

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА КОМБИНИРОВАННЫХ БИООКСИЛИТЕЛЯХ

Канд. техн. наук, доц. ЯРОМСКИЙ В. Н., докт. техн. наук, проф. МИХНЕВИЧ Э. И.

*Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси,
Белорусский национальный технический университет*

Обезвреживание и утилизация сточных вод – одна из самых важных экологических проблем настоящего времени, и в этом направлении разработаны разнообразные технологические приемы, в основе которых лежат биохимические процессы деструкции вредных компонентов сточных вод. В мировой практике основными сооружениями биологической очистки являются аэротенки и биофильтры. Однако этим биоокислителям присущи следующие недостатки. Аэротенки являются очень энергоемкими сооружениями, а биофильтры имеют сравнительно небольшую пропускную способность. И тем и другим биоокислителям присущ общий недостаток – небольшая нагрузка по органическим веществам (БПК_{полн} не более 500 мг/дм³ для биофильтров и 1000 мг/дм³ для аэротенков) [1].

Поиск новых технических решений в области очистки сточных вод привел к созданию комбинированных биоокислителей, в которых сглаживаются недостатки биофильтров и аэротенков и объединяются их преимущества. В комбинированных биоокислителях процесс биохимической очистки осуществляется как свободноплавающим, так и прикрепленным биоценозом. Такими комбинированными биоокислителями являются: погружные биофильтры (дисковые, шнековые, барабанные с наполнителями, трубчатые), циркуляционные окислительные каналы, сблокированные с погружными биофильтрами, биореакторы. Однако их применение сдерживается отсутствием технологических параметров, характеризующих процессы очистки сточных вод, в частности для предприятий пищевой промышленности. Проведенные до

настоящего времени исследования о процессе очистки на комбинированных биоокислителях являются неполными, а иногда и противоречивыми [2–5].

Цель настоящей работы – исследование процесса аэробной очистки сточных вод молокоперерабатывающего предприятия на комбинированных биоокислителях. Объектом исследования являлись производственные сточные воды молочного комбината. Изучение качественного состава этих вод показало, что концентрации компонентов загрязнений сточных вод имеют значительный диапазон колебаний, химический показатель кислорода (ХПК) изменяется от 0,6 до 3,5 г О₂ на 1 дм³, БПК₅ – от 0,3 до 5,0 г О₂ на 1 дм³, общий азот – от 20 до 168 мг/дм³, общий фосфор – 15–30 на 1 дм³, а водородный показатель рН изменяется от 6,3 до 9,2.

Фазово-дисперсный состав молочного стока относительно однороден. Дисперсная фаза представлена в основном частицами скоагулированного белка и жира. В растворенном состоянии находятся органические кислоты, молочный сахар. Содержание лактозы в стоке колеблется в пределах 0,04–0,25 %, протеина – 0,075–0,26 %. Соотношение углерода и азота в составе довольно высокое – 7–8. Отношение БПК₅:ХПК стока составляет 0,63, отношение БПК₅:N:P = 100:5:0,9. Имеющийся в сточных водах состав загрязнений, с одной стороны, и численное соотношение биогенных веществ, с другой стороны, позволили сделать вывод, что наиболее эффективным методом очистки молочного стока является биохимический метод [6]. Аэробную очистку сточной воды

производили на экспериментальной установке с пропускной способностью 0,8–1,2 м³/ч. Установка оборудована перфорированными дисками диаметром 0,3 м. Общее количество дисков – 34 шт. Материал дисков – поливинилхлорид. Частоту вращения дисков изменяли с 2,4 до 11,3 об/мин. Максимальное время контакта сточной жидкости с биопленкой, образующейся на дисках, составляло до 70 мин. Все исследования проводили по одноступенчатой схеме очистки (дисковый биофильтр-отстойник). В процессе эксперимента контролировали температуру сточных вод, которая была в пределах 21–26 °С. Для оценки эффективности функционирования биоокислителя наблюдали за изменением загрязненности сточной воды по величине ХПК. Состав сточных вод анализировали по общепринятым показателям стандартными методиками [7]. В процессе эксперимента определяли толщину образовавшейся на дисках биопленки и количество свободноплавающей биопленки. Количество свободноплавающей биопленки определяли объемным способом. Продолжительность непрерывной работы биоокислителя в ходе эксперимента составила 1 мес. Эксперимент проводили на локальных очистных сооружениях Пружанского молочного комбината.

