

УДК 628.356:628.336.511.512

И.А. ГРЕБЕНЧИКОВА*, Н.С. РУЧАЙ, Р.М. МАРКЕВИЧ, Н.В. ГРИЦ

Белорусский государственный технологический университет, Минск, 220050

e-mail: gre@tut.by

Очистка сточной воды гидролизного производства в анаэробных биореакторах

Исследован процесс биологической очистки сточной воды гидролизного производства с помощью иммобилизованной на волокнистом носителе (насадка «ВИЯ») микрофлоры, спонтанно развивающейся в анаэробных условиях. Определены оптимальные параметры реализации процесса в анаэробном биореакторе: температура 35–37; pH исходной сточной воды 6,0–6,5; плотность загрузки биореактора носителем 10–15 г/л. Глубина очистки сточной воды гидролизного производства по ХПК в анаэробных условиях составила 90 %. Моделирован непрерывный процесс детоксикации сточной воды в комбинированном анаэробном биореакторе с иммобилизованной микрофлорой и гранулированным активным илом. ХПК сточной воды снизился на 71–73 % при нагрузке по органическим веществам (ОВ) 8–13 кгХПК/м³сут. Показана высокая эффективность комбинированного биореактора в сравнении с биореактором с фиксированной насадкой, а также целесообразность применения его при разработке энергосберегающей технологии локальной очистки стоков гидролизного производства.

Ключевые слова: сточная вода, гидролизное производство, волокнистый носитель, иммобилизованная микрофлора, гранулированный активный ил, анаэробные условия, комбинированный биореактор, биореактор с фиксированной насадкой, энергосберегающая технология.

Процесс биологического разрушения загрязнителей при очистке как бытовой, так и промышленной сточной воды в настоящее время обеспечивается в основном использованием в качестве окислителя кислорода воздуха. Однако большие энергетические затраты и экологические проблемы, характерные для аэробной технологии очистки сточной воды, заставляют обратиться к альтернативным бескислородным биологическим процессам. Анаэробный метод не требует также предварительного разбавления сильно загрязненной сточной воды, отличается малым приростом активного ила и легкостью его обезвоживания, является единственным способом очистки сточной воды, который позволяет частично или полностью компе-

нсировать затраты, связанные с организацией этого процесса, за счет генерации биогаза, используемого как источник энергии.

Решающую роль в обеспечении высокой скорости анаэробной детоксикации сточной воды играет конструкция биореактора. В настоящее время созданы экономичные анаэробные биореакторы, которые превосходят традиционные аэробные сооружения для очистки сточной воды по скорости деструкции загрязнений.

Целью настоящей работы было исследование процесса анаэробной очистки сточной воды гидролизного производства в биореакторах с иммобилизованной микрофлорой и гранулированной биомассой активного ила.

*Автор для переписки.

УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Определение режимных параметров функционирования анаэробного биореактора

Объектом исследования являлась сточная вода Бобруйского гидролизного завода с уровнем загрязненности по показателю химического потребления кислорода (ХПК) 4500—5500 мгО₂/л и величиной рН 4,5—4,8. Режимные параметры процесса анаэробной обработки сточной воды определяли в лабораторных биореакторах с фиксированной насадкой. В качестве носителей для иммобилизации спонтанно развивающейся в сточной воде анаэробной микрофлоры исследованы два вида синтетического полимерного волокна: полиакрилонитрильное (нитрон "алый-201") и полиамидное (насадка "ВИЯ"). Волокна отвечают требованиям по доступности, механической прочности и устойчивости к агрессивным факторам среды.

Динамику сорбции анаэробной микрофлоры на носителе исследовали в ходе 60-суточного эксперимента при использовании батареи из 10 герметизированных биореакторов, автономно функционирующих в мезофильном режиме (30°) в идентичных условиях. Объем каждого биореактора 0,5 л, плотность загрузки аппаратов носителем 12 г/л. Биореакторы функционировали одновременно в полунепрерывном режиме с регулярной порционной подачей исходной сточной воды в количестве, соответствующем удельной скорости протока жидкости через биореактор 0,005—0,010 ч⁻¹. Сточную воду дозировали перистальтическим насосом. По истечении определенного времени по одному биореактору поочередно выводили из эксплуатации и определяли количество закрепившейся микрофлоры весовым методом после высушивания носителя до постоянной массы. Одновременно оценивали активность иммобилизованной микрофлоры по снижению величины ХПК сточной воды, а также образованию и потреблению летучих жирных кислот (ЛЖК). Содержание ЛЖК и величину показателя ХПК определяли стандартными методами [1].

