

УДК 628.356.628.336.511.512

ТЕХНОЛОГИЯ АНАЭРОБНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНОЙ ВОДЫ БОБРУЙСКОГО ГИДРОЛИЗНОГО ЗАВОДА

Н. С. РУЧАЙ¹, И. А. ГРЕБЕНЧИКОВА¹⁺, Р. М. МАРКЕВИЧ¹, Н. В. ГРИЦ¹, В. М. ДОРОГУШ², Ч. Ю. ЯНКОВСКИЙ³¹ Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова 13а, 220050 г. Минск, Беларусь.² Концерн «Белбиофарм», ул. Варшавени 17, 220029 г. Минск, Беларусь.³ БРУП «Бобруйский гидролизный завод», ул. Чехова 54, 213800 г. Бобруйск, Могилевская обл., Беларусь.

Исследован процесс анаэробной очистки сточной воды гидролизного производства, показана возможность формирования плотных гранул активного ила, легко удерживаемых в биореакторе, из спонтанно развивающейся в сточной воде микрофлоры. Разработана технология локальной анаэробной очистки сточной воды для Бобруйского гидролизного завода. Технология предусматривает детоксикацию стока в анаэробном биореакторе комбинированного типа, представляющем собой совмещенную конструкцию из анаэробного биофильтра с волокнистой насадкой и UASB-реактора (Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor – реактор с восходящим потоком сточной воды через слой анаэробного ила). Биореактор обеспечивает требуемую степень очистки сточной воды – 70% по химическому потреблению кислорода (ХПК) при нагрузке по загрязнениям 11–14 кгХПК/(м³·сут).

Введение и постановка задачи

Существующая на Бобруйском гидролизном заводе технология очистки сточной воды предусматривает ее аэробную обработку в биоокислителях после предварительной нейтрализации, отстаивания и охлаждения до оптимальной температуры. Биологически очищенная вода после отделения биомассы активного ила напорной флотацией направляется на городские очистные сооружения для дальнейшего обезвреживания.

В настоящее время в мировой практике широко распространяются анаэробные технологические процессы обработки сточной воды, имеющие ряд преимуществ перед аэробными методами, а именно: низкое энергопотребление за счет исключения затрат на аэрацию; продукция биогаза, используемого как источник энергии; образование малого количества активного ила и легкость его обезвоживания; возможность переработки сильно загрязненных стоков с малым содержанием биогенных элементов; малые общие затраты на процесс очистки сточной воды. Современные технологии [1] базируются на использовании высокоэффективных биореакторов специальной конструкции, обеспечивающих удержание биомассы активного ила в реакционном объеме за счет иммобилизации микрофлоры на носителях различной природы (анаэробный биофильтр, биореактор

с псевдооживленным слоем) либо за счет формирования плотных флокул и гранул активного ила, не уносимых из аппарата восходящим потоком жидкости (UASB-реактор). Конструкции анаэробных биореакторов второго поколения обеспечивают удержание биомассы в реакционном объеме с достижением концентрации ила, в десятки раз превышающей таковую в аэробных сооружениях, что обуславливает высокую скорость анаэробной биодеградации загрязнений.

Данные по эффективности функционирования зарубежных анаэробных установок показывают, что эксплуатационные затраты на анаэробную очистку сточных вод, содержащих растворенные органические загрязнения, составляют в среднем 0,06–0,08 дол. США на м³ без учета дохода от реализации биогаза [1]. С учетом последнего, анаэробная очистка высокозагрязненных стоков становится прибыльной. В Республике Беларусь высокоэффективные анаэробные технологии обработки стоков пока не нашли применения.

Цель работы – разработка энергосберегающего технологического процесса локальной анаэробной очистки сточной воды гидролизного производства.

Промышленный сток Бобруйского гидролизного завода имеет общий уровень загрязненности по ХПК 5000–5500 мгО₂/л и содержит (мг/л): взвешенных веществ – 800–1000; азота – 150–170; оксида

+ Автор, с которым следует вести переписку.

фосфора – 18÷27; сульфатов – 350÷500; хлоридов – 200÷400. Перед сбросом в городскую канализационную сеть сточная вода должна быть очищена до уровня загрязненности по ХПК ≤ 1600 мгО₂/л.

