

**Е.И. Семёнова, Т.Л. Ткаченко, Н.А. Бублиенко**

## **БИОДЕГРАДАЦИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Национальный университет пищевых технологий,  
г. Киев, Украина

*Исследованы процессы получения биогаза путем анаэробного сбраживания сточных вод пищевых производств при периодическом и непрерывном режимах с последующей их доочисткой способом аэробной ферментации.*

**Ключевые слова:** анаэробное сбраживание, активный ил, аэробная ферментация, аэротенк, биогаз.

**Введение.** В настоящее время только некоторые пищевые предприятия имеют собственный комплекс очистных сооружений для обработки сточных вод разной степени загрязненности [1]. Как правило, сточные воды сбрасываются в канализационную сеть населенного пункта, что предусматривает значительные финансовые расходы, а также соблюдение нормативных требований. Так, в Киеве разрешается сбрасывать сточные воды при ХПК 500 мг О/дм<sup>3</sup>. Например, для сточной воды молокоперерабатывающих предприятий этот показатель выше в несколько раз. Поэтому разработка технологии и строительство очистных сооружений локального типа для предприятий пищевой промышленности достаточно актуальны.

Рациональным считается использование комплексной экологически и экономически оправданной технологии, которая объединяет в себе разные способы очистки – механические, физико-химические и биологические [1].

В зависимости от концентрации загрязняющих веществ в сточных водах в качестве основного этапа очистки рекомендуются анаэробная стадия (метановое брожение), аэробная ферментация или комплексное сочетание этих двух стадий. Если ХПК не превышает 2000 мг О/дм<sup>3</sup>, необходимо использование аэробной ферментации [2], если же превышает, то целесообразно в качестве основной стадии применять метановое брожение, а для доочистки – аэробный способ.

Анаэробная технология имеет целый ряд существенных преимуществ в сравнении с общепринятой аэробной [3].

Метановая ферментация значительно расширяет диапазон сточных вод, пригодных для биологической очистки. Анаэробный процесс предусматривает использование меньшего количества биогенных элементов, что является особенно важным при обработке сточных вод. Так, сточные воды с соотношением БПК<sub>5</sub> : N : P = (300 ÷ 500) : 7 : 1 пригодны для анаэробной очистки. При аэробной технологии необходимо добавление биогенных элементов; указанное соотношение будет составлять 100 : 5:1.

Цель данной работы – определение параметров процессов анаэробной и аэробной ферментации, при которых основные показатели очистки сточных вод достигали бы своих максимальных значений.

**Методика эксперимента.** Опыты проводили на лабораторной установке, которая включала метантенк, аэротенк-смеситель (объемом по 5 дм<sup>3</sup>), газгольдер и вторичные отстойники. Процесс происходил в периодическом и непрерывном режимах. Для поддержания постоянной концентрации активного ила в очистных сооружениях проводили его рециркуляцию.

При определении основных гидрохимических и технологических показателей очистки воды (ХПК; количество биогаза; содержание метана в биогазе; скорость разбавления ( $D \cdot 10^{-2}$ ) – как отношение скорости потока к объему аппарата, ч<sup>-1</sup>; нагрузка на ил; прирост активного ила в аэротенке; эффективность очистки, определяемая как соотношение количества извлеченных загрязняющих веществ к их начальной концентрации по ХПК) были использованы стандартные методики [4].

**Результаты и их обсуждение.** Проведены исследования по утилизации сточных вод молокозавода (в частности, маслозавода), концентрированных сточных вод сахарного завода, предприятий по производству лимонной кислоты и хлебопекарских дрожжей с ХПК соответственно 4000, 3500, 12000 и 5000 мг О/дм<sup>3</sup>.

Метановую ферментацию этих сточных вод проводили при 50°С, что соответствует термофильному режиму брожения. Для исследования основных показателей процесса метанового брожения сначала было проведено сбраживание сточных вод в периодическом режиме (табл. 1).

Продолжительность брожения сточных вод молокозавода и сахарного завода при 30- и 50 %-ных дозах загрузки по отношению к объему очистного сооружения составляла 3 и 4 сут, предприятий по производству лимонной кислоты – 5 и 8, а дрожжей – 4 и 6 сут. Полученные данные свидетельствуют о прямой зависимости продолжительности брожения от концентрации загрязняющих веществ в сточных водах.

Наиболее интенсивно процессы трансформации загрязняющих веществ и газогенерации происходят в экспоненциальной и стационарной фазах роста микроорганизмов активного ила, что и подтверждается опытными данными. Прослеживается четкая взаимосвязь между очисткой и

синтезом биогаза; наибольшее выделение биогаза наблюдается при максимальном потреблении питательных веществ сточных вод. При увеличении дозы загрузки интенсивность процессов очистки и газогенерации уменьшается, что подтверждает классические представления о жизнедеятельности микроорганизмов в условиях повышенного содержания загрязняющих веществ.