Описанную выше батарею биореакторов использовали также при исследовании влияния рН сточной воды и температуры процесса на эффективность функционирования иммобилизованной микрофлоры. Исследовали три температурных режима: 30°, 40 и 50°. Обработке подвергали натуральную сточную воду (рН 4,5—4,7) и воду, нейтрализованную известко-

вым молоком (содержание СаО 120 г/л) до рН 6,0—6,5. Для оценки воспроизводимости результатов эксперимента биореакторы были объединены попарно и аппараты каждой пары функционировали при заданных параметрах процесса в полунепрерывном режиме.

Процесс анаэробной обработки сточной воды в проточном режиме моделировали на лабораторной установке с двумя биореакторами объемом 2,5 и 1,0 л. Первый биореактор функционировал в анаэробном режиме, второй был оборудован барботером для подачи воздуха и в зависимости от цели эксперимента выполнял функции анаэробного или аэробного биореактора. Внутри биореакторов в металлических каркасах закрепляли волокнистую насадку "ВИЯ" в виде вертикально ориентированных жгутов. Температуру процесса (30) поддерживали термостатированием биореакторов. Подачу и дозирование сточной воды производили перистальтическим насосом. Технологическая обвязка биореакторов позволяла эксплуатировать каждый из аппаратов автономно либо в составе батареи из последовательно соединенных аппаратов с реализацией различных двухступенчатых процессов: анаэробный, анаэробно-аэробный, аэробно-анаэробный.

Определение характеристик биологически очищенной воды (БОВ) производили после выхода биореакторов на стабильный режим работы (через 30—45 сут эксплуатации), критерием чего была стабилизация уровня загрязненности биологически очищенной воды по показателю ХПК при заданных режимных параметрах.

Динамику изменения загрязненности стоков по ХПК в присутствии иммобилизованной микрофлоры определяли после залповой замены жидкости в биореакторе на исходную сточную воду с последующим контролем за процессом деструкции загрязнений в отсутствие протока жидкости через аппарат.

Определение эффективности функционирования биореактора с иммобилизованной микрофлорой

Влияние плотности загрузки биореактора волокнистым носителем на эффективность анаэробной обработки сточной воды исследовали в батарее из 7 автономно функционирующих в непрерывном режиме биореакторов объемом по 0,5 л каждый с плотностью загрузки 2 г/л, 5, 7, 9, 13, 18 и 25 г/л. Эксперимент проводили при изменении удельной скорости протока жидкости в диапазоне

0,014—0,120 ч⁻¹. Отбор проб БОВ для анализа производили после не менее чем 1,5-кратной смены всего объема жидкости в аппарате при данной скорости разбавления среды.

При оценке глубины очистки сточной воды в анаэробных условиях для исходной и биологически очищенной сточной воды определяли следующие показатели: ХПК, БПК₅, редуцирующие вещества, взвешенные и растворенные органические и неорганические вещества, сульфат-ионы, соединения фосфора, общий азот, нитраты, аммонийный азот — по стандартным методикам [1, 2]; лигно-гуминовые вещества — путем адсорбции активированным углем при пониженной температуре (15°) с последующей экстракцией этанолом и гравиметрическим определением сухого остатка после удаления экстрагента [3]; хлор-ионы — ионометрически с помощью хлорселективного электрода; аминный азот — по способности аминокислот образовывать комплексные соединения с медью [4]; ионы тяжелых металлов (меди, железа, свинца, никеля, кадмия) — методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе С-115М-1 в пламени смеси ацетилен-воздух.

Определение эффективности функционирования комбинированного биореактора с иммобилизованной микрофлорой и гранулированной биомассой активного ила

Комбинированный биореактор представлял собой цилиндрический аппарат объемом 2,5 л с внутренним диаметром 86 мм и высотой 430 мм. Слой насадки (волокно «ВИЯ», закрепленное в металлическом каркасе) располагался в верхней части аппарата и занимал 36% от общего объема биореактора при плотности упаковки насадки в слое 13 г/л и размещении волокон вертикальными слоями. Верхняя часть аппарата функционировала как биореактор с иммобилизованной на фиксированной насадке микрофлорой. Одновременно насадка выполняла функции газоилоотделителя. Нижняя часть аппарата предназначена для самопроизвольного формирования хлопьев и гранул анаэробного ила и выполняла функции UASB-реактора [5]. Продолжительность непрерывной работы биореактора в ходе эксперимента составила 12 мес.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Определение режимных параметров функционирования анаэробного биореактора

Моделирование процесса очистки сточной воды гидролизного производства в анаэробных биореакторах показало, что при естественном накоплении микроорганизмов-деструкторов с иммобилизацией их на волокнистом носителе процесс очистки сточной воды