В начальный период исследований, когда происходило формирование биопленки на дисках, подавали сточную воду с ХПК, равным 1000 мг/дм³. Длительность периода составила 5 сут., толщина биопленки на дисках – 3 мм. Биопленка ровным слоем покрыла диски. В дальнейшем на экспериментальную установку подавали сточную жидкость с увеличением органической нагрузки по ХПК от 1000 до 3000 мг/дм³. На каждом этапе увеличения органической нагрузки с помощью вариатора изменяли частоту вращения дисков с 2,4 до 11,3 об/мин. При этом контролировали показатели сточных вод (рН, ХПК, *t*, общий азот, общий фосфор) на входе и выходе из установки, а также определяли объем прикрепленного и свободноплавающего биоценоза.

Результаты экспериментальных исследований показали, что деструкция загрязнений сточной воды спонтанно развивающимися аэробными микроорганизмами протекает в начальный период времени с достаточно высокой скоростью, с резким снижением величины ХПК

на 60 % за первые полчаса. Далее скорость очистки замедлялась, и за последующие полчаса она составила 6 % (рис. 1). Продолжительность очистки напрямую зависит от интенсивности массообменных процессов, происходящих на дисках, покрытых биопленкой, а также в биопленке, находящейся в свободноплавающем состоянии.

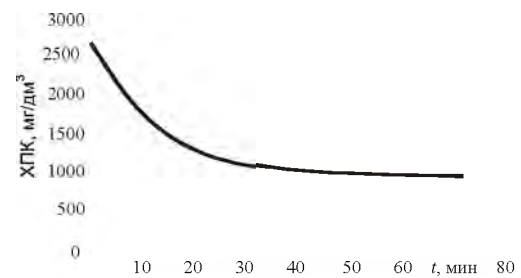


Рис 1. Зависимость ХПК от времени пребывания сточных вод в сооружении

Интенсивность массообменных процессов можно характеризовать удельной скоростью окисления органических загрязнений сточных вод. На рис. 2 представлена зависимость эффекта очистки Θ (%) от удельной скорости окисления. В начальный период процесса очистки градиент удельной скорости окисления заметно возрастает, а затем замедляется. Основной элемент комбинированного окислителя – диски (биомодули). Они находятся в постоянном вращательном движении, причем их поверхность покрыта биологической пленкой, которая аналогична по своим функциональным назначениям активному илу и находится в прикрепленном и свободноплавающем состоянии. Толщина прикрепленной биопленки определяется в основном характеристиками очищаемой сточной воды, материалом дисков, частотой их вращения и находится в пределах 1–4 мм. В среднем эта величина эквивалентна концентрации иловой смеси до 10 г/л, если это была взвешенная биомасса. Загрязнения изымаются прикрепленной биологической пленкой и отторгнутой, находящейся во взвешенном состоянии под воздействием кинематического течения жидкости. Процесс изъятия загрязнений осуществляется при контакте субстрата с поверхностью биопленки за счет адгезии, сорбции, диффузии, деструкции.

В комбинированных биоокислителях при создании оптимального гидродинамического ре-

жима отторгнутая биопленка продолжает работать аналогично активному илу, т. е. в сооружении совмещаются два процесса удаления загрязнений – за счет прикрепленной и свободноплавающей биомассы, что увеличивает окислительную мощность сооружения.

