**АВТОНОМНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ АНАЭРОБНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ
ОРГАНИЧЕСКИХ СТОКОВ В ПРИРОДООХРАННОЙ ЗОНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ**

Бадмаев Ю.Ц., Петунов С.В.

*Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова,
Улан-Удэ, Россия
badmaev57@bk.ru*

**AUTONOMOUS TECHNOLOGY OF ANAEROBIC PROCESSING OF ORGANIC
WASTE IN THE PROTECTED AREA OF LAKE BAIKAL**

Badmaev Yu.Ts., Petunov S.V.

V.R. Filippov Buryat State Academy of Agriculture, Ulan-Ude, Russia

В статье приведены существующие технологии переработки органических стоков в природоохранной зоне оз. Байкал и предлагается автономная эколого- и энергосберегающая технология анаэробной переработки стоков в биоэнергетическом цехе второго поколения (БЭЦ-2). Даны технологическая схема цеха и описание модульного 4-х ступенчатого процесса переработки органических стоков в биореакторах. Отражены предлагаемые методы и подходы с оценкой степени новизны технологии анаэробной переработки органических стоков в реакторах с биофильтрами. Обоснованы технико-экономические показатели анаэробной переработки органических стоков хозяйственной деятельности в природоохранной зоне Байкальской природной территории.

Ключевые слова: биоэнергетический цех, биореакторы, органические стоки, анаэробная переработка, биогаз, удобрение.

The article presents the existing technologies for processing organic wastewater in the protected area of Lake Baikal and proposes an autonomous ecological and energy-saving technology for anaerobic wastewater processing in the bioenergy workshop of the second generation (BET-2). The technological scheme of the workshop and the description of the modular 4-stage process of processing organic waste in bioreactors are given. The proposed methods and approaches with an assessment of the degree of novelty of the technology of anaerobic processing of organic wastewater in reactors with biofilters are reflected. The technical and economic indicators of anaerobic processing of organic effluents of economic activity in the nature protection zone of the Baikal Natural Territory are substantiated.

Keywords: bioenergy workshop, bioreactors, organic effluents, anaerobic digestion, biogas, fertilizer.

В настоящее время огромное внимание уделяют природоохранным мероприятиям и экологии озера Байкал, так как существующие технологии переработки органических отходов не удовлетворяют современным требованиям сохранения чистоты водного бассейна уникального озера. То есть использование отстойников, биологических прудов и лагун, хранилищ и накопителей органических отходов и стоков ограничиваются особенностями природно-климатических условий Байкальской природной территории.

Одним из основных загрязнителей в природоохранной зоне оз. Байкал являются органические стоки курортно-санаторных учреждений, баз отдыха, школ, детских садов, частного сектора и т.д. Во многих регионах в прибрежной зоне, не канализованных населенных мест, загрязнены органическими отходами, болезнетворными бактериями, яйцами гельминтов и т.д., которые при паводках, с талыми и дождевыми водами смываются в оз. Байкал. Применение на практике широко распространенное техническое решение канализования отдельного объекта, со сбором стоков в накопители и последующим их вывозом приводит к увеличению материальных и энергетических затрат.

Водоотведение отдельно стоящих объектов характеризуется высокой неравномерностью притока органических стоков по расходу, составу и концентрации загрязнений. Нередки длительные перерывы в образовании стоков, например, из-за сезонных нахождений посетителей. Эти особенности водоотведения малых объектов канализования крайне отрицательно сказываются на условия проведе-

ния процесса переработки органических стоков, которые усугубляются тем, что на автономных очистных сооружениях, как правило, нет специализированного обслуживающего персонала. В этом случае, очистные сооружения должны отвечать следующим требованиям: простота в монтаже и эксплуатации, эффективность и надёжность в работе, низкая энергоёмкость.

В связи с этим, особую значимость приобретают комплексные исследования по переработке органических стоков хозяйственной деятельности в природоохранной зоне и разработка эффективных эколого- и энергосберегающих технологий с наименьшими затратами. Поэтому научные исследования, проводимые нами, направлены на снижение риска загрязнений окружающей среды, водного и воздушного бассейна уникальной природной территории оз. Байкал путём разработки и внедрения биоэнергетического цеха БЭЦ-2, которая основана на применении биореакторов второго поколения для анаэробной переработки органических стоков по модульной 4-х ступенчатой технологии производства биогаза и удобрений (рис. 1) [1; 2; 5].

