

**ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АПК  
TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT  
FOR AGROINDUSTRIAL SECTOR**

Научная статья

УДК 631.3:631.8(571.54)

doi: 10.34655/bgsha.2024.77.4.019

**Интенсивная технология по производству органических удобрений  
и биогаза**

**Ю.Ц. Бадмаев, Л.П. Шкедова, М.Б. Балданов, О.Г. Зимина**

Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова,  
Улан-Удэ, Россия

Автор, ответственный за переписку: Юрий Цырендоржиевич Бадмаев,  
badmaev57@bk.ru

**Аннотация.** Целью нашей научно-исследовательской работы является разработка и создание высокоинтенсивной технологии получения органических удобрений с наименьшими затратами и в кратчайшие сроки. Методы исследования были направлены на определение эффективности применения анаэробного биофильтра (накопителя метанообразующих микроорганизмов) в камере сбраживания метантенка биоэнергетической установки типа БЭУ-С (система), который явился одним из факторов интенсификации технологии получения удобрений и биогаза из органических отходов животноводства, а также для снижения объёмов и металлоёмкости используемого оборудования. В материалах статьи дана технологическая схема биоэнергетической установки БЭУ-С, общие виды и технические характеристики основного и вспомогательного оборудования – метантенка, сборника удобрений, газосборника, анаэробного биофильтра и теплообменника. При выполнении инженерно-технических задач в работе определены оптимальные параметры технологического оборудования, а в результатах исследований представлены сравнительные характеристики применения анаэробного биофильтра и предложения по технологии интенсивного производства жидких органических удобрений и биогаза. Разработанная технология имеет определенные преимущества перед существующими биотермическими технологиями производства удобрений, т.к. уничтожаются семена сорных растений, болезнетворные микроорганизмы, содержащиеся в органических отходах животноводства в более короткие сроки. Кроме этого, одновременно получаем энергетический продукт в виде биогаза, не принося экологического вреда окружающей природной среде.

**Ключевые слова:** метантенк, сборник удобрений, газосборник, котел, насос циркуляционный, солнечный коллектор.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках стратегического проекта ФГБОУ ВО БУРЯТСКАЯ ГСХА «БайкалБиоФарм. Лекарственное растениеводство» программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030. Дальний Восток».

Original article

**Intensive technology for the production of organic fertilizers and biogas****Yuri Ts. Badmaev, Lyudmila P. Shkedova, Munko B. Baldanov, Olga G. Zimina**

Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov, Ulan-Ude, Russia

Corresponding author: Yuri Ts. Badmaev, badmaev57@bk.ru

**Abstract.** The purpose of the research is to design and create a high-intensity technology for obtaining organic fertilizers at the lowest cost within the shortest possible time frame. The research methods were aimed at determining the effectiveness of using an anaerobic biofilter (a storing device of methane-forming microorganisms) in a fermentation chamber of a methane tank of a biopower plant of the BPP-S type (system), which became one of the factors of the intensification of technologies for obtaining fertilizers and biogas from organic wastes from livestock, as well as for reducing the volume and metal consumption of the equipment used. The article provides a technological scheme of the biopower plant BPP-S, general layouts and technical characteristics of the main and auxiliary equipment: a methane tank, a fertilizer collector, a gas collector, an anaerobic biofilter and a heat exchanging unit. When performing engineering and technical tasks, the optimal parameters of technological equipment were determined, the research results present comparative characteristics of the use of an anaerobic biofilter and proposals for the technology of intensive production of liquid organic fertilizers and biogas. The technology designed has a number of advantages over existing biothermal technologies of fertilizers production as weeds seeds, pathogenic microorganisms, containing in the organic wastes of the animal husbandry are eradicated. Simultaneously, an energy product in a form of biogas is obtained without damaging the environment.

**Keywords:** methane tank, fertilizers collector, gas collector, boiler, circulation pump, solar collector.

**Acknowledgments.** The work was carried out within the framework of the strategic project of Buryat State Academy of Agriculture "BaikalBioPharm. Medicinal plant growing" of the strategic academic leadership program "Priority 2030. Far East".