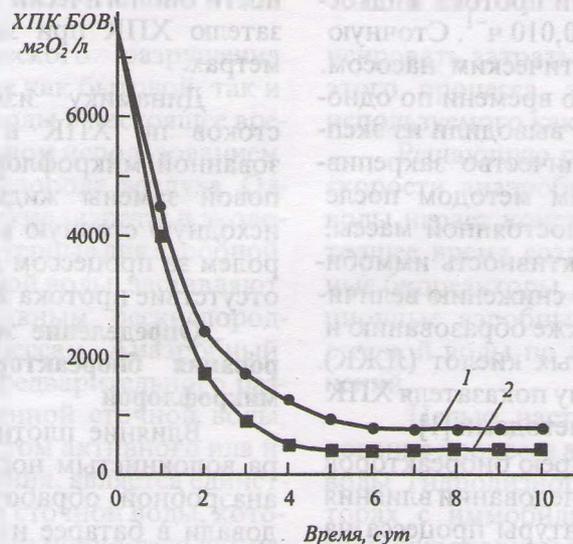


Рис. 1. Влияние природы носителя на эффективность анаэробной очистки сточной воды иммобилизованной микрофлорой: 1 — полиакрилонитрильное волокно; 2 — полиамидное волокно (насадка «ВИЯ»)

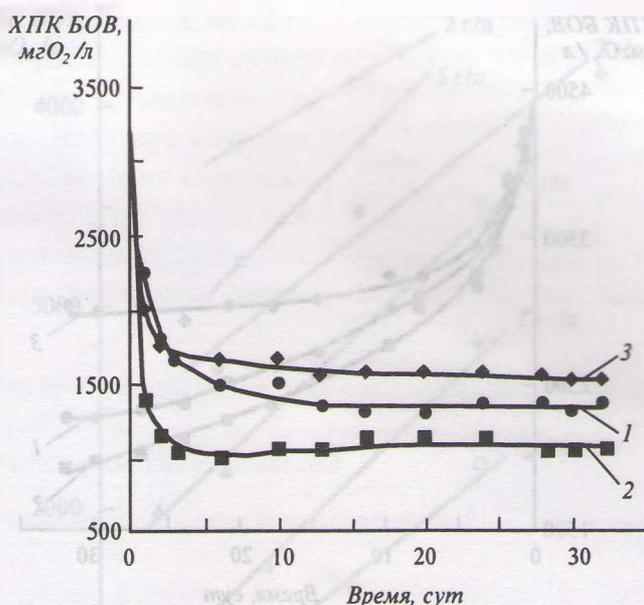


Рис. 2. Эффективность деструкции загрязнений иммобилизованной анаэробной микрофлорой в нейтрализованной сточной воде при различной температуре: 1 — 30°; 2 — 40°; 3 — 50°

стабилизируется через 35—40 сут.

Анализ эффективности функционирования иммобилизованной на разных носителях микрофлоры (рис. 1) свидетельствует о преимуществе полиамидного волокна как носителя с большей сорбционной емкостью по микробным клеткам. Удельная производительность биореакторов по деструктированным загрязнениям составила 7,6 кгХПК/м³сут для биореактора с полиамидным носителем и 6,5 кгХПК/м³сут для биореактора с насадкой из полиакрилонитрильного волокна нитрон. На основании полученных результатов все последующие эксперименты выполнены с использованием в качестве носителя полиамидного волокна в виде насадки “ВИЯ”.

Эффективность и скорость анаэробной биодегradации загрязнений в значительной степени зависит от величины рН исходной сточной воды и температуры процесса. Для микрофлоры, сформировавшейся в нейтрализованной до рН 6,0—6,5 сточной воде (рис. 2), характерно быстрое протекание процесса окисления загрязнений в исследуемом диапазоне температур (30—50°) с резким снижением величины ХПК на 40—60 % в первые сутки. В последующее время при выдерживании до 32 сут степень очистки возрастает незначительно. Низкая величина рН (4,5—5,0) сточной воды тормозит развитие некоторых групп микроорганизмов, прежде всего метаноген-

ных бактерий, что приводит к существенному замедлению процесса (рис. 3). Для достижения степени очистки по ХПК 60—70 % (необходимый уровень для локальной очистки стоков) требуется 1—2 сут при переработке нейтрализованной сточной воды и до 20 сут при переработке стоков с кислотным рН.

Анаэробная биодегradация загрязнений протекает с максимальной скоростью при температуре 40°. Термофильная микрофлора (50°) характеризуется невысокой эффективностью деструкции загрязнений, что объясняется, по-видимому, меньшим видовым разнообразием микрофлоры, развивающейся при повышенной температуре. Промежуточное положение занимает мезофильная микрофлора (30°), которая в нейтрализованной сточной воде несколько уступает термофильному биоценозу в скорости процесса на начальном этапе.

