

Обзор современного состояния анаэробной очистки сточных вод бродильных производств

М.А. ГЛАДЧЕНКО, В.И. СКЛЯР, С.В. КАЛЮЖНЫЙ

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

С.С. ЩЕРБАКОВ

Московский государственный университет пищевых производств

В винодельческой и спиртовой промышленности безотходная технология предполагает комплексное использование исходного сырья и образующихся из него вторичных ресурсов не только для увеличения масштабов производства ценных продуктов, но и для предотвращения загрязнения окружающей среды. Переработка винограда и производство вина сопровождаются образованием до 20 % вторичного сырья и отходов от исходного количества перерабатываемого винограда. На сегодняшний день большая часть вторичного сырья, как правило, утилизируется с получением ценных продуктов (Разуваев Н.И., 1975). Однако ситуация со вторичными продуктами перегонки вина, образующимися при выработке коньячных спиртов и спирта-ректификата, а также со вторичным сырьем при паточном производстве спирта (спиртовая барда — винасса в зарубежной литературе) обстоит несколько иначе. Дистилляционную винную барду используют в основном для выпуска виннокислой извести и виннокислых соединений. Отработанная концентрированная винная и не утилизируемая спиртовая барды — ценное сырье для получения кормовых продуктов, как правило, не находят эффективного применения, и ее сбрасывают в сточные воды с другими жидкими отходами производства (табл. 1) (Узун Д.Ф., Параска П.И., 1985). Образующий усредненный сток относится к категории концент-

рированных по органическим загрязнителям и представляет серьезную опасность для окружающей среды (табл. 2). В этой связи адекватное и экономически приемлемое решение проблемы обработки сточных вод винодельческой и спиртовой промышленности имеет большое практическое и социальное значение.

Один из наиболее перспективных способов очистки концентрированных сточных вод — применение анаэробных биологических методов их обработки, позволяющих решать не только экологические проблемы, но и получать ценный энергоснабжитель биогаз.

Сегодня разработано множество конструкций анаэробных реакторов, и их можно классифицировать на основании типа образующихся в них макроструктур анаэробной биомассы (ила). По этому принципу все конструкции можно разделить на реакторы со взвешенно-сидиментирующей биомассой (илом) и прикрепленной биомассой (био пленкой) [6]. Пример первого типа реакторов — анаэробные лагуны, контактный реактор, реактор с восходящим потоком жидкости через слой анаэробного ила (Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor, UASB), реактор с расширенным и взвешенным слоем гранул (EGSB), перегородочный реактор (Anaerobic Baffled reactor, ABR). Второй тип это — биофильтр с восходящим потоком (Anaerobic Filter, AF), биофильтр с нисходящим потоком жид-

кости (Down Flow Stationary Fixed Film reactor, DSFF), реактор с псевдоожиженным слоем носителя биопленки (Anaerobic Fluidized Bed reactor, AFB), вращающиеся биоконтактники, гибридные реакторы, сочетающие в себе конструкции двух реакторов (например, AF и UASB).

Данный обзор посвящен анализу существующих анаэробных процессов обработки сточных вод бродильных производств в термофильном (45...70 °С), мезофильном (15...45 °С) и психрофильном (ниже 15 °С) режимах.

Часть 1. Термофильные процессы

Проведение анаэробных процессов очистки в термофильном режиме может быть оправдано в ситуации, когда обрабатываемые стоки, поступающие в реактор, уже имеют достаточно высокую температуру (60...70 °С), как, например, в случае дистилляционных отходов бродильных производств.

По литературным данным, широкое применение для очистки подобного рода стоков нашел реактор с восходящим потоком жидкости через слой гранулированной биомассы (UASB-реактор). Литературные данные по анаэробной обработке жидких отходов виноделия и спиртовой промышленности в термофильном режиме (50...57 °С) представлены в табл. 3. Так, для обработки разбавленной винассы финские исследователи использовали UASB-