**Введение.** Известно, что отходы животноводческих предприятий, расположенных на территории Байкальского региона, представляют собой сырьевую базу для получения органических удобрений для растениеводства, в том числе и для лекарственного. При выращивании лекарственных растений органические удобрения (навоз и компосты) рекомендуется вносить под вспашку в паровое поле [1]. Даже при низкой степени засоренности с 1 т органических удобрений в почву может попасть до 100 тыс. жизнеспособных семян сорняков [2]. Поэтому разработка технологий получения органических удобрений, не содержащих семена сорных растений и болезнетворные микроорганизмы, актуальна [3].

**Цель работы** – разработка и создание высокоинтенсивной технологии получения органических удобрений с наимень-

шими затратами и сокращением сроков.

**Условия и методы исследования.** При разработке интенсивной технологии получения жидких органических удобрений предусмотрена возможность круглогодичного использования установки в природно-климатических условиях региона, когда температура окружающей среды в зимний период достигает  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ . А при выполнении инженерно-технических задач методы исследования были направлены на интенсификацию технологического процесса анаэробного сбраживания органических отходов животноводства в биоэнергетической установке БЭУ-С, т.е. для определения эффективности применения анаэробного биофильтра (накопителя метанообразующих микроорганизмов) в камере сбраживания метантенка, который является «ускорителем» технологического процесса анаэробного

сбраживания органических отходов с получением удобрений и биогаза. В связи с этим нами была разработана и создана

биоэнергетическая установка типа БЭУ-С (система), общий вид которой показан на рисунке 1 [4, 5].



Рисунок 1. Общий вид биоэнергетической установки БЭУ-С: а) метантенк, б) сухой камерный газосборник и в) сборник удобрений.

БЭУ-С предназначена для интенсивной переработки органических отходов животноводства с получением органического удобрения и биогаза, технологичес-

кая схема которой представлена на рисунке 2, а техническая характеристика в таблице 1.