Результаты и их обсуждение

Проведенными исследованиями [2, 3] по анаэробной обработке сточной воды гидролизного производства установлено следующее:

- максимальный уровень очистки сточной воды по ХПК составляет 89,8%;

- эффективность очистки повышается при предварительной нейтрализации сточной воды до рН 6,5÷7,0;

- оптимальная температура процесса – 35±40 °С;

- в сточной воде гидролизного производства, содержащей органические кислоты, углеводы и катионы кальция, анаэробная микрофлора способна к образованию хлопьев и гранул, легко удерживаемых в биореакторе;

- удельная производительность анаэробного биореактора комбинированного типа – 8÷10 кгХПК/(м³·сут);

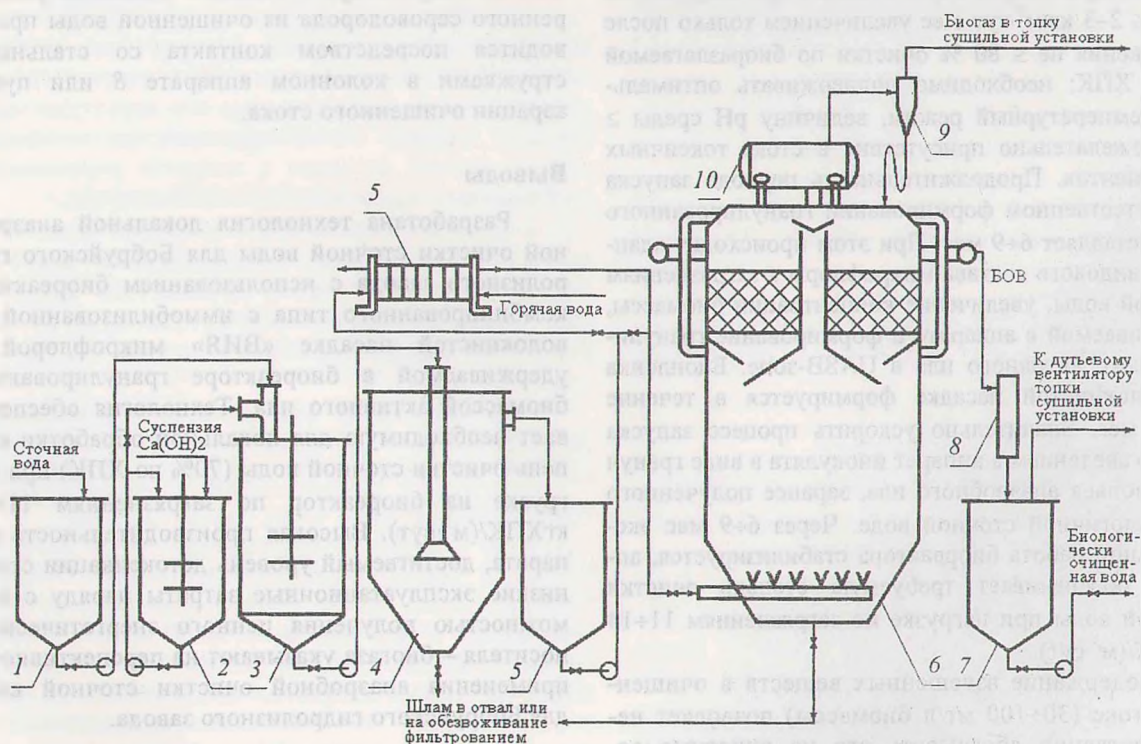
- концентрация активного ила, удерживаемого в биореакторе, составляет 10÷12 кг/м³ по абсолютно сухой биомассе, что обеспечивает степень очистки сточной воды по ХПК 71÷73 % при времени пребывания в биореакторе 12÷15 ч.

Технологический процесс очистки сточной во-

ды в анаэробных условиях осуществляется следующим образом (рисунок). Исходная сточная вода из приемника 1, имеющая температуру 35÷37 °С и рН 4,5÷4,7, обрабатывается в нейтрализаторе 3 известковым молоком (120÷150 г/л СаО) при перемешивании до рН 6,5÷7,0. После осветления в отстойнике вертикального или радиального типа 4 в течение 1,5÷2 ч поступает на очистку в биореактор комбинированного типа 6.