В гидролизно-дрожжевом производстве температура стоков колеблется от 30 до 35°, что обуславливает возможность анаэробной обработки стока без дополнительных энергетических затрат.

В ходе экспериментов установлено, что масса сорбированного слоя клеток микроорганизмов на поверхности насадки “ВИЯ” увеличивается в течение 45—50 сут и достигает величины 100 мг по абсолютно сухой биомассе (АСБ) на 1 г носителя (рис. 4). Сорбированные микробные клетки обладают высокой деструк-

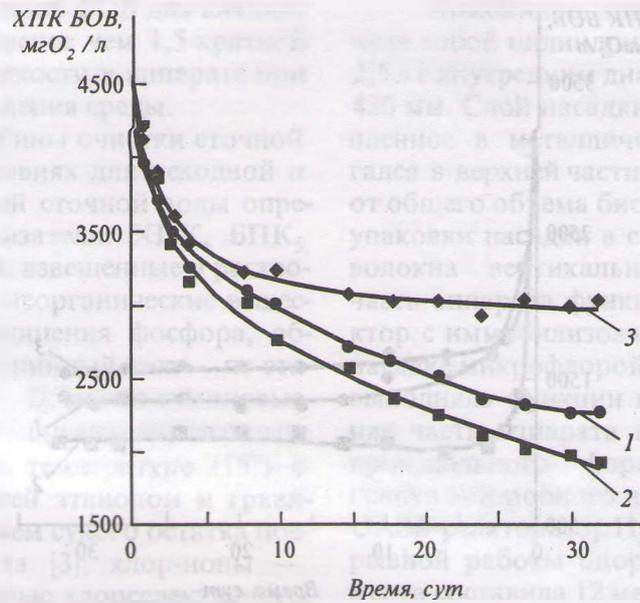


Рис. 3. Эффективность деструкции загрязнений иммобилизованной анаэробной микрофлорой в кислой сточной воде при кислотном значении рН (4,5—5,0) и различной температуре: 1 — 30°; 2 — 40°; 3 — 50°

тивной способностью, о чем свидетельствует снижение уровня загрязненности сточной воды по ХПК.

Интенсивное снижение содержания летучих жирных кислот указывает на функцио-

нирование ацетогенных микроорганизмов и, в частности, метаногенной микрофлоры, обеспечивающей глубокую деструкцию загрязнений, сопровождающуюся повышением величины рН среды. Однако закрепление микроорганиз-

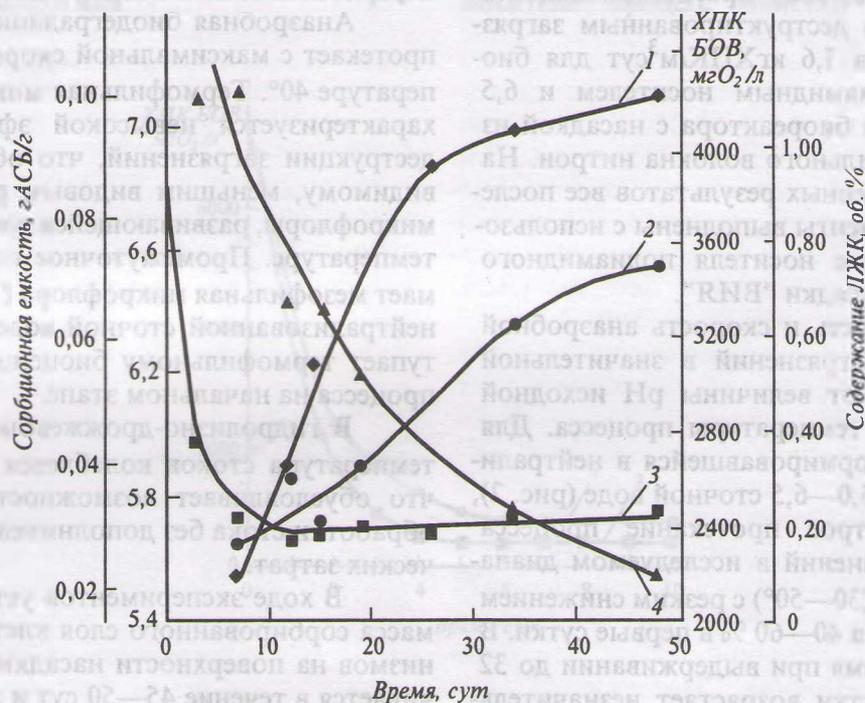


Рис. 4. Динамика формирования сорбированного слоя клеток микроорганизмов на поверхности носителя: 1 — сорбционная емкость носителя; 2 — рН; 3 — содержание ЛЖК; 4 — ХПК