Таблица 1

Характеристика вторичных продуктов	Химический состав различных видов барды (средние величины)					
	коньячной		ликероводочной		спиртовой	
pH	4,7	4,6	3,7	3,8	5,0	4,9
ХПК ¹ , г O ₂ /л	—	23,5	42,5	37,3	64	66,5
БПК ₅ ² , г O ₂ /л	23	—	23	19,45	27,5	32,5
Сахара, г/дм ³	—	—	—	—	—	—
Фосфор, мг PO ₄ /л	—	300	220	375	—	—
Фенольные соединения, мг/дм ³	—	—	—	—	—	—
ЛЖК ³ , мг/дм ³	—	—	2150	—	—	—
Азот, мг/л:						
общий	271	—	700	850	1300	1450
аммиачный	—	2,8	—	150	500	325
Взвешенные вещества, мг/л	3120	1500	54900	4021	—	55000
Ссылка	(Емельянов В.Д., 1982)		[1]	[2]	(Bazua de C.D., Cabrero M.A., 1988)	

¹ Химическое потребление кислорода.

² Биологическое потребление кислорода (в течение 5 сут).

³ Летучие жирные кислоты.

Таблица 2

Характеристика отходов производства	Химический состав стоков			
	предприятий		спиртовых заводов	
	первичного виноделия			
pH	5,76	6	6,3	3,5
БПК, г/л	5,6	6	5,2	16
ХПК, г O ₂ /дм ³	10	6,7	9,7	30
Сахара, г/дм ³	1,8	1,4	—	—
Фосфор, мг PO ₄ /дм ³	6,7	6,6	—	150
Азот аммонийный, мг/дм ³	7,6	6,22	—	—
Фенольные соединения, мг/дм ³	405	171	—	—
ЛЖК, мг/дм ³	112,4	129	—	4500
Взвешенные вещества, мг/дм ³	2200	—	350	15000
Ссылка	(Гумбатова Т.Ф., (Джуриканц Н.Г., Гасонов М.В. и др., 1984)		[4]	[5]

Таблица 3

Рабочие характеристики	Испытания реакторов				
	со взвешенно-сидиментирующим слоем биомассы — UASB-реакторы				с прикрепленной биомассой — AFB-реакторы
	лабораторные		пилотные и промышленные		лабораторные
T, °C	55	55	55-57	50-55	55
V _{РЕАКТ} ² , М ³	0,0058	0,14	75	2*1000	0,0009
ХПК _{инт} ⁷ , кгХПК/М ³	0,2-3,8	10	31,8	60	15
ГВУ ³ , сут.	0,063	4-0,36	2-1,2	10	2,5-0,5
НОВ ⁴ , кгХПК/(М ³ ·сут)	3,2-20	2,5-28	15,9-26,5	6	6-33
Q _{биогаза} ⁵ , М ³ /(М ³ реактора·сут)	—	—	9,8*	2,5*	—
CH ₄ ⁶ , М ³ /(М ³ реактора·сут)	—	0,7-8	—	—	2-10
CH ₄ ⁶ , %	—	—	60	70	—
Э ⁷ , %	58-63	67-39	71,7	60-80	97-82
Ссылка	[7]	[8]	[9]	[1]	[10]

¹ Температура.

² Объем реактора.

³ Гидравлическое время удержания жидкости в реакторе.

⁴ Нагрузка по органическому веществу.

⁵ Выход биогаза с 1 м³ реактора в сутки.

⁶ Выход метана с 1 м³ реактора в сутки.

⁷ Эффективность удаления ХПК.

* Максимальный выход биогаза.

реактор, инокулированный мезофильным илом [7]. Несмотря на это, запуск реактора при термофильных условиях был реализован достаточно быстро (за 50 дней), что свидетельствовало о присутствии термофильных микроорганизмов в мезофильном иле. В дальнейшем реактор осуществлял процесс очистки не менее чем на 60 %.

Известно, что дистилляционная барда содержит трудно разлагаемые и токсичные вещества, такие, как дрожжевая биомасса, полифенольные соединения (Wiegant W., Lettinga G., 1985). Зачастую именно их распад и является лимитирующим фактором при минерализации органических веществ в барде. Подобного состава барду в лабораторных условиях утилизировали авторы работы [8]. Соотношение биологического потребления кислорода (БПК) и химического потребления кислорода (ХПК) составляло 0,25, что свидетельствовало о невысокой биоразлагаемости органических загрязнений барды. В течение 430 сут обработки барды в UASB-реакторе степень удаления органи-

ческих веществ (ОВ) составляла 39-67 и 80 % по ХПК и БПК (табл. 3). Это свидетельствует о том, что, несмотря на невысокий процент удаления ХПК, его биоразлагаемая часть подвергалась существенному распаду. Возможно, причина невысокого удаления ХПК — высокое содержание устойчивых комплексов фенольных веществ в барде. Эффективность и надежность UASB-реактора подтверждается и пилотными испытаниями, проведенными авторами работы [9], когда эффективность удаления ХПК превышала 70 %.

