установлено, что под действием электрического тока в активном иле формируется специфическая микрофлора, адаптированная к жизнедеятельности в условиях определенных потенциалов в жидкой среде, причем эта микрофлора характеризуется повышенной активностью. Количество состава отдельных физиологических групп микроорганизмов также увеличено наряду с увеличением числа этих групп.

Известны параметры процесса с электростимулированием активного ила: переменный электрический ток силой от 12 до 22 мкА при напряжении 3,25 мВ, подаваемый на пластинчатые электроды при плотности тока 1,21 мкА/см², обусловил увеличение активности ила почти в 4 раза. Метаболическая активность ила оценивалась при этом по уровню удельной активности дегидрогеназ [3].

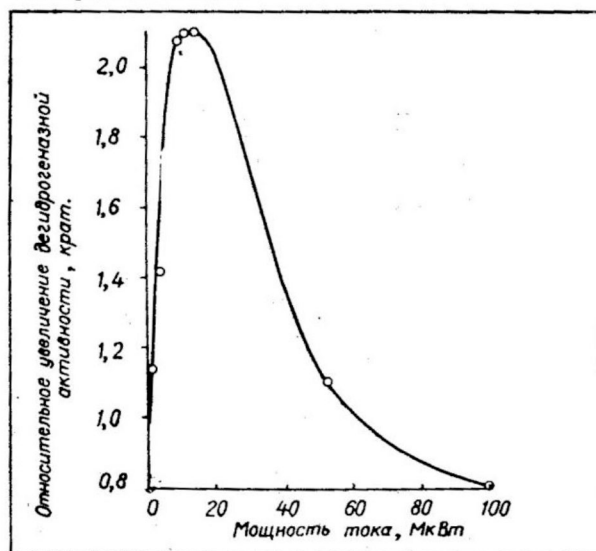
Экспериментальная проверка хода процесса биохимического окисления загрязнений подсланевых сточных вод с электростимулированием деятельности активного ила, адаптированного к данному виду загрязнений, показала, что перенос вышеуказанных параметров, полученных при очистке городских сточных вод, на очистку подсланевых стоков неправомерен.

Цель исследований — определение рабочих параметров электростимулирования процесса биохимической очистки судовых (подсланевых) сточных вод активным илом в аэротенках. Исследования проведены в сопоставлении с контролем работы опытной установки, режимы которой отличались исключительно влиянием электрического тока на активный ил в зоне аэрации.

Установка представляла собой сблокированный комплекс аэротенка и вторичного отстойника. Емкость аэротенка 10 л. Возврат активного ила из вторичного отстойника в аэротенк осуществлялся эрлифтом. Аэрирование иловой смеси в аэротенке производилось лабораторным мембранным компрессором с использованием ресивера, что позволило обеспечить непрерывный и стабильный режим аэрации.

В камере аэрации были установлены два электрода из нержавеющей стали в виде пластин раз-

Рис. 1. Зависимость относительного изменения удельной дегидрогеназной активности ила при воздействии на активный ил полем переменного электрического тока



мером 130×250 мм, в электродах были проделаны отверстия для обеспечения нормальной циркуляции активного ила в аэротенке. Двухступенчатым трансформированием электрического тока обеспечивалось плавное изменение напряжения на электродах в пределах 0—200 мВ, ток при этом также изменялся от 0,3 до 1 мА. Таким образом в ходе эксперимента возможно было изменять мощность тока от 1 до 100 мкВт.

Основным критерием для воспроизведения условий исследований, описанных в [1, 2], была принята плотность тока $\sim 1,2\text{--}1,4$ мкА/см²; с учетом площади отверстий в пластинах плотность тока в описываемых исследованиях доводилась до 2 мкА/см².

Технологической модификацией процесса очистки считали полное окисление загрязнений, т. е. режим, в котором скорость изъятия загрязнений по БПК_{полн} не превышала бы 6 мг/г·ч в расчете на беззольную массу активного ила согласно СНиП 11-32-74 [4]. В контрольном эксперименте и в опыте с электростимулированием время аэрации составляло 12—12,5 ч, исходная концентрация активного ила была выбрана 2,8 г/л по сухому веществу при зольности ила $\sim 30\%$. Оба эксперимента (контрольный и опытный) длились 7 суток, причем в этот период избыточный ил не удалялся, чтобы исключить резкие колебания нагрузок на ил, наиболее неблагоприятные в условиях малого объема лабораторной опытной установки.

Рабочие параметры процесса очистки рассчитывались усредненно по массиву данных анализов с использованием метода наименьших квадратов при определении наиболее вероятной расчетной величины. Показатели загрязненности воды, поступающей на очистку и прошедшей очистку, определены по концентрации нефтепродуктов (НП), химической (ХПК) и биохимической (БПК) потребности в кислороде. Для сопоставления контрольных и опытных данных БПК определялась по инкубированию 5-суточной пробы; скорость изъятия загрязнений по БПК_{полн} рассчитывалась согласно корреляции между БПК₅ и БПК_{полн}, определенной предварительно опытным путем на конкретной сточной жидкости, используемой в дальнейшем при экспериментальных исследованиях.