Реакционный объем биореактора конструктивно разделен по высоте аппарата на две части: верхняя часть (30÷35% объема) заполнена волокнистым носителем и выполняет функции анаэробного биофильтра с иммобилизованной микрофлорой; нижняя часть отделена от верхней газоиллоотделительным устройством и обеспечивает формирование гранулированного активного ила. В качестве носителя для иммобилизации микрофлоры в комбинированном биореакторе используется полиамидное волокно в виде насадки «ВИЯ» (ТУ 99-59-90). Плотность загрузки носителя в верхней части биореактора 10÷15 кг/м³. У дна аппарата располагается система распределения сточной воды и устройство для вывода избыточного активного ила.

Очистка сточной воды в биореакторе осуществляется за счет спонтанно развивающейся анаэробной микрофлоры. Метаногенное сообщество отличается многочисленностью видов микроорганизмов (до нескольких сотен) и тесными и сложными взаимосвязями в сообществе. Преобладаю-



Технологическая схема анаэробной очистки сточной воды: 1 – приемник сточной воды; 2 – сборник-мешалка известкового молока; 3 – нейтрализатор; 4 – вертикальный отстойник; 5 – приемник осветленной сточной воды; 6 – биореактор; 7 – приемник биологически очищенной воды; 8 – колонна для удаления сульфидов; 9 – циклон-осушитель; 10 – сухой газгольдер; 11 – пластинчатый теплообменник

щими группами микроорганизмов являются гидролитические (осуществляют гидролиз сложных биополимерных молекул), бродильные (сбраживают мономеры до низших кислот и спиртов), ацетогенные (расщепляют спирты и жирные кислоты с образованием предшественников метана – ацетата, водорода и углекислоты), метановые (образуют метан). Ключевой реакцией, определяющей скорость всего процесса, является реакция образования метана.

При стабильной работе биореактора значение рН среды $7,0 \div 8,0$, оптимальное для развития метаногенных бактерий и обеспечивающее стабильность работы биореактора, поддерживается самопроизвольно. Нарушение режимных параметров может привести к сдвигу показателя рН от оптимальных значений. Длительное (> 3 -х сут) пребывание при рН = 5 приводит к долговременному нарушению работоспособности системы. При рН > 9 метаногенез также прекращается, но при возврате к оптимальным значениям рН процесс быстро возобновляется.

Для поддержания температурного режима процесса ($35 \div 37$ °С) предусматривается теплоизоляция биореактора и емкостных аппаратов для подготовки сточной воды к переработке (сборник исходного стока, нейтрализатор, отстойник), а в холодное время года – подогрев нейтрализованного стока в пластинчатых теплообменниках 11.

Ответственной процедурой является запуск биореактора. Запуск осуществляют при нагрузке по ХПК $\leq 2-3$ кг/м³·сут с ее увеличением только после достижения не ≤ 80 % очистки по биоразлагаемой части ХПК; необходимо поддерживать оптимальный температурный режим, величину рН среды $\geq 6,0$; нежелательно присутствие в стоке токсичных компонентов. Продолжительность периода запуска при естественном формировании гранулированного ила составляет $6 \div 9$ мес. При этом происходит адаптация видового состава микрофлоры к загрязнению сточной воды, увеличение концентрации биомассы, удерживаемой в аппарате и формирование гранулированного активного ила в UASB-зоне. Биопленка на волокнистой насадке формируется в течение $1,5 \div 2$ мес. Значительно ускорить процесс запуска можно введением в аппарат инокулята в виде гранул или хлопьев анаэробного ила, заранее полученного на аналогичной сточной воде. Через $6 \div 9$ мес эксплуатации работа биореактора стабилизируется, аппарат обеспечивает требуемую степень очистки сточной воды при нагрузке по загрязнению $11 \div 14$ кгХПК/(м³·сут).

Содержание взвешенных веществ в очищенном стоке ($30 \div 100$ мг/л биомассы) позволяет непосредственно сбрасывать его на очистные сооружения города.