*Таблица 1. Основные показатели очистки и газогенерации при периодическом брожении сточных вод в зависимости от доз загрузки*

Сточная вода	Доза загрузки, %	XПК <sub>кон</sub> , мг О/дм <sup>3</sup>	Выход биогаза, дм <sup>3</sup> /дм <sup>3</sup>	Содержание СН <sub>4</sub> , %	Степень очистки, %
Молоко-завод	30	190	3,80	73	95,3
	50	240	3,50	67	94,0
Сахарный завод	30	100	3,50	68	97,1
	50	150	3,20	64	95,7
Завод лимонной кислоты	30	1200	11,50	80	90,0
	50	1300	10,00	75	89,2
Дрожжевой завод	30	1000	4,80	82	80,0
	50	1100	4,50	80	78,0

Следует отметить, что, согласно данным предварительных исследований периодического процесса брожения, применение больших доз загрузки для сточных вод предприятий по производству лимонной кислоты и хлебопекарских дрожжей является нецелесообразным. Поэтому были использованы дозы загрузки до 30 % от объема культуральной жидкости (табл. 2).

Проведение непрерывного брожения показало, что при выбранных скоростях разведения можно достичь значительной степени очистки. Так, более высокая степень очистки достигается при наименьшей скорости разбавления и, наоборот, наиболее высокая скорость разведения приводит к снижению эффективности очистки. Повышение скорости разбавления способствует увеличению количества загрязняющих веществ, что влияет на процессы ассимиляции загрязняющих веществ, состав микроорганизмов, их симбиотические отношения и др. Поэтому при более высоких скоростях разбавления часть загрязняющих веществ проходит неполный путь разложения до конечных продуктов брожения, что и сказывается на эффективности очистки сточных вод.

Таблица 2. Основные показатели очистки и газогенерации при непрерывном сбразивании сточных вод в зависимости от скорости разбавления

Сточная вода	$D \cdot 10^{-2}, \text{ч}^{-1}$	XПК <sub>кон.</sub> , мгО/дм <sup>3</sup>	Выход биогаза, дм <sup>3</sup> /дм <sup>3</sup>	Содержание СН <sub>4</sub> , %	Степень очистки, %
Молоко-завод	1,39	550	4,0	75	86,3
	2,08	670	3,6	73	83,3
Сахарный завод	1,04	220	4,0	70	93,7
	2,08	450	3,7	65	87,1
Завод лимонной кислоты	0,42	1270	12,0	83	89,4
	1,04	2030	11,2	76	83,1
Дрожжевой завод	0,63	1165	5,0	83	76,7
	1,04	1480	4,7	81	70,4

Непрерывная ферментация концентрированных сточных вод молокозавода, сахарного завода, предприятий по производству лимонной кислоты и дрожжей приводит к зависимости выхода биогаза от концентрации загрязняющих веществ этих сточных вод. Зависимость выхода биогаза от скорости разбавления в процессе очистки показана на рис. 1.

Содержание в биогазе метана и степень сбразивания загрязняющих веществ сточных вод в зависимости от скорости разбавления представлены на рис. 2, на котором видно, что с повышением скорости разбавления количественные и качественные показатели биогаза ухудшаются.

Эти же данные находят подтверждение и при исследовании качественного состава биогаза. Процентное содержание метана в биогазе имеет ту же зависимость от скорости разбавления, что и количество образованного биогаза. Так как при распаде загрязняющих веществ образуется углекислый газ, а он является одним из компонентов субстрата, восстанавливаемого метаногенами до метана, то, возможно, повышение скорости разбавления приводит к нарушениям этого механизма, и некоторая часть углекислого газа не успевает пройти процесс восстановления.