Рис. 1. Технологическая схема биоэнергетического цеха БЭЦ-2

Особенностью разработанного БЭЦ-2 является интенсификация процесса анаэробной переработки органических стоков с производством биогаза и удобрений в более короткие сроки. Технология включает в себя ряд последовательных операций: биореакторы – предбраживатели (1-я и 2-я ступени) и биореакторы с анаэробным биофильтром (3-я и 4-я ступени) с суточной загрузкой органического сырья в биоцех 20 %, температурой технологического процесса переработки стоков 36-37 °С, с влажностью сбраживаемого субстрата 92,0 %. Совершенствование и новизной данной технологии переработки органических стоков заключается в применении биофильтра, который является конструктивным элементом биореактора. Биофильтр устанавливается внутри камер сбраживания биореакторов 3-й и 4-й ступеней и предназначен для повышения эффективности работы биоэнергетического цеха [3; 6; 7].

На рис. 2 представлен внешний вид основного оборудования: биореактор цилиндрической формы; биофильтр, служащий иммобилизатором метанобразующих микроорганизмов и мокрый газосборник, предназначенный для сбора образующегося биогаза. Интенсификация процесса переработки органических стоков в БЭЦ-2 происходит путем применения биологических фильтров (рис. 2б) с развитыми поверхностями рабочих органов, накопленными на них метаногенными сообществами микроорганизмов и представляющий собой форму цилиндра жесткой конструкции.

Эксплуатация БЭЦ-2 дает возможность экономить тепловые потери за счет предложенной формы реактора, снизить энергозатраты на перемешивание, уменьшить габариты оборудования за счет увеличения скорости метаногенеза и обеспечить более полную минерализацию исходного сырья, благодаря высокой удельной поверхности контакта сформировавшейся биопленки в анаэробном биофильтре со сбраживаемым субстратом [5; 7].

Строительным материалом для создания биоэнергетической установки служат бетонные кольца (табл. 1). Герметичность достигается путем применения цельных бетонных резервуаров с дополнительной окраской и облицовкой внутренней и наружной поверхности с использованием синтетических полимерных материалов и армированных стекловолокон.

Рис. 2. Внешний вид основного оборудования БЭЦ-2: а) биореактор; б) биофильтр; в) газосборник

Таблица 1

Технические характеристики основного оборудования БЭЦ-2

Наименование	Ед. измерения	Показатели
1. Объем биореактора	м ³	9,5 х 4 = 38,0
Строительный материал		с замком и основанием
- бетонные кольца КС-10 – 10ч		
- габаритные размеры (диаметр, высота, толщина стенок)	мм	1000х1000х80
- вес	тонн	1,98 х 8 =11,88
- количество	шт.	8
- плиты перекрытия ПП 10-2	шт.	4
-стоимость	руб.	2420
Стоимость биореакторов	руб.	28970
2. Анаэробный биофильтр, 2 ед.	тип	АБц (цилиндрический)
- габаритные размеры (диаметр, высота)	мм	500 х 1500
- иммобилизационный материал	тип	полимер
- стоимость	руб.	8000
3. Газосборник	тип	ГСц (цилиндрический) с замком и основанием
- бетонные кольца КС-10 – 10ч		
- габаритные размеры (диаметр, высота, толщина стенок)	мм	1000х1000х80
- вес	тонн	1,98
- количество	шт.	1
- стоимость	руб.	14485
4. Общая стоимость оборудования	руб.	51455

Техническая характеристика основного оборудования биоэнергетического цеха (табл. 1) представлена для малых предприятий с суточным образованием стоков $V_{\text{сут}} = 8,0$ т/сут., а технико-экономические показатели (табл. 2) анаэробной переработки органических стоков в природоохранной зоне оз. Байкал с годовым объемом работ равной $P_{\text{год}} = 2929$ т/год [4; 5].

