

И. А. Ровенская, ассистент; Н. С. Ручай, доцент; Н. В. Гриц, доцент

## ОЧИСТКА СТОЧНОЙ ВОДЫ МОЛОКОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА В БИОРЕАКТОРАХ С ИММОБИЛИЗОВАННЫМИ МИКРООРГАНИЗМАМИ

Process of anaerobic treatment of milk processing plant wastewater in flow bioreactors with the fixed carrier and an ascending stream of liquid and in the combined bioreactor based on UASB-reactor, has been investigated. It has been found that the combined bioreactor is highly efficient, providing COD decrease by 70–89% at organic loading rates 2,6–8,7 kgCOD/(m<sup>3</sup>-day).

It has been shown that the biogas formed in anaerobic destruction of wastewater pollutants, contains 50–70% of methane.

Молокоперерабатывающие предприятия испытывают потребность в компактных малоэнергетических установках для предварительной очистки сточной воды, сбрасываемой в городскую канализационную сеть. В настоящее время в мировой практике при решении таких задач используют анаэробный процесс биологической обработки сточной воды, отличающийся от классических аэробных методов низкими энергетическими затратами и возможностью переработки высококонцентрированного стока с одновременным получением биогаза, являющегося энергоносителем.

Современные анаэробные технологии [1] базируются на использовании высокоэффективных биореакторов специальной конструкции, обеспечивающих удержание биомассы активного ила в реакционном объеме за счет иммобилизации микроорганизмов на носителях различной природы (анаэробный биофильтр, биореактор с псевдооживленным слоем носителя) либо за счет формирования плотных флокул и гранул активного ила, не выносимых из аппарата восходящим потоком жидкости (UASB-реактор).

Целью настоящей работы является исследование процесса анаэробной очистки сточной воды молокоперерабатывающего производства в биореакторах с иммобилизованными микроорганизмами.

Объектом исследования являлась сточная вода Столбцовского молочного завода. Общий уровень загрязненности сточной воды по ХПК – 1500–3300 мг/л, величина pH – 8–9.

Процесс анаэробной обработки сточной воды в проточном режиме моделировали в биореакторах двух типов: анаэробном биофильтре объемом 2,2 л с фиксированной насадкой «ВИЯ» в виде вертикально ориентированных жгутов (12 г/л) и в комбинированном биореакторе объемом 2,2 л на основе UASB-реактора, в верхней части которого расположен слой насадки «ВИЯ», занимающий 36% от общего объема аппарата при плотности упаковки 12 г/л. Верхняя часть аппарата функционирует как анаэробный биофильтр. Одновременно насадка

выполняет функции газоилоотделителя. Нижняя свободная часть аппарата предназначена для самопроизвольного формирования хлопьев и гранул анаэробного ила и выполняет функции UASB-реактора. Продолжительность непрерывной работы биореактора в ходе эксперимента составила 8 месяцев. Скорость протока сточной воды, дозируемой перистальтическим насосом, изменяли в пределах 0,010–0,175 ч<sup>-1</sup>. Отбор проб биологически очищенной воды (БОВ) для анализа осуществляли после не менее 1,5-кратной смены всего объема жидкости в аппарате при заданной скорости разбавления среды.

Запуск биореакторов и вывод их на стабильный режим работы осуществляли с постепенным увеличением нагрузки по загрязнению. Расход сточной воды при запуске биореактора соответствовал удельной скорости разбавления среды 0,005–0,01 ч<sup>-1</sup>. Состав сточной воды анализировали по общепринятым показателям стандартными методами [2].

Для определения интенсивности образования биогаза процесс анаэробной переработки жидких отходов моделировали в лабораторном биореакторе объемом 2,0 л с фиксированной насадкой «ВИЯ» (12 г/л), функционирующем в отъемно-доливном режиме при 30°C. Объем выделяющегося биогаза измеряли в градуированном мерном цилиндре, герметично соединенном с биореактором. Заполненный водой мерный цилиндр одновременно выполнял функцию гидрозатвора, а объем выделившегося биогаза определяли по количеству вытесненной из мерного цилиндра жидкости. Количественное определение содержания метана в биогазе производили на газожидкостном хроматографе с детектором по ионизации в пламени.

Моделирование процесса очистки сточной воды в анаэробном биореакторе с фиксированной насадкой показало, что при скорости протока 0,016–0,075 ч<sup>-1</sup> степень очистки сточной воды составляет 57–83% по ХПК. Увеличение гидравлической нагрузки на биореактор в три раза привело к снижению степени очистки сточной воды только на 10% абсолютных (табл. 1).