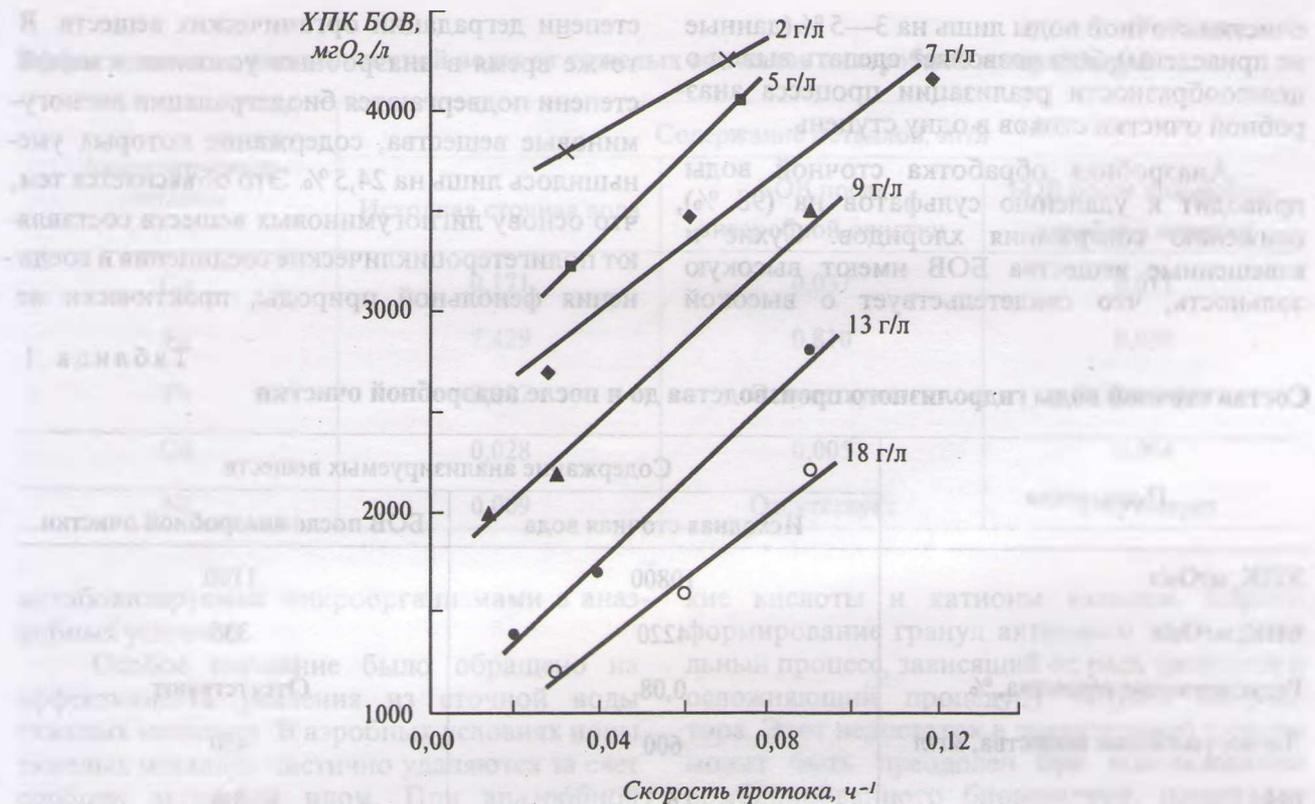


Рис. 5. Эффективность анаэробной очистки сточной воды при различной плотности загрузки биореактора носителем

мов на носителе не ограничивается образованием первичного сорбционного слоя, на поверхности носителя продолжается формирование биопленки. Толщина сформировавшейся в течение 12 мес работы биореактора биопленки составляла до 20 мкм (в среднем волокно покрыто слоем микроорганизмов толщиной 8—10 мкм), емкость носителя составила около 600 мг АСБ на 1 г волокна.

Определение эффективности функционирования биореактора с иммобилизованной микрофлорой

Эффективность анаэробной очистки сточной воды (рис. 5) определяется скоростью потока и плотностью загрузки биореактора носителем. Увеличение плотности загрузки биореактора носителем с 9 до 18 г/л повышает степень очистки сточной воды, но несколько ухудшает гидродинамическую обстановку в биореакторе, чем и объясняется небольшое различие в степени очистки, например, для плотности загрузки 13 г/л и 18 г/л. Дальнейшее повышение плотности загрузки (до 25 г/л) приводит к снижению эффективности очистки (данные не приведены), так как скапливающиеся в реакционном пространстве пузырьки

биогаза нарушают доступ веществ к микроорганизмам биопленки и сокращают полезный объем биореактора.