При реализации предлагаемой технологии в природоохранной зоне оз. Байкал будут получены следующие результаты:

- снижение риска загрязнения водоисточников;
- улучшение состояния атмосферного воздуха в природоохранной зоне путём устранения неприятных запахов сероводорода на территории массового нахождения людей, так как технология переработки органических стоков осуществляется в анаэробных условиях;
- отказ от дорогостоящих трубопроводов и накопителей, услуг откачки и транспортировки органических стоков в места их переработки и хранения;
- полученный, в результате переработки органических стоков, биогаз является дополнительным источником энергии для нужд предприятий;
- применение анаэробных биофильтров (прикреплённая микрофлора) позволит постоянно иметь в зоне переработки запас биомассы микроорганизмов, что обеспечит устойчивую работу биостановок в условиях высокой неравномерности притока органических стоков по расходу, составу и концентрации загрязнений.

Таблица 2

Технико-экономические показатели анаэробной переработки органических стоков в природоохранной зоне оз. Байкал

Наименование показателей	Условные обозначения	Значения показателей для варианта переработки стоков	
		базового	нового
Капиталовложения, руб.:			
- сооружение	K_c	184200,0	196950,0
- оборудование и монтаж	K_c	125500,0	169550,0
- здания	K_z	394000,0	487000,0
Годовой объем работ, т.	$P_{год}$	2920	2920
Расход электроэнергии, кВт·ч/год	Эн. год	3700	1004,1
Образование биогаза, м ³ /год	V_b	--	31787,0
Товарный биогаз, м ³ /год	V_t	--	7845,0
Капиталовложения, руб./т	K_t	203,9	305,4
Транспортные расходы, руб./т.	Γ	141,2	--
Эффект от предотвращения заболеваний животных, руб.	$\mathcal{E}_{жп}$	--	127700,0
Эффект от предотвращения, загрязнения атмосферы, руб.	$\mathcal{E}_A$	--	19950,0
Эффект от предотвращения загрязнения водоемов, руб.	$\mathcal{E}_{вг}$	--	148600,0
Эффект от получения товарного биогаза, руб.	$\mathcal{E}_б$	--	149050,5
Годовой экономический эффект, руб.	$\mathcal{E}_{год}$	--	445300,0
Срок окупаемости капитальных вложений, лет	$T_{ок}$	--	2,5

Список литературы

1. Бадмаев Ю. Ц. Биоэнергетическая система второго поколения БЭС-2 по производству биогаза в условиях Республики Бурятия // Материалы международной научно-практической конференции посвященной 80-летию д.т.н., проф. Сергеева Ю. А. Улан-Удэ : Изд-во БГСХА, 2019. С. 136-140.
2. Бадмаев Ю. Ц. Высокоинтенсивная технология анаэробной переработки органических отходов животноводства в условиях Республики Бурятия: Научно-методические рекомендации / ФГБОУ ВПО «Бурятская ГСХА им. В. Р. Филиппова». Улан-Удэ : БГСХА им. В.Р. Филиппова, 2014. 104 с.
3. Бадмаев Ю. Ц. Система анаэробного «бактериального фильтра» при сбраживании органических стоков животноводства / Ю. Ц. Бадмаев, И. Б. Шагдыров, С. Н. Кушнарв // Материалы международной науч.-практ. конференции, посвященной 85-летию БГСХА и 55-летию инженерного факультета 1-5 июня 2016 г. Улан-Удэ : Изд-во БГСХА, 2016. С. 9-14.
4. Бадмаев Ю. Ц. Техничко-экономическая эффективность применения биогаза в условиях Республики Бурятия / Ю. Ц. Бадмаев, Ю. А. Сергеев // Сб. науч. трудов ВСГУТУ. № 14. Улан-Удэ : Изд-во ВСГУТУ, 2018. С. 52-57.
5. Бадмаев Ю. Ц. Производственная проверка биогазовой установки второго поколения БГУ-2 в условиях Республики Бурятия // Материалы международной научно-практической конференции. Новосибирск : СФНЦА РАН, 2019. С. 263-267.
6. Бадмаев Ю. Ц. Эффективная переработка органических стоков в Байкальском регионе с применением анаэробного биофильтра // Вестник Крас. ГАУ. 2009. Вып. 7(34). С. 172-174.
7. Петунов С. В. Эффективность энергосберегающей биогазовой технологии / В. П. Друзьянова, Ю. А. Сергеев // Вестник БГСХА им. В. Р. Филиппова. 2018. № 2(51). С.149-153.