## Эффективность очистки сточной воды в биореакторе с фиксированной насадкой

Показатели	Исходная сточная вода	Скорость протока, ч <sup>-1</sup>							
		0,016		0,035		0,047		0,075	
		Величина показателя БОВ	Степень очистки, %	Величина показателя БОВ	Степень очистки, %	Величина показателя БОВ	Степень очистки, %	Величина показателя БОВ	Степень очистки, %
ХПК, мг/л	3300	560	83	760	77	880	73	1420	57
Азот, мг/л	460	160	65	185	60	240	48	320	30
Фосфор, мг/л	34	16	53	18	47	25	27	28	18
Взв. в-ва, мг/л	1020	42	96	40	96	34	95	140	86

Максимальная удельная производительность анаэробного биореактора с фиксированной насадкой по деструктируемым загрязнениям составила 2,7 кг ХПК/(м<sup>3</sup>·сут). При этом анаэробная обработка сточной воды (при максимальной скорости протока) приводит к снижению содержания азота на 48%, фосфора на 27%. Содержание взвешенных веществ в биологически очищенной воде не превышает 200 мг/л, что удовлетворяет требованиям к стокам, направляемым на городские очистные сооружения (содержание взвешенных веществ не более 400 мг/л).

Конструкция комбинированного биореактора обеспечивает формирование в процессе эксплуатации и удержание в аппарате гранулированной биомассы активного ила в высокой концентрации, что и обуславливает высокую скорость деструкции загрязнений. В эксперименте засев комбинированного биореактора инокулятом не производили, создавая условия для естественного образования гранул активного ила из спонтанно развивающихся микроорганизмов. Первые 4 месяца биореактор функционировал при малой скорости протока (0,01–0,015 ч<sup>-1</sup>) для облегчения образования хлопьев и гранул ила. Стабильный режим функционирования биореактора был достигнут через 5 месяцев эксплуатации. К этому времени сформировались визуально наблюдаемые гранулы активного ила. Высокая концентрация активного ила в биореакторе обусловила снижение ХПК на 70–89% при нагрузке по органическим веществам 2,6–8,7 кг ХПК/(м<sup>3</sup>·сут). При этом анаэробная обработка сточной воды приводит к снижению содержания азота на 50%, фосфора на 29% при максимальной скорости протока (табл. 2). Эффективность очистки сточной воды в комбинированном биореакторе

значительно выше, чем в аппарате с фиксированной насадкой (рис. 1).

Комбинированный биореактор менее чувствителен к увеличению гидравлической нагрузки и обеспечивает требуемую степень очистки сточной воды при малом расходе носителя.

Представляет интерес процесс образования биогаза при анаэробной очистке сточной воды молокоперерабатывающего производства. Эксперименты показали, что при обработке сточной воды в биореакторе периодического действия процесс газообразования интенсивно протекает в первые двое суток, а затем резко замедляется. Периоду активного образования биогаза соответствует высокая скорость деструкции загрязнений сточной воды. На этот период приходится более 70% от общего количества деструктированных загрязнений. Однако концентрация метана в накопившемся в течение двух суток биогазе невысокая и составляет около 20% об. В течение последующего времени анаэробной обработки при небольшом приросте объема биогаза значительно увеличивается концентрация метана в нем, достигая максимальной величины 80% об. при продолжительности обработки сточной воды 190 ч (рис. 2). В начальный период анаэробного процесса биогаз содержит большое количество диоксида углерода. Последующее увеличение концентрации метана при небольшом росте объема биогаза может быть объяснено участием диоксида углерода в биосинтезе метана метанобразующими бактериями. В целом выход биогаза по отношению к деструктированным за весь период эксперимента загрязнениям составил 0,06 н.м<sup>3</sup>/кг ХПК. Максимальная величина удельной скорости образования биогаза в период его интенсивного накопления (за первые двое суток процесса) составляет 0,02 н.м<sup>3</sup>/кг ХПК·сут.

Таблица 2

## Эффективность очистки сточной воды в комбинированном биореакторе

Показатели	Исходная сточная вода	Скорость протока, ч <sup>-1</sup>							
		0,01		0,04		0,075		0,173	
		Величина показателя БОВ	Степень очистки, %	Величина показателя БОВ	Степень очистки, %	Величина показателя БОВ	Степень очистки, %	Величина показателя БОВ	Степень очистки, %
ХПК, мг/л	3000	90	97	320	89	500	83	900	70
Азот, мг/л	340	53	84	55	84	76	78	170	50
Фосфор, мг/л	28	9	68	12	57	16	43	20	29
Взв. в-ва, мг/л	1640	20	99	30	98	70	96	240	85