Наиболее вероятные значения показателей загрязненности сточной жидкости, поступающей на очистку, по НП, ХПК и БПК₅, а также величины скоростей изъятия загрязнений по НП и БПК_{полн} рассчитаны с надежностью 95%. Практически рассчитанные величины погрешности не выходили за пределы 5%.

Вначале был проведен эксперимент в широком диапазоне значений мощности тока, накладываемого на активный ил в камере аэрации как стимулирующий агент,—от 1,4 до 99,6 мкВт. Контроль состояния и уровня активности ила осуществлялся по определению дегидрогеназной активности согласно общепринятой методике [5]. На ил воздействовали током мощностью 1,4; 3,3; 9,25; 11,75; 13,56; 52,0; 99,6 мкВт.

Данные рис. 1 отражают отклик уровня активности ила на воздействие различными количествами электричества, выраженными мощностью тока. Поскольку участок кривой на рис. 1 в пределах от 0 до 20 мкВт близок к параболе, имеющей в этом диапазоне экстремум, для отыскания корреляционной связи между уровнем активности ила и мощностью тока вполне достаточным является анализ кривой отклика второго порядка вида

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2, \quad (1)$$

где y — уровень дегидрогеназной активности ила; x — мощность тока, a_0 , a_1 и a_2 — эмпирические коэффициенты.

Интерполирование функции многочленом в общем случае означает нахождение таких эмпирических коэффициентов в уравнении многочлена (1), при которых мера отклонения последнего от функции была бы минимальной. Такой мерой является среднее квадратичное отклонение

$$\sigma = \sum_{i=1,4}^{20,72} [y_i - (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2)]^2. \quad (2)$$

В уравнении (2) величина среднего квадратичного отклонения является функцией трех переменных: a_0 , a_1 и a_2 . Минимум этой функции будет в том случае, если три частных производных по этим функциям приравнять нулю:

$$\begin{aligned} -\frac{1}{2} \frac{\partial \sigma}{\partial a_0} &= \sum [y_i - (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2)] = 0; \\ -\frac{1}{2} \frac{\partial \sigma}{\partial a_1} &= \sum [y_i - (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2)] x_i = 0; \end{aligned} \quad (3)$$

$$-\frac{1}{2} \frac{\partial \sigma}{\partial a_2} = \sum [y_i - (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2)] x_i^2 = 0.$$

После раскрытия сумм система уравнений (3) приобретает вид

$$\sum y_i = 12a_0 + a_1 \sum x_i + a_2 \sum x_i^2;$$

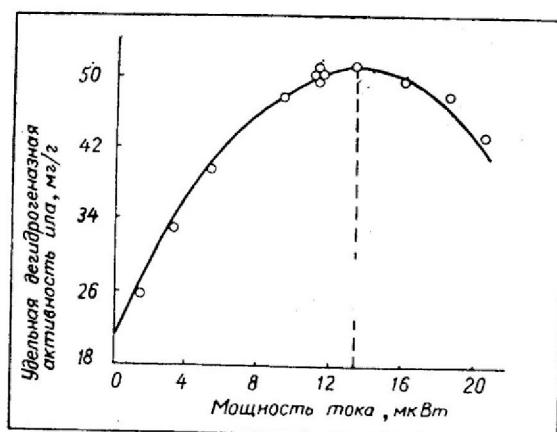


Рис. 2. График аппроксимирующей функции $y=20,31+4,36x-0,16x^2$, выражающей зависимость удельной дегидрогеназной активности ила от мощности переменного электрического тока

Сравнение основных показателей процесса очистки подсланевых сточных вод с электростимулированием активного ила

Показатели загрязненности сточной жидкости и параметры процесса	Вода		Эфф. фкт. %
	исходная	очищенная	
<i>Без электростимулирования</i>			
Концентрация, мг/л нефтепродуктов	79,67	1,23—0,047	98,5
загрязнений по БПК ₅	99,6—2,15	22,86—0,4	77,0
загрязнений по ХПК	268,9—6,2	112,86—8,37	58,0
Скорость изъятия, мг/г·ч нефтепродуктов	—	1,71—0,11	—
загрязнений по БПК _{полн}	—	2,22—0,07	—
<i>С электростимулированием</i>			
Концентрация, мг/л нефтепродуктов	75,92	1—0,045	98,7
загрязнений по БПК ₅	93,6	20,65—0,39	77,93
загрязнений по ХПК	240—6,17	83,6—3,24	65,2
Скорость изъятия, мг/г·ч нефтепродуктов	—	3,01—0,08	—
загрязнений по БПК _{полн}	—	4,02—0,23	—