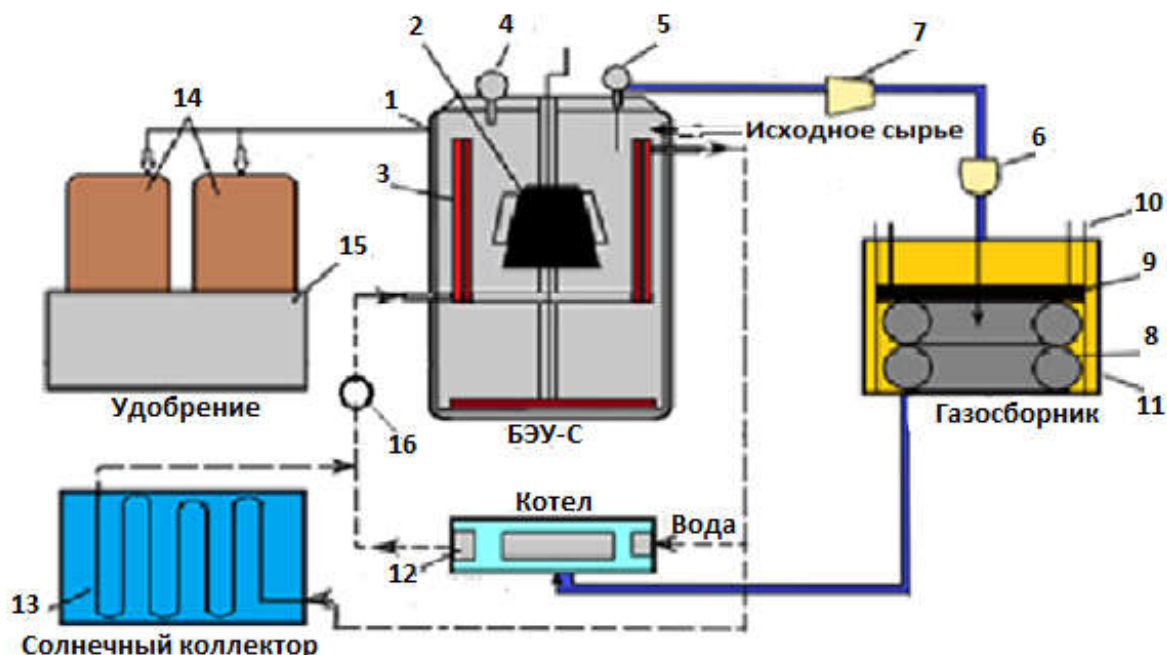


Рисунок 2. Технологическая схема биоэнергетической установки БЭУ-С  
 1 – метантенк с утеплителем; 2 – анаэробный биофильтр; 3 – теплообменник;  
 4 – манометр; 5 – термометр; 6 – очиститель биогаза; 7 – клапан предохранительный;  
 8 – камера автомобильная; 9 – крышка-противовес;  
 10 – направляющая крышки; 11 – корпус; 12 – теплообменник; 13 – змеевик;  
 14 – емкость для удобрений; 15 – лоток; 16 – насос циркуляционный

Таблица 1 – Техническая характеристика биоэнергетической установки БЭУ-С

Наименование	Условные обозначения	Показатели
<i>Метантенк</i>		
Объем: общий Рабочий	$V_{об}, м^3$ $V_p, м^3$	0,23 0,2
Тип, материал изготовления		Цилиндрический, пластмасс
Габаритные размеры: диаметр x высота	(d x h), м	0,58 x 0,96
Герметичность		Металлический хомут с замком
<i>Газосборник</i>		
Объем:	$V_r, м^3$	0,23
Тип		Сухой, камерный
Количество камер	n, шт	2...3
Корпус		Деревянный
Габаритные размеры: длина x ширина x высота	(a x b x h), м	0,6 x 0,5 x 0,27
<i>Сборник удобрений</i>		
Емкость удобрений с общим рабочим объемом 40 литров : тип, материал		Цилиндрический полиэтиленовый
Количество	n, шт	2
Корпус ящика		Деревянный
Габаритные размеры: длина x ширина x высота	(a x b x h), м	0,7 x 0,34 x 0,3

*Метантенк* (рис. 1 и 2) представляет собой цилиндрическую пластмассовую емкость, на крышке которого установлены манометр (4) и термометр (5), соответственно, для контроля давления и температурного режима в рабочей камере сбраживания. *Сухой камерный газосборник* предназначен для сбора образующегося биогаза из метантенка и представляет собой резервуар, собранный из двух автомобильных камер (8), соединенных между собой переходными патрубками и установленный в деревянном корпусе (11). Достоинством данного газосборника является то, что при необходимости имеется возможность увеличения рабочих объемов за счёт включения дополнительных ёмкостей из автомобильных камер. *Сборник удобрений* состоит из двух полиэтиленовых емкостей (14), установленных в деревянном лотке (15).

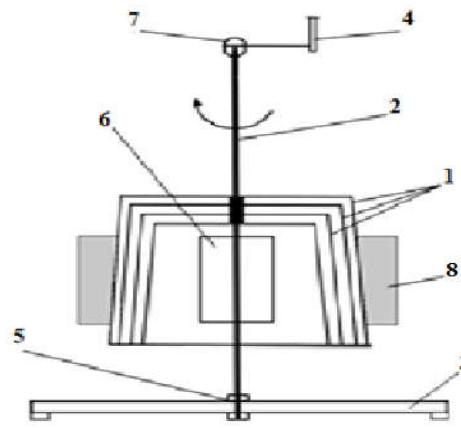
Для интенсификации технологического процесса получения органического удобрения и биогаза в камере сбражива-

ния метантенка (рис. 2 и 3) установлен биофильтр-мешалка, который является «ускорителем» анаэробного сбраживания органического сырья путем контакта накопленной (иммобилизованной) активной биомассы на его рабочих поверхностях с перерабатываемым продуктом и дополнительно выполняет функцию перемешивания органического сырья. Общий вид и технологическая схема биофильтра-мