

Л. И. Антоновская, магистрант; И. А. Гребенчикова, ассистент;
Н. С. Ручай, доцент; М. В. Рымовская, аспирант

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ СТОЧНОЙ ВОДЫ ПРОИЗВОДСТВА КРАХМАЛЬНОЙ ПАТОКИ В АНАЭРОБНОЙ БИОСИСТЕМЕ С ИММОБИЛИЗОВАННЫМИ МИКРООРГАНИЗМАМИ

The process of starch treacly production wastewater purification has been investigated. It has been found that wastewater may be treated in one step anaerobic bioreactor with microorganisms immobilized on fixed carrier and spontaneously growing in manufacturing water at 30–35°C. The carrier («ВИЯ») packing density of bioreactor was 10–12 g/dm³. The biosystem provides wastewater purification degree of 70–72% by COD under optimal specific dilution rate 0,04–0,05 h⁻¹. The biologically purified water (BPW) pollution level by COD is about 1300–1400 mg/dm³, pH – 5,2–5,4. To attain normative characteristics, before directing to municipal treatment facilities, BPW is to undergo neutralization followed by settling.

Введение. Уровень загрязненности сточных вод предприятий пищевой промышленности значительно превышает требования, предъявляемые к ним при приеме в системы канализации. По содержанию легкоразлагаемых органических веществ (1–4 г/дм³ по БПК и более) [1] стоки этих производств относят к сильно загрязненным. Сброс таких стоков на городские очистные сооружения приводит к перегрузке последних и серьезным нарушениям режима работы аэротенков. Проблема особенно остра для небольших населенных пунктов, в которых пищевая отрасль составляет основную долю промышленности. Одним из способов устранения этой проблемы является локальная предобработка стоков перед передачей их в канализационные сети.

В настоящее время на практике широко применяют традиционные аэробные технологии биологической очистки, требующие высокого расхода энергоресурсов и характеризующиеся значительным количеством избыточной биомассы активного ила. Принципиально иными возможностями обладает анаэробный процесс биологической очистки сточных вод, осуществляемый сообществом микроорганизмов, трансформирующих органические загрязнения в ценный энергоноситель – биогаз.

Конструкция современных анаэробных биореакторов позволяет удерживать в объеме аппарата значительное количество активной биомассы в виде флокул, гранул, биопленки, развивающейся на поверхности материалов-носителей. Этот факт делает их по производительности сравнимыми, а в ряде случаев превосходящими классические аэробные сооружения. Анаэробные биосистемы перспективны и находят все большее распространение в практике очистки стоков различных отраслей промышленности.

Целью настоящей работы является исследование процесса анаэробной очистки сточной воды крахмало-паточного производства в анаэробных биореакторах с иммобилизованными микроорганизмами.

Объект и методы исследований. Объектом исследований являлась сточная вода РУПШ «Экзон-Глюкоза», производящего крахмальную патоку. Сток предприятия представляет собой концентрированные растворы и суспензии после мойки технологического оборудования и характеризуется следующими показателями (г/дм³): ХПК – 4,5–5,0; взвешенные вещества – 16–19; сухой остаток – 3–4. Величина pH стока составляет 5,5–5,8.

Для определения показателей процесса очистки воды использовали биореакторы с иммобилизованным анаэробным биоценозом, спонтанно развивающимся в мезофильных условиях (30°C). Температуру процесса поддерживали термостатированием аппаратов в суховоздушном термостате. Для обеспечения анаэробности процесса биореакторы были герметизированы, вывод образующегося биогаза осуществляли через гидрозатвор. Накопление микроорганизмов, иммобилизацию их на носителе и стабилизацию работы аппаратов производили по методике, отработанной ранее [2]. В связи с высоким содержанием взвешенных веществ в исходной сточной воде перед обработкой в анаэробных биореакторах производили ее отстаивание.

Периодический процесс обработки стока осуществляли в аппаратах объемом 0,5 дм³. После выхода на стабильный режим работы производили залповую замену всей жидкости в биореакторах на исходную сточную воду и исследовали динамику изменения показателей ХПК и pH очищаемой воды. Отбор проб из биореактора производили через резиновую прокладку в крышке биореактора шприцем с удлиненной иглой.

Непрерывный процесс очистки сточной воды моделировали на лабораторной установке в биореакторах типа «анаэробный биофильтр с восходящим потоком жидкости» (рис. 1).

Полезный объем каждого аппарата составлял 2 дм³. Плотность загрузки биореакторов носителем (полиамидная насадка «ВИЯ») – 12 г/дм³.

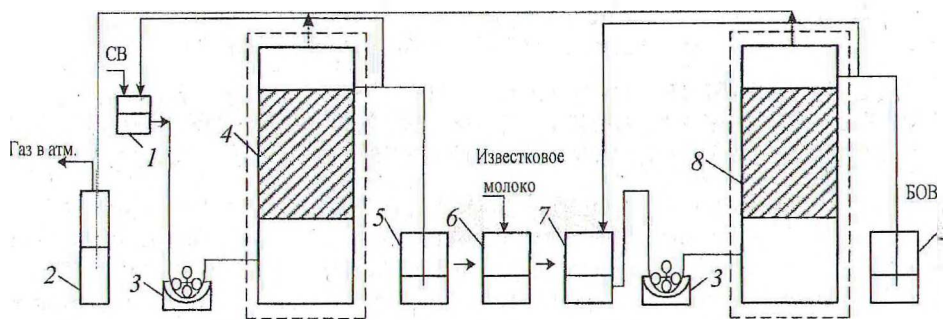


Рис. 1. Схема лабораторной установки для анаэробной обработки сточной воды, функционирующей в проточном режиме: 1 – приемник сточной воды (СВ); 2 – гидрозатвор; 3 – перистальтический насос; 4 – анаэробный биореактор первой ступени; 5 – сборник БОВ; 6 – нейтрализатор; 7 – сборник осветленной БОВ; 8 – анаэробный биореактор второй ступени

Дозирование сточной воды осуществляли перистальтическим насосом, обеспечивая ступенчатое изменение удельной скорости разбавления среды в аппаратах в пределах $0,01-0,14 \text{ ч}^{-1}$. Показатели биологически очищенной воды (БОВ) – рН, уровень загрязненности по ХПК, содержание взвешенных веществ и сухой остаток – определяли по стандартным методикам [3] после полутора-двукратной смены объема жидкости в биореакторе.

В процессе запуска биореакторов было отмечено сильное закисление среды в аппаратах, вызванное образованием летучих жирных кислот (ЛЖК) из легкодеградируемых углеводов, в большом количестве содержащихся в сточной воде. Для частичной нейтрализации образующихся ЛЖК и обеспечения функционирования метаногенных микроорганизмов при исследовании динамики процесса исходную сточную воду нейтрализовали известковым молоком ($150-120 \text{ г/дм}^3 \text{ CaO}$) до рН 7,0; 8,0; 9,0.

Результаты и их обсуждение. Как показали результаты эксперимента, при обработке стока в периодическом режиме уже через 5 ч анаэробный биоценоз деградирует до 60% органических веществ (рис. 2). Максимальная степень очистки стока (75–82%) достигается после 70 ч обработки, при этом уровень загрязненности БОВ по ХПК составляет $700-900 \text{ мг/дм}^3$. Однако рН БОВ (рис. 3) во всех случаях не превышает уровня 4,5–5,0 независимо от исходного значения рН стока. Это свидетельствует о том, что периодический процесс анаэробной биodeградации завершается на кислотогенной стадии и не выходит на стадию метаногенеза.