На основании полученных результатов для эффективного функционирования биореактора с иммобилизованной микрофлорой рекомендуется плотность загрузки аппарата носителем на уровне 10—15 г/л при упорядоченном расположении его в вертикальных слоях, способствующем выводу биогаза из реакционной зоны.

В табл. 1 представлены данные по изменению состава сточной воды гидролизного производства после анаэробной обработки в биореакторе с иммобилизованной микрофлорой. Из данных таблицы следует, что максимальная степень очистки сточной воды гидролизного производства в анаэробных условиях составляет 89,8 % по ХПК. Для полной очистки стоков необходима доочистка БОВ в условиях аэрации.

Установлено, что при двуступенчатой реализации анаэробного процесса около 95 % загрязнений (по ХПК) окисляется микрофлорой биореактора первой ступени. Биореактор второй ступени повышает эффективность

очистки сточной воды лишь на 3—5 % (данные не приведены). Это позволяет сделать вывод о целесообразности реализации процесса анаэробной очистки стоков в одну ступень.

Анаэробная обработка сточной воды приводит к удалению сульфатов на (98 %), снижению содержания хлоридов. Сухие и взвешенные вещества БОВ имеют высокую зольность, что свидетельствует о высокой

степени деградации органических веществ. В то же время в анаэробных условиях в малой степени подвергаются биodeградации лигногуминовые вещества, содержание которых уменьшилось лишь на 24,5 %. Это объясняется тем, что основу лигногуминовых веществ составляют полигетероциклические соединения и соединения фенольной природы, практически не

Таблица 1

Состав сточной воды гидролизного производства до и после анаэробной очистки

Показатели	Содержание анализируемых веществ	
	Исходная сточная вода	БОВ после анаэробной очистки
ХПК, мгО ₂ /л	10800	1100
БПК, мгО ₂ /л	4220	335
Редуцирующие вещества, %	0,08	Отсутствуют
Лигногуминовые вещества, мг/л	600	450
pH	6,5	8,0
Взвешенные вещества, мг/л,	2130	80
в т.ч.		
органические	1880	20
неорганические	250	60
Сухие вещества, мг/л,	6900	2400
в т.ч.		
органические	4340	910
неорганические	2560	1490
Фурфурол, мг/л	20	Отсутствует
Сульфаты, мг/л	1750	140
Хлориды, мг/л	390	195
Фосфор (в пересчете на P ₂ O ₅), мг/л	100	10
Азот общий, мг/л	500	10
Азот аминокислот, мг/л	30,0	0,6
Аммиак, мг/л	2,7	Отсутствует
Нитриты, мг/л	1,0	Следы
Нитраты, мг/л	5,0	Отсутствуют

Эффективность очистки сточной воды от тяжелых металлов анаэробной микрофлорой

Анализируемые металлы	Содержание металлов, мг/л		
	Исходная сточная вода	БОВ после анаэробной очистки	БОВ после анаэробно-аэробной очистки
Cu	0,171	0,037	0,011
Fe	7,429	0,810	0,038
Pb	0,007	Отсутствует	Отсутствует
Cd	0,028	0,005	0,004
Ni	0,009	Отсутствует	Отсутствует

метаболизируемые микроорганизмами в анаэробных условиях.

Особое внимание было обращено на эффективность удаления из сточной воды тяжелых металлов. В аэробных условиях ионы тяжелых металлов частично удаляются за счет сорбции активным илом. При анаэробной обработке стоков снижение содержания тяжелых металлов достигается за счет двух факторов: сорбции их анаэробным илом и образования в водной среде сульфидов металлов, не растворимых в воде и выпадающих в осадок. Исследования (табл. 2) показали, что анаэробная обработка стоков позволяет уменьшить содержание меди, железа, свинца, кадмия, никеля до величин ниже ПДК для вод водоемов хозяйственно-питьевого назначения.

Определение эффективности функционирования комбинированного биореактора с гранулированной биомассой активного ила

Из ряда аппаратов, предлагаемых исследователями для реализации анаэробного процесса [5], привлекает внимание высокой эффективностью массообмена UASB-реактор (реактор с восходящим потоком жидкости через слой гранулированной активной биомассы). Его конструкция обеспечивает формирование в процессе эксплуатации и удержание в аппарате гранулированной биомассы активного ила высокой концентрации, что и обуславливает высокую скорость деструкции загрязнений. Исходя из теоретических представлений [5], сточные воды гидролизного производства должны быть благоприятной средой для формирования гранулированного активного ила, так как содержат способствующие этому процессу углеводы, летучие органические

кислоты и катионы кальция. Однако формирование гранул активного ила – длительный процесс, зависящий от ряда факторов и осложняющий процедуру запуска биореактора. Этот недостаток в значительной степени может быть преодолен при использовании комбинированного биореактора, представляющего собой совмещенную конструкцию из UASB-реактора и реактора с фиксированной насадкой. Такого типа реакторы, по мнению исследователей [6], имеют большие перспективы.