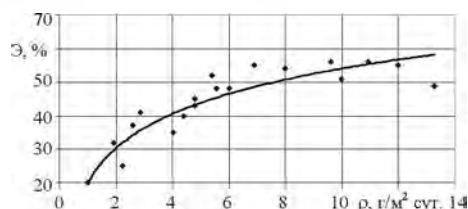


Рис. 2. Зависимость эффекта очистки от удельной скорости окисления

Следует отметить тот факт, что диски не только являются носителями биоценоза, но и аэрирующим устройством. Диски одновременно выполняют функции мешалки, объекта сорбции и окисления загрязнений. Частота вращения дисков оказывает существенное влияние на процесс очистки сточных вод. На рис. 3 представлена зависимость эффекта очистки от частоты вращения дисков. Из графика видно, что при увеличении частоты вращения дисков эффективность очистки возрастает. Но увеличение частоты вращения дисков имеет границы, ибо наступает момент, когда происходят стирание биопленки и мощное разбрызгивание жидкости. Как показал эксперимент, работа дисков в подобном режиме практически не увеличивает скорость изъятия загрязнений, а с точки зрения энергопотребления является неприемлемой. Установлено, что значение оптимальной частоты вращения возрастает с увеличением начальной концентрации загрязнений и не влияет на процесс очистки при достижении максимальной скорости изъятия загрязнений. В ходе эксперимента также замечено, что при малой частоте вращения дисков отторгнутая биопленка осаждается и не участвует в процессе очистки сточных вод.

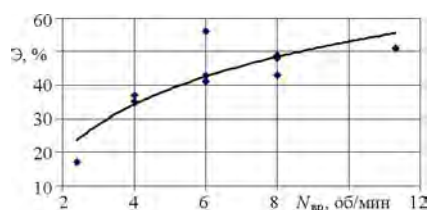


Рис. 3. Зависимость эффекта очистки от частоты вращения дисков

В технологическом смысле вращение дисков должно обеспечивать перемешивание и поддержание во взвешенном состоянии отторгнутой биопленки.

В ходе экспериментальных исследований определили количество прикрепленной и свободноплавающей биопленки. На рис. 4 представлена зависимость отношения объемов свободноплавающей биопленки к прикрепленной от частоты вращения дисков. Между ними существует прямопропорциональная зависимость. Однако оптимальная частота вращения соответствует наибольшему отношению, равному 15–23 %. Это подтверждается зависимостью эффекта очистки от отношения объемов свободноплавающей биопленки к прикрепленной, представленной на графике (рис. 5). Увеличение частоты вращения дисков способствует росту количества свободноплавающей биопленки, но опять же до определенного предела. И этим пределом является оптимальная частота вращения, которая соответствует 10–12 об/мин.

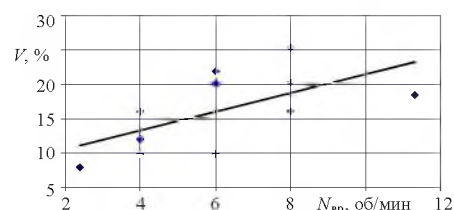


Рис. 4. Зависимость отношения объемов свободноплавающей биопленки к прикрепленной от частоты вращения дисков

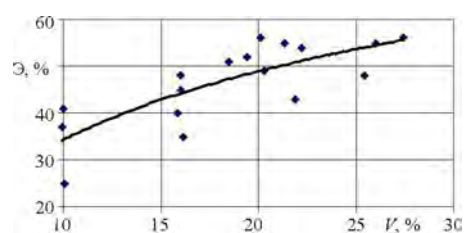


Рис. 5. Зависимость эффекта очистки от отношения объемов свободноплавающей биопленки к прикрепленной

Кроме того, частота вращения, ее интенсивность сказываются на температурном состоянии очищаемой сточной жидкости.