Анализ эффективности функционирования анаэробного биореактора первой ступени двухступенчатой проточной анаэробной биосистемы (табл. 1, рис. 4, 5) показал, что при уровне загрязненности исходного стока по

ХПК 4500 мг/дм^3 наиболее приемлема скорость разбавления среды $0,04 \text{ ч}^{-1}$, что соответствует времени пребывания сточной воды в аппарате 25 ч. В этих условиях достигается максимальная удельная производительность биореактора ($3,4 \text{ кг ХПК/ (м}^3\text{-сут)}$), а значение ХПК БОВ находится на уровне 1400 мг/дм^3 . Увеличение нагрузки недопустимо, так как приводит к резкому снижению степени очистки стока.

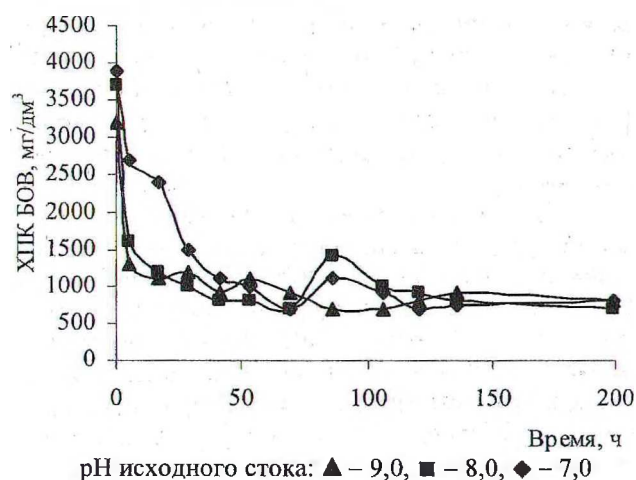


Рис. 2. Динамика изменения уровня загрязненности сточной воды по ХПК

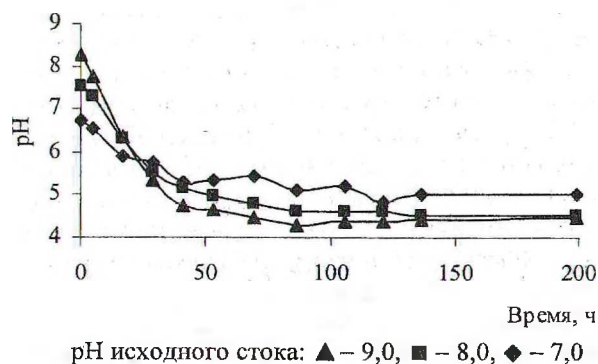


Рис. 3. Динамика изменения величины рН сточной воды

Показатели функционирования биореактора первой ступени двухступенчатой проточной анаэробной биосистемы

Удельная скорость разбавления, ч ⁻¹	Время пребывания сточной воды в аппарате, ч	Нагрузка по органическим загрязнениям, кгХПК/(м ³ ·сут)	Удельная производительность биореактора, кгХПК/(м ³ ·сут)	Степень очистки сточной воды по ХПК, %	Уровень загрязненности БОВ по ХПК, (мг/дм ³)	Концентрация взвешенных веществ, (мг/дм ³)	Сухой остаток, (мг/дм ³)
0,01	100	1,2	0,94	78	1100	82,9	880
0,04	25	4,75	3,4	72	1400	88,5	1100
0,14	7,14	17,11	2,74	16	4200	91,5	3400

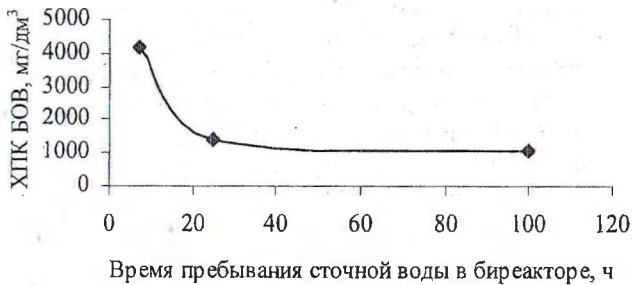


Рис. 4. Динамика изменения уровня загрязненности сточной воды по ХПК при обработке в биореакторе первой ступени двухступенчатой проточной анаэробной биосистемы

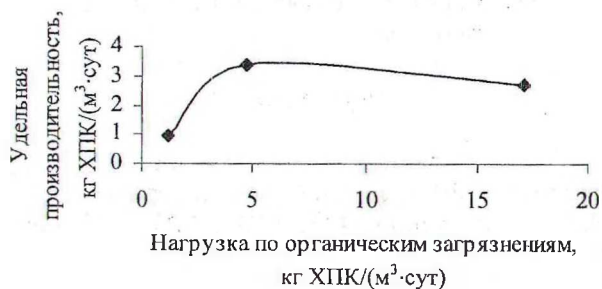


Рис. 5. Эффективность функционирования биореактора первой ступени двухступенчатой проточной анаэробной биосистемы

При работе биореактора в проточном режиме (рис. 6) также было отмечено снижение уровня рН среды в аппарате до 5,2–5,7 независимо от удельной скорости разбавления и рН исходной сточной воды. Такой уровень рН не позволяет биосистеме выйти на стадию метаногенеза, что сказывается на величине ХПК очищенного стока.

Согласно литературным данным [4], это явление наблюдается при обработке стоков с высоким содержанием легкоразлагаемых углеводов. В таких случаях целесообразно разделение этапов анаэробного сбраживания с реализацией кислотогенной стадии в аппарате первой ступени, последующей нейтрализацией образующихся органических кислот до уровня, приемлемого для жизнедеятельности метаногенов, и

проведением метаногенной стадии в аппарате второй ступени. Этот принцип был положен в основу последующих экспериментов.

Обработанную на первой ступени сточную воду нейтрализовали известковым молоком и осветляли отстаиванием. При нейтрализации БОВ уровень ее загрязненности по ХПК значительно снизился, по-видимому, за счет выпадающих в осадок кальциевых солей органических кислот. Осветленный сток обрабатывали в анаэробном биореакторе второй ступени.

Показатели функционирования биореактора второй ступени двухступенчатой проточной анаэробной биосистемы (табл. 2, рис. 7, 8) свидетельствуют, что эта ступень вносит существенный вклад в очистку воды только при высокой удельной скорости разбавления (0,14 ч⁻¹). При этом удельная производительность биореактора находится на уровне 4,5 кг ХПК/(м³·сут), степень очистки воды составляет около 37%. Однако уровень загрязненности БОВ по ХПК (2200 мг/дм³) в этом случае не удовлетворяет требованиям, предъявляемым при сбросе сточной воды в городскую канализацию. Приемлемый уровень загрязненности БОВ (550–600 мг/дм³ по ХПК) достигается при скоростях разбавления 0,01–0,04 ч⁻¹, однако степень очистки сточной воды при этом составляет лишь 8–14% (табл. 2). Несмотря на нейтрализацию БОВ после первой ступени, уровень рН при двухступенчатой обработке не превышает 6,0 (рис. 6).

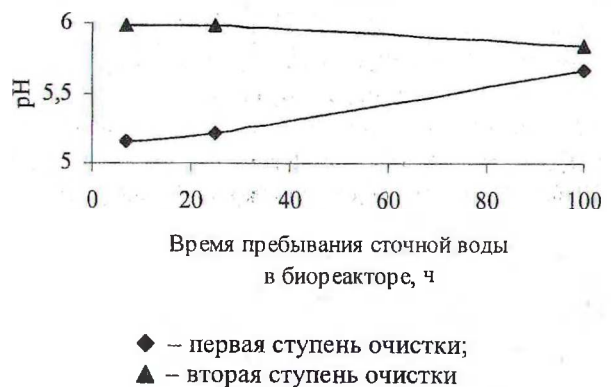
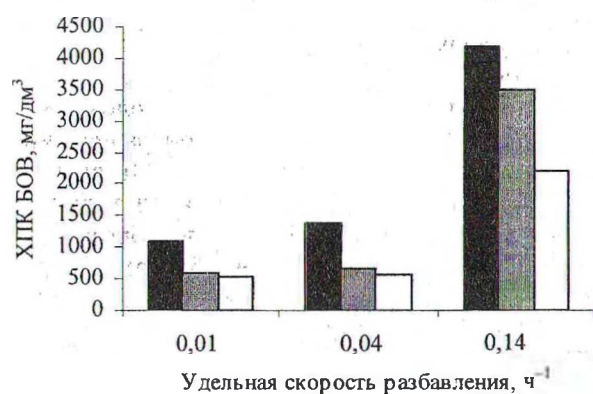