В эксперименте посев инокулята в комбинированный биореактор не производили, создавая условия для естественного образования хлопьев и гранул активного ила из спонтанно развивающейся микрофлоры. Биореактор работал в непрерывном режиме в течение года. Первые пять месяцев биореактор работал при малой скорости протока ($0,001—0,015 \text{ ч}^{-1}$), что соответствует нагрузке по органическим веществам $0,14—2,11 \text{ кгХПК/м}^3\text{сут}$ и облегчает образование хлопьев и гранул ила. Стабильный режим функционирования комбинированного биореактора был достигнут через девять месяцев эксплуатации аппарата (рис. 6). Известно, что выход биореактора на стабильный режим работы может быть ускорен инокулированием дисперсным илом или иницированием процесса гранулообразования (например, введением в реактор угольной пыли).

Высокая концентрация активного ила, удерживаемого в биореакторе, обусловила снижение ХПК на 71—73 % при нагрузке по органическим веществам $8—13 \text{ кгХПК/м}^3\text{сут}$. Эффективность очистки стоков в комбинированном биореакторе значительно выше, чем

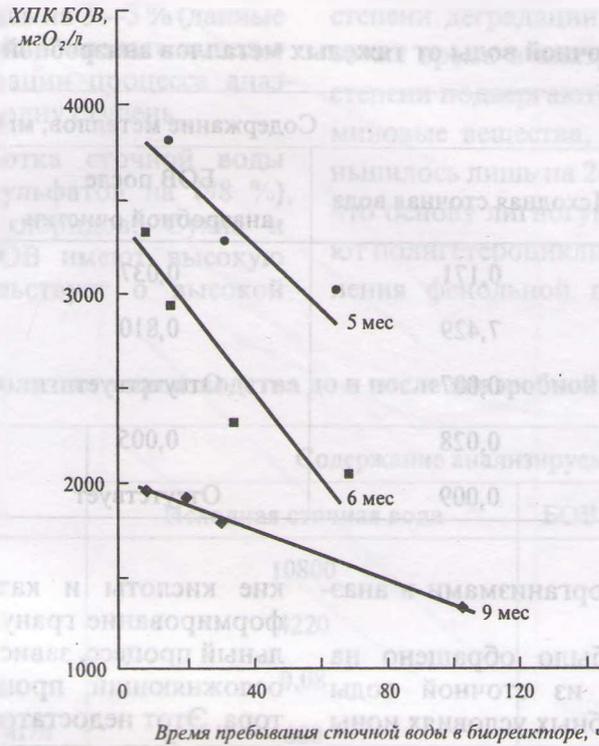


Рис. 6. Эффективность функционирования биореактора комбинированного типа

в аппарате с фиксированной насадкой (рис. 7). Комбинированный биореактор менее чувствителен к увеличению скорости протока и обеспечивает требуемую степень детоксикации стоков при малом расходе носителя (средняя

плотность упаковки носителем в аппарате составляет 5 г/л). В сравнении с биореактором с фиксированной насадкой время пребывания сточной воды в аппарате для достижения степени очистки по ХПК 70 % в комбинирован-

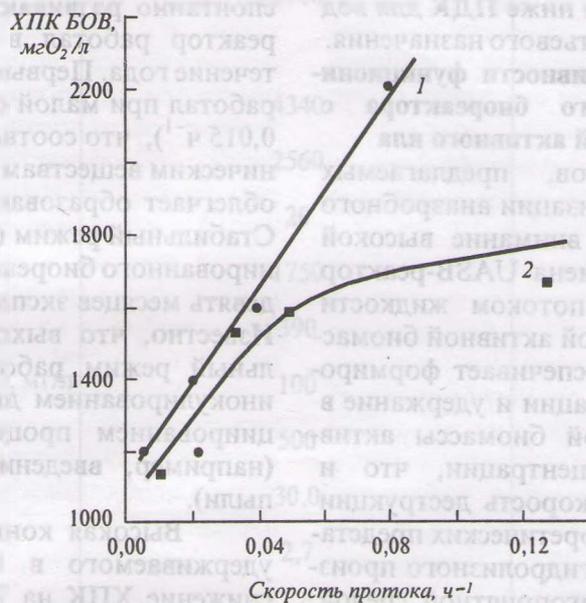


Рис. 7. Сравнительная эффективность функционирования анаэробных биореакторов: 1 -- биореактор с фиксированной насадкой; 2 — комбинированный биореактор

ном биореакторе в 1,6 раза меньше при меньшем расходе носителя в 1,7 раза.