Окислительные процессы на температурный фактор T корректируются температурным коэффициентом скорости реакции K_T

$$K_T = K_{20} \theta^{T-20^{\circ}\text{C}},$$

где $K_{20} = 0,2$ – температурный коэффициент скорости реакции при $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\theta = 1,006$ – для диапазона температур сточной жидкости $11\text{--}18\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\theta = 1,002$ – для диапазона температур $18\text{--}27\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Температура сточных вод молокоперерабатывающих предприятий находится, как правило, во втором диапазоне температур. В табл. 1 представлены данные по контролю температуры сточных вод в ходе проведения эксперимента. Из табл. 1 видно, что в результате контакта поверхности дисков с воздухом происходит охлаждение сточной жидкости примерно на $2\text{--}3\text{ }^{\circ}\text{C}$, но это не оказывает существенного влияния на процесс биохимической очистки.

Таблица 1
Значения температуры сточной жидкости в процессе эксперимента

	$t, \text{ }^{\circ}\text{C}$									
На входе в установку	21,1	22,9	25,3	28,8	27,1	20,1	23,7	24,6	21,7	
На выходе из установки	18,5	20,3	22,4	25,5	25,1	16,0	20,6	21,0	17,6	

В отношении изменения рН сточной жидкости, прошедшей биохимическую очистку на экспериментальной установке, выявлены следующие закономерности. При поступлении сточной жидкости на очистку с рН = 9–11 происходит снижение этих значений до уровня рН = 7,0–7,5 на выходе из установки. При поступлении сточной жидкости с рН = 7–8 в процессе очистки происходит снижение рН до значений 5–6, а на выходе из установки – увеличение до 7,0–7,5. Такая закономерность объясняется предположительно тем, что между кисломолочными бактериями и плесенью, присутствующими, как показал микробиологический анализ, наблюдается симбиоз. Бактерии создают кислую среду, благоприятную для плесени, не угнетающую развитие самих бактерий. Плесени в процессе своей жизнедеятельности разлагают белки и повышают при этом рН, обогащая среду продуктами белкового распада. Это благоприятно сказывается на развитии кисломолочных бактерий. Этот процесс можно разбить на несколько стадий. На первой стадии биохимической очистки молочного стока первоначально наблюдают кисломолочные бактерии в виде подвижных палочек. При этом быстро происходит подавление других микроорганизмов, отмечается резкое снижение рН

и наличие кисломолочного запаха. Поступающий сток белого цвета быстро становится прозрачным. Затем наступает стадия развития плесени, для жизнедеятельности которых требуется среда низких значений рН, что и создается кисломолочными бактериями. Плесени разлагают молочный белок, продукты распада которого вызывают подщелачивание среды. В результате их развития появляется интенсивный запах и рН постепенно повышается от 5–6 до 7–8. Далее наступает стадия развития простейших аэробных микроорганизмов. Сточная вода становится прозрачной с отсутствием запахов. Перечисленные стадии развития биоценоза в динамических условиях процесса биохимической очистки и определяют выявленную закономерность изменения рН. В табл. 2 представлены сведения об изменении показателя рН молочного стока до и после очистки в процессе эксперимента.

Таблица 2
Значения рН сточной жидкости в процессе эксперимента

рН до очистки	11,5	10,5	7,7	9,8	9,5	7,3	9,3	7,1	7,1	9,15	7,28
рН после очистки	7,5	7,3	7,1	7,8	7,5	7,1	7,3	6,9	6,5	7,5	6,85

ВЫВОДЫ

1. Концентрация органических загрязнений в поступающих на очистку сточных водах при использовании комбинированного биоокислителя не ограничивается.
2. При использовании одноступенчатой схемы установки комбинированного биоокислителя эффект очистки по ХПК составляет 50–60 %, при применении многоступенчатой схемы эффект можно увеличить до 90–95 %.
3. Оптимальная частота вращения дисков, при которой достигается максимальный эффект очистки молочного стока, составляет 10–12 об/мин.
4. Экспериментально установлено, что в процессе биохимической очистки участвуют не только прикрепленный биоценоз, но и свободноплавающий, причем объем последнего составляет от 15 до 25 % прикрепленного биоценоза.
5. При очистке молочного стока на комбинированном биоокислителе с поверхности дисков происходит испарение жидкости, что приводит к понижению температуры сточной воды

на 2–3 °С, но это не оказывает существенного влияния на процесс биохимической очистки.