Используя опыт лабораторных и пилотных исследований, в 1991 г. в Греции разработана и внедрена полномасштабная технология утилизации спиртовой барды, представляющая собой двухстадийный процесс [1]. На первой стадии использовали 2 UASB-реактора с рециклами для сбрасывания охлажденной до 60...70 °C барды. Обработанный сток, содержащий значительные количества выносимого ила, поступал в промежуточную емкость периодического действия (флокулятор-

осадитель), где происходило осаждение ила, и последний возвращался в UASB-реактор. Надосадочная жидкость на второй стадии подавалась на центральную аэробную станцию промышленной зоны для доочистки. Было показано, что с помощью данной технологии можно достичь высокой эффективности очистки неразбавленной винассы (60 кг ХПК/м³), но продолжительное время пребывания жидкости в реакторе (10 сут) делает его объем достаточно большим, что сказывается на капиталовложениях.

Для обработки вино-спиртовой барды, состоявшей на 80 % из легкоразлагаемой фракции, исследовали и системы с прикрепленной биопленкой, к которым относят реактор с псевдооживленным слоем (AFB-реактор) [10]. Для поддержания псевдооживленного слоя применяли высокую скорость рецикла жидкости, а для прикрепления биомассы — стеклянные шарики с открытыми порами. Эффективность работы реактора изучали при разных нагрузках по органическому веществу (НОВ). Анализ полученных результатов (табл. 3) показал, что с повышением НОВ эффективность удаления загрязнений несколько снижается, но составляет не менее 82 %. При этом в процессе очистки удалось достичь высоких выходов метана (0,33 м³ на 1 кг удаленного ХПК) при применении повышенных органических нагрузок (до 33 кг ХПК/м³ в сутки).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Viissidis A., Zouboulis A.I.* Thermophilic anaerobic digestion of alcohol distillery wastewaters// *Bioresource Technol.* 1993. № 43. P. 131-140.
2. *Akunna J.C., Clark M.* Performance of a granular-bed anaerobic baffled reactor (GRABBR) treating whisky distillery wastewater//*Bioresource Technol.* 2000. V.74. P. 257-261.
3. *Bazua de C.D., Cabrero M.Y.* Vinasses biological treatment by anaerobic and aerobic processes: laboratory and pilot-plant tests//*Bioresource Technol.* 1991. № 35. P. 87-93.
4. *Гандурина Л.В., Буцева Л.Н., Штондина Б.С.* Очистка производственных сточных вод спиртового завода//*Известия вузов. Пищевая технология.* 1996. № 5-6. С. 14-15.
5. *Haandel van A.C., Catunda P.F.C., de Souza J.T.* Rentability increase of alcohol distilleries through rational use of vinasse//*Anaerobic Reactor Technology.* 1992. № 5. P. 71-75.
6. *Калужный С.В., Данилович Д.А., Ножевникова А.Н.* Анаэробная биологическая очистка сточных вод//*Итоги науки и техники. Сер. Биотехнология.* Под ред. С.Д. Варфоломеева. — М.: ВИНТИ, 1991. Т.29. — 155 с.
7. *Rintala J.* High-rate anaerobic treatment of industrial wastewaters//*Wat. Sci. Technol.* 1991. V.24. № 1. P. 69-74.
8. *Harada H., Uemura S., Chen A., Jayadevan J.* Anaerobic treatment of a recalcitrant distillery wastewater by a thermophilic UASB reactor// *Bioresource Technol.* 1996. V.55. P. 215-221.
9. *Souza M.E., Fuzaro G., Polegato A.R.* Thermophilic anaerobic digestion of vinasse in pilot plant UASB reactor//*Wat. Sci. Technol.* 1992. V.25. № 7. P. 213-222.
10. *Perez M., Romero L.I., Sales D.* Thermophilic anaerobic degradation of distillery wastewater in continuous-flow fluidized bed bioreactors// *Biotechnol. Prog.* 1977. № 13. P. 33-38.

Продолжение следует