Визуальные наблюдения и микроскопирование показали, что в нижней UASB-зоне биореактора сформировался активный ил в виде гранул неопределенной формы размером 1,5—4 мм. Анализ концентрации биомассы микрофлоры в зонах комбинированного биореактора показал, что в верхней зоне с фиксированной насадкой средняя концентрация сухой биомассы составляла 7,9 г/л, а в нижней UASB-зоне — 12,4 г/л. Высокая концентрация гранулированной биомассы и обусловила большую окислительную мощность комбинированного биореактора в сравнении с биореактором с фиксированной насадкой.

Выполненные исследования позволяют сделать следующее заключение.

Локальная очистка сточной воды гидролизного производства может быть осуществлена в анаэробном биореакторе с иммобилизованной на насадке «ВИЯ» микрофлорой, спонтанно развивающейся в мезофильных условиях (30—35°), после предварительной нейтрализации стоков до pH 6,0—6,5.

В анаэробных условиях степень очистки сточной воды по ХПК достигает ~90 %. Для полной очистки стоков необходима дополнительная очистка БОВ в аэробных условиях.

Анаэробная микрофлора, спонтанно развивающаяся в сточной воде гидролизного производства, способна к образованию гранулированного активного ила, что позволяет использовать для очистки стоков высокоэффективный биореактор комбинированного типа, реакционный объем которого включает зону с иммобилизованной на носителе микрофлорой и не содержащую носитель зону с гранулированной биомассой активного ила. Обработка сточной воды в анаэробном комбинированном биореакторе обеспечивает снижение ХПК на 71—73 % при нагрузке по органическим веществам 8—13 кг ХПК/м³сут.

В сравнении с биореактором с фиксированной насадкой в комбинированном биореакторе степень очистки сточной воды по ХПК, равная 70 %, достигается при нагрузке по органическим веществам в 1,6 раза большей и при расходе носителя, меньшем в 1,7 раза. Применение комбинированного биореактора позволяет разработать энергосберегающую технологию локальной очистки стоков гидролизного производства.

Получено 5.02.02

ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянова И.З. Химико-технический контроль гидролизных производств. — М.: Лесная промышленность, 1976. — 328 с.
2. Лурье Ю.Ю., Рыбникова А.И. Химический анализ производственных сточных вод. — М.: Химия, 1974. — 336 с.
3. Корольков И.И., Лихонос Е.Ф., Парамонова Г.Д. // Гидролизная и лесохимическая промышленность. — 1965. — № 3. — С. 8—10.
4. Грачева И.М., Грачев Ю.П., Мосичев М.С. и др. Лабораторный практикум по технологии ферментных препаратов. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. — 240 с.
5. Калюжный С.В., Данилович Д.А., Ножевникова А.Н. Анаэробная, биологическая очистка сточных вод // Итоги науки и техники. Сер. биотехнол. — 1991. — №29. — 187 с.
6. Высокоэффективные аппараты и сооружения биологической очистки // Водоснабжение и санитарная техника. — 1994. — № 7. — С. 27—31.

I.A. GREBENCHIKOVA*, N.S. RUCHAY,
R.M. MARKEVICH, N.V. GRITS

Belorussian State University of Technology, Minsk, 220050
e-mail: gre@tut.by

Purification of Hydrolysis Alcohol Manufacturing Wastewater in Anaerobic Bioreactors

The process of biological treatment of hydrolysis alcohol production wastewater using microorganisms immobilized on a fibrous carrier («VIYA» type) and growing spontaneously under anaerobic conditions, has been investigated. The optimum parameters of culturing in an anaerobic bioreactor were determined: temperature, 35—37° C; initial wastewater pH, 6,0—6,5; density of carrier packing in bioreactor, 10—15 g/l. The purification efficiency of anaerobic wastewater treatment was 90 % measured by COD. The continuous process of wastewater detoxication using combined anaerobic bioreactor containing immobilized microorganisms and active granular sludge was modelled. The total COD decrease was 71—73 % when organic loading rates were 8—13 kg COD/m³day. It was shown that the combined bioreactor is more efficient than fixed carrier bioreactor, and that it is advisable to use it in developing energy-saving technology of local purification of hydrolysis alcohol manufacturing wastewater.

Key words: wastewater, hydrolysis alcohol production, fibrous carrier, immobilized microorganisms, active granular sludge, anaerobic conditions, combined bioreactor, fixed carrier bioreactor, energy-conservative technology.

* Author for correspondence.