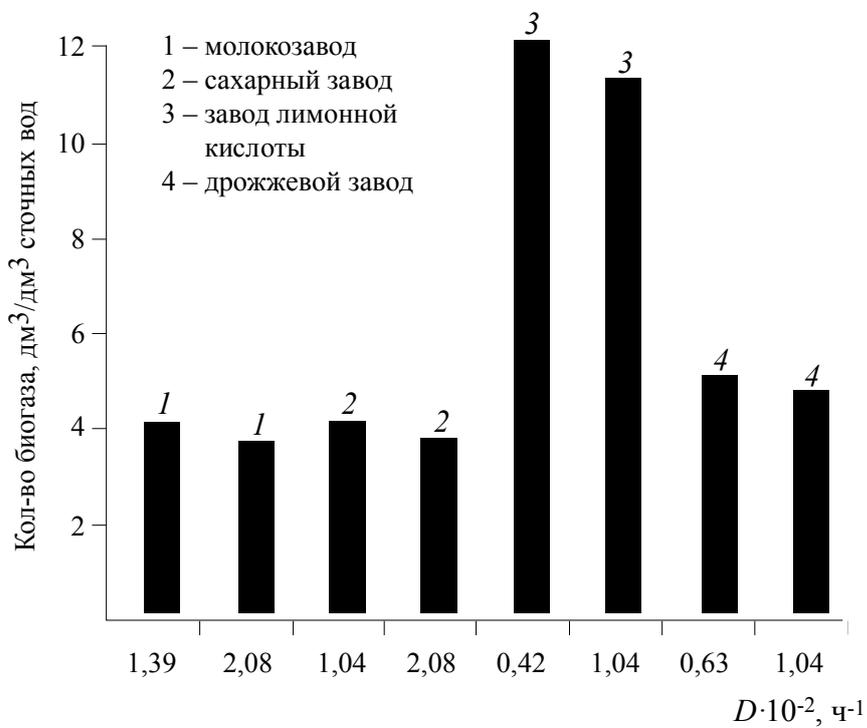
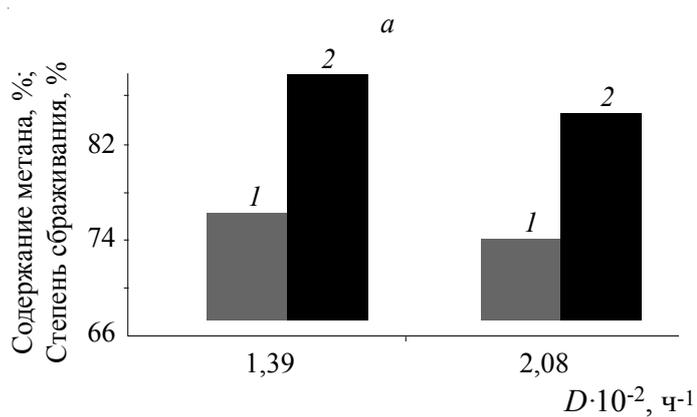
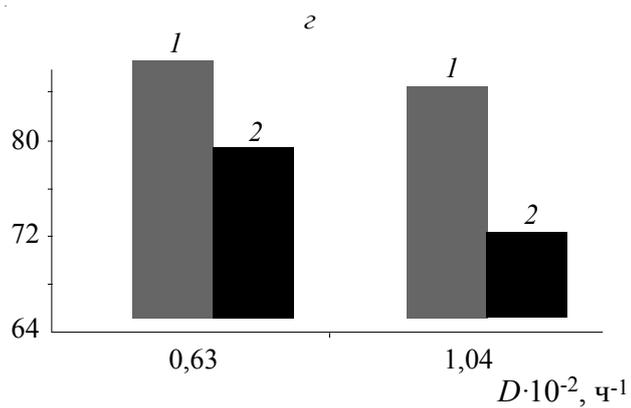
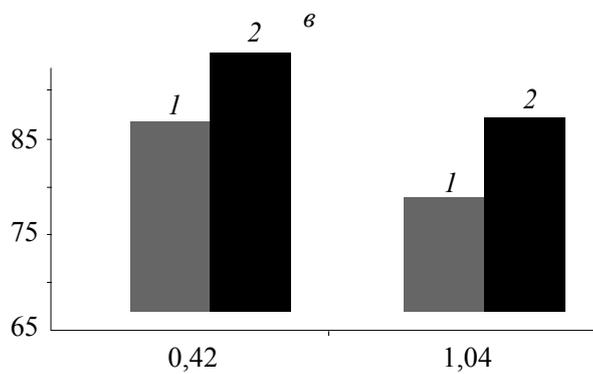
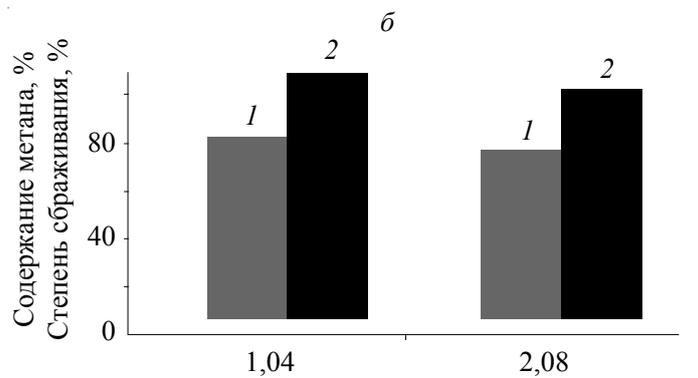


Рис. 1. Выход биогаза при очистке сточных вод предприятий пищевой промышленности в зависимости от скорости разбавления.





1 – содержание метана, %  
2 – степень сбраживания, %

Рис. 2. Содержание метана в биогазе и степень сбраживания сточных вод молокозавода (а), сахарного завода (б), предприятий по производству лимонной кислоты (в) и дрожжей (г).

Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что непрерывный режим брожения исследованных сточных вод позволяет достичь значительного извлечения загрязняющих веществ и получить дополнительный источник энергии – биогаз.

Показано, что метановая ферментация – основная стадия очистки концентрированных сточных вод – приводит к значительному снижению содержания загрязняющих веществ. Для полной очистки целесообразным является использование аэробной ферментации.

Аэробную доочистку проводили в периодическом режиме в аэротенке-смесителе. Основное его преимущество по сравнению с другими типами аэротенков – возможность достижения одинаковой концентрации загрязняющих веществ, активного ила и кислорода воздуха по всему объему сооружения, что обеспечивает высокую эффективность очистки [5, 6]. Концентрация ила в зависимости от вида сточных вод и уровня их загрязненности составляет 2 – 3 г/дм<sup>3</sup>. Результаты по очистке сточных вод аэробным активным илом приведены в табл.3.

Таблица 3. Основные показатели аэробной доочистки сточных вод

Сточная вода	ХПК <sub>нач</sub>	ХПК <sub>кон</sub>	Продолжительность аэрации, ч	Нагрузка на ил, г ХПК/г	Степень очистки, %	Прирост ила, мг/дм <sup>3</sup>
	мг О/дм <sup>3</sup>					
Молоко-завод	550	20	8	0,215	96,4	203
	670	45	12	0,295	93,3	215
Сахарный завод	220	20	5	0,103	90,9	149
	450	25	7	0,175	94,4	186
Завод лимонной кислоты	1270	30	8	0,494	97,6	299
	2030	40	13	0,789	98,0	442
Дрожжевой завод	1165	30	9	0,453	97,0	232
	1480	40	12	0,575	97,3	278

Нагрузка на ил непосредственно влияет на конечные показатели процесса очистки сточных вод. При ее увеличении происходит снижение эффективности очистки. Теоретически при всех значениях нагрузки на ил ХПК очищенной воды должно быть одинаковым для каждого вида сточных вод, так как продолжительность аэрации различна, но на прак-

тике этого не происходит. Это связано с увеличением количества веществ, которые не поддаются биоразложению при увеличении нагрузки на ил.

Проведенные опыты показали, что использование анаэробно-аэробной технологии очистки сточных вод обеспечивает практически полное извлечение загрязняющих веществ по ХПК. Таким образом, степень очистки сточных вод молокозавода, сахарного завода, предприятий по производству лимонной кислоты и дрожжей составляет соответственно 99,5; 99,4; 99,8; 99,4 %.

**Выводы.** Определены основные показатели периодического и непрерывного режимов очистки сточных вод предприятий пищевой промышленности с последующей их доочисткой способом аэробной ферментации. Установлена целесообразность использования комплексной анаэробно-аэробной технологии очистки. Повысить экономическую эффективность процесса можно за счет использования биогаза с высоким содержанием метана.

**Резюме.** Проведено дослідження процесу отримання біогазу шляхом анаеробного зброджування стічних вод харчових підприємств при періодичному та безперервному режимах з наступним їх доочищенням способом аеробної ферментації.

*E.I. Semenova, T.L. Tkachenko, N.A. Bubljenko*

## **BIODEGRADATION OF CONTAMINATIONS OF FLOW WATERS OF ENTERPRISES OF FOOD INDUSTRY**

### Summary

The process of receipt of biogas is investigational at anaerobic fermentation of sewages of food productions in the periodic and continuous modes. Further cleaning sewer waters conducted the method of aerobic fermentation.

### Список использованной литературы

- [1] *Запольський А.К., Українець А.І.* Екологізація харчових виробництв. – К.: Вища шк., 2005. – 423 с.
- [2] *Ткаченко Т.Л., Семенова О.І., Бублієнко Н.О., Левандовський Л.В.* // Матеріали ІІІ Всеукр. з'їзду екологів з міжнарод. участю (Екологія/Ecology – 2011) (Вінниця, 21 – 24 вересня 2011 р.). – Вінниця: ВНТУ, 2011. – Т. 1. – С. 31 – 34.

- [3] *Лукашевич Є.А.* Розробка біотехнології очистки стічних вод і виробництва біогазу на відходах молочних заводів: Автореф. дис... канд. техн. наук. – К., 2003. – 20 с.
- [4] *Муравьев А.Г.* Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами. – СПб.: Крисмас, 2004. – 248 с.
- [5] *Жмур Н.С.* Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. – М.: Акварос, 2003. – 512 с.
- [6] *Олійник О.Я., Зябликов С.В.* // Пробл. водопостачання, водовідведення та гідравліки. – 2005. – Вип.4. – С. 46 – 53.

Поступила в редакцию 03.04.2012 г.