В ходе запуска в течение $2 \div 4$ мес биореактор работает без отвода избыточного активного ила. В дальнейшем осадок из нижней части биореактора

периодически удаляют. Высокое исходное содержание сухого вещества (≥ 50 г/л), высокая зольность и стабильность, хорошие водоотдающие свойства позволяют обезвоживать анаэробный ил без применения реагентов с помощью фильтр-прессов либо на иловой площадке. Малые количества ила обуславливают возможность регулярного периодического вывоза избыточного ила в автоцистернах. Анаэробный ил не содержит патогенов. Может длительно храниться в резервуаре-приемнике без значительного снижения активности и использоваться в качестве инокулята для запуска биореакторов на аналогичных стоках. Избыточный ил может быть возвращен в биореактор при резком увеличении нагрузки по органическим загрязнениям, интоксикации или внезапном выносе части биомассы из аппарата.

При метановом сбраживании $> 80\%$ энергии субстрата переходит в метан. В процессе очистки сточной воды на 1 кг снятых загрязнений по ХПК выделяется $0,4 \div 0,6$ м³ биогаза, который накапливается в верхней части биореактора и сухом газгольдере 10. Биогаз проходит осушку в мультициклоне 9 и используется в качестве энергоносителя.

При очистке сточной воды, содержащей сульфаты, образуется сероводород, который распределяется между газовой и жидкой фазами. Часть сероводорода связывается ионами тяжелых металлов, присутствующими в сточной воде, с образованием нерастворимых сульфидов, удаляемых из биореактора с осадком. Удаление растворенного сероводорода из очищенной воды производится посредством контакта со стальными стружками в колонном аппарате 8 или путем аэрации очищенного стока.

Выводы

Разработана технология локальной анаэробной очистки сточной воды для Бобруйского гидролизного завода с использованием биореактора комбинированного типа с иммобилизованной на волокнистой насадке «ВИЯ» микрофлорой и удерживаемой в биореакторе гранулированной биомассой активного ила. Технология обеспечивает необходимую для локальной обработки степень очистки сточной воды (70% по ХПК) при нагрузке на биореактор по загрязнению $11 \div 14$ кгХПК/(м³·сут). Высокая производительность аппарата, достигаемый уровень детоксикации стока, низкие эксплуатационные затраты наряду с возможностью получения ценного энергетического носителя – биогаза указывают на перспективность применения анаэробной очистки сточной воды для Бобруйского гидролизного завода.

Литература

1. Калужный С. В., Данилович Д. А., Ножевникова А. Н. Анаэробная, биологическая очистка сточных вод // Итоги науки и техники, сер. Биотехнология (1991), № 29, 5–156
2. Гребенчикова И. А., Ручай Н. С., Маркевич Р. М. Ис-

следование процесса анаэробной детоксикации сточных вод в проточном режиме // Труды БГТУ, сер. III (1997), вып. 5, 44–47

3. Гребенчикова И. А., Маркевич Р. М., Костюк С. Д.,

Ручай Н. С. Анаэробная детоксикация сточных вод в биореакторе интенсивного массообмена // Труды БГТУ, сер. III (1998), вып. 6, 184–187

Rutchay N. S., Grebentchikova I. A., Markevitch R. M., Grits N. V., Dorogush V. M., Yankovski Ch. Yu.
The technology of anaerobic local treatment of bobruysk hydrolysis alcohol plant wastewater.

The process of anaerobic treatment of hydrolysis alcohol production wastewater was investigated at the biotechnology and bioecology department of BSUT. The possibility of formation of easily retainable compact sludge granules from microorganisms growing spontaneously in wastewater was shown. The technology of anaerobic local treatment of Bobruysk Hydrolysis Alcohol Plant wastewater was developed. The technology includes wastewater detoxication in the anaerobic combined bioreactor which is a combination of the anaerobic biofilter with fibrous carrier and the UASB reactor. This bioreactor provides the required purification level (70% COD) under organic loading rates 11–14 kg COD/m³ day.

Поступила в редакцию 20.12.2001.

© Н. С. Ручай, И. А. Гребенчикова, Р. М. Маркевич, Н. В. Гриц, В. М. Дорогуш, Ч. Ю. Янковский, 2002.