6. Установлены также закономерности изменения рН сточной воды в процессе проведения экспериментов, из которых следует, что специальной корректировки рН подаваемого молочного стока на очистку не требуется.

Результаты экспериментов рекомендуются к использованию для разработки энергосберегающей технологии очистки сточной воды молокоперерабатывающих предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлев, С. В. Водоотведение и очистка сточных вод: учеб. для вузов / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов. – М.: АСВ, 2002. – 704 с.

2. Скирдов, И. В. Очистка сточных вод с применением прикрепленной микрофлоры / И. В. Скирдов // Водоснабжение и санитарная техника. – 1998. – № 6. – С. 10–12.

3. Фортученко, Л. А. Малогабаритные сооружения для очистки сточных вод пищевых предприятий / Л. А. Фортученко, Г. Г. Линкова // Пищевая промышленность. – 1984. – № 4. – С. 46–47.

4. Ботун, Б. О. Погружные дисковые вращающиеся биофильтры / Б. О. Ботун, Н. Г. Дмитриевский // Водоснабжение и санитарная техника. – 1975. – № 1. – С. 13–15.

5. Дмитриевский, Н. Г. Использование дисковых биофильтров для очистки сточных вод картофельно-крахмальных заводов / Н. Г. Дмитриевский, Л. В. Кравцун // Сахарная промышленность. – 1976. – № 5. – С. 62–66.

6. Яромский, В. Н. Очистка сточных вод предприятий молочной промышленности / В. Н. Яромский. – Брест: Академия, 2004. – С. 71.

7. Лурье, Ю. Ю. Химический анализ производственных сточных вод / Ю. Ю. Лурье, А. И. Рыбникова. – М.: Химия. – 1974. – 336 с.

Поступила 28.05.2010

УДК 504.53.054

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЫ СОЕДИНЕНИЯМИ АЗОТА ПРИ СЖИГАНИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА

Докт. техн. наук, проф. БУБНОВ В. П., канд. с.-х. наук, доц. БЕЛЬСКАЯ Г. В., асп. МИНЧЕНКО Е. М.

Белорусский национальный технический университет

Хозяйственная деятельность человека предполагает использование различных химических соединений и привнесение их в экосистемы. Химические соединения (природного и антропогенного происхождения) считаются загрязнителями, если они нарушают качественный баланс (равновесие) экосистемы. Это справедливо и в отношении почвенных экосистем. Наряду с непосредственным загрязнением почвенных экосистем хозяйственной деятельностью человека на земле (почве) важной проблемой является переход вредных веществ из атмосферы в почву в виде кислотных дождей, аэрозолей и т. п. Один из основных поставщиков вредных выбросов в атмосферу – сжигание органического топлива на различных энергетических установках [1, 2]. Так, на 1 МВт выработанной электрической энергии ТЭС, работающей на органическом топливе, в атмосферу

выбрасывается окислов азота при сжигании: газа – $24,32 \cdot 10^6$ м³/год; мазута – $18,37 \cdot 10^3$ т/год; угля – $48,02 \cdot 10^3$ т/год [2].

Дымовые газы (выбросы) ТЭС, переходя из атмосферы на земную поверхность, загрязняют почву, растения, что приводит к повреждению и отмиранию растений как путем непосредственных воздушных контактов их зеленых частей с загрязняющими веществами, накопления их в тканях растений, так и под воздействием токсичной среды (почвы, воды), сосредоточивающей вредные ингредиенты выбросов, которые через корневую систему попадают в растения, а затем и в организм животных и человека. Загрязнение почв происходит через непосредственное оседание атмосферных выбросов, смывание токсикантов с растений, поступление с опавшими листьями, ветровым переносом и осадками, что приводит к изменению физи-