Рис. 6. Динамика изменения рН при обработке сточной воды в проточной биосистеме

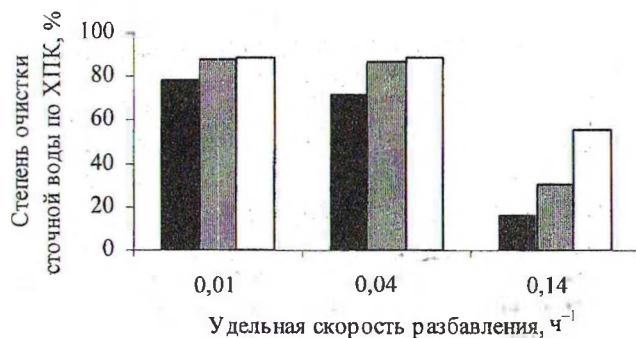
Показатели функционирования биореактора второй ступени двухступенчатой проточной анаэробной биосистемы

Удельная скорость разбавления, ч ⁻¹	Время пребывания сточной воды в аппарате, ч	Нагрузка по органическим загрязнениям, кгХПК/(м ³ ·сут)	Удельная производительность биореактора, кгХПК/(м ³ ·сут)	Степень очистки сточной воды по ХПК, %	Уровень загрязненности БОВ по ХПК, (мг/дм ³)	Концентрация взвешенных веществ (мг/дм ³)	Сухой остаток, (мг/дм ³)
0,01	100	0,14	0,01	8,3	550	23,1	440
0,04	25	0,62	0,09	13,8	560	29,8	450
0,14	7,14	11,76	4,45	37,1	2200	54,6	1700



■ – первая ступень очистки; ▨ – нейтрализация;
□ – вторая ступень очистки

Рис. 7. Влияние различных этапов обработки сточной воды на уровень загрязненности БОВ



■ – первая ступень очистки; ▨ – нейтрализация;
□ – вторая ступень очистки

Рис. 8. Эффективность различных этапов обработки сточной воды

Вывод. Для предварительной очистки сточной воды производства крахмальной пато-

ки целесообразна одноступенчатая анаэробная обработка в биореакторе типа «анаэробный биофильтр», обеспечивающая удаление около 70% загрязнений по ХПК. Включение в технологию второй ступени обработки приводит к значительному увеличению времени пребывания стока в биосистеме при низкой эффективности процесса и является нецелесообразным. Очистка сточной воды до уровня загрязненности по ХПК 550–600 мг/дм³ и рН 6,5, удовлетворяющих требованиям, предъявляемым при сбросе БОВ на городские очистные сооружения, достигается нейтрализацией анаэробно обработанного в одну ступень стока с последующим осветлением нейтрализованной воды отстаиванием.

Литература

1. Разумовский, Э. С. Очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности / Э. С. Разумовский, Р. Ш. Непаридзе // Экология и промышленность России. – 2002. – № 3. – С. 25–28.
2. Исследование процесса очистки сточных вод иммобилизованной микрофлорой / Н. С. Ручай [и др.] // Вестник БГУ. – 1996. – Сер. 2, № 1. – С. 13–17.
3. Емельянова, И. З. Химико-технический контроль гидролизных производств / И. З. Емельянова. – М.: Лесная пром-сть, 1976. – 328 с.
4. Калюжный, С. В. Анаэробная биологическая очистка сточных вод / С. В. Калюжный, Д. А. Данилович, А. Н. Ножевникова // Итоги науки и техники. Сер. биотехнол. – М.: ВИНТИ. – 1991. – № 29. – 187 с.