Примечание. При значении показателей приведены величины погрешности среднеквадратичного отклонения

Примечание. При значении показателей приведены величины погрешности среднеквадратичного отклонения.

$$\Sigma x_i y_i = a_0 \Sigma x_i + a_1 \Sigma x_i^2 + a_2 \Sigma x_i^3; \quad (4)$$

$$\Sigma x_i^2 y_i = a_0 \Sigma x_i^2 + a_1 \Sigma x_i^3 + a_2 \Sigma x_i^4.$$

По данным измерений x_i и y_i суммы, входящие в уравнение (4), равны: $\Sigma y_i = 531,04$; $\Sigma x_i = 135,77$; $\Sigma x_i^2 = 1906,23$; $\Sigma x_i y_i = 6356,34$; $\Sigma x_i^3 = 29621,03$; $\Sigma x_i^4 = 492634,22$; $\Sigma x_i^2 y_i = 89637,08$.

Получаем систему уравнений с неизвестными коэффициентами

$$12a_0 + 135,77a_1 + 1407,37a_2 = 531,04;$$

$$135,77a_0 + 1906,23a_1 + 29621,03a_2 = 6356,34; \quad (5)$$

$$1906,23a_0 + 29621,03a_1 + 492634,22a_2 = 89637,08.$$

Решая эту систему трех уравнений с тремя неизвестными, получаем: $a_0 = 20,31$; $a_1 = 4,36$; $a_2 = -0,16$.

Аппроксимирующий многочлен (1) в численном виде

$$y = 20,31 + 4,36x - 0,16x^2 \quad (6)$$

выражает наиболее приближенную кривую зависимости удельной дегидрогеназной активности ила от мощности тока. Приравняв первую производную этого уравнения к нулю, находим координаты экстремальной точки: $y' = 4,36 - 0,32x = 0$; $x = 13,63$, $y = 50,03$, т. е. optimum мощности тока составляет 13,63 мВт, при этом удельная дегидрогеназная активность достигнет максимума 50,03 мг/г.

На рис. 2 представлена кривая уравнения (6) с нанесенными экспериментальными точками. Высокая степень совпадения точек с аппроксимирующей кривой свидетельствует о значимости коэффициентов уравнения (6), не требуется, следовательно, и проверка.

При стабильном значении найденного optimuma мощности тока — в среднем ~13 мВт, были определены основные показатели очистки подсланевых сточных вод активным илом. Данные опытов обработаны методом наименьших квадратов. Эти результаты представлены в таблице. Сравнительный анализ позволяет сделать некоторые обобщения.

Стимулирование жизнедеятельности активного ила электрическим током позволило увеличить скорость процесса изъятия загрязнений и одновременно повысить эффективность очистки сточной жидкости.

Недостаточно высокий эффект очистки по БПК_{полн} (77—78%) объясняется неудовлетворительной работой вторичного отстойника в условиях модельной установки малого размера, что широко известно в практике экспериментальных исследо-

ваний процессов очистки сточных вод и вполне объяснимо с точки зрения современной теории масштабного переноса и моделирования химико-технологических процессов. Однако и в этих условиях при электростимулировании удалось повысить эффект снижения БПК₅ с 77 до 78%, несомненно, за счет увеличения глубины процесса окисления загрязнений. Этот вывод подтверждается также увеличением скорости изъятия загрязнений по БПК_{полн} (скорости окисления) в 1,82 раза.

Описанное исследование не ставило перед собой задачу выяснения механизма воздействия электрического тока на клетки микроорганизмов активного ила. Эта задача имеет фундаментальное значение и должна составить предмет внимания специальных отраслей науки. Однако изучение только одной из количественных характеристик рассматриваемого явления позволяет непосредственно осуществить технологию интенсифицированного процесса биохимического окисления судовых сточных вод на практике с определенным положи-

тельным техническим и экономическим эффектом, т. е. реальным образом выполнить законодательные акты в области охраны окружающей среды.

Литература

1. Полнее использовать отработанные нефтепродукты.— Известия, 1980, 28 марта.
2. Ткачук Н. Г. Влияние электрического тока на рост и ферментативную активность микроорганизмов активного ила.— Электронная обработка материалов, 1978, № 4, с. 78—79.
3. Ткачук Н. Г. Микробиологическая и гидробиологическая характеристика активного ила, подвергнутого электрической обработке.— В кн.: Наука и техника в городском хозяйстве. Киев: Будівельник, 1979, № 41, с. 45—47.
4. Строительные нормы и правила СНиП 11-32-74. Канализация. Наружные сети и сооружения. М.: Стройиздат, 1975.
5. Методика проведения технологического контроля работы очистных сооружений городских канализаций. М.: Стройиздат, 1971.

Поступила 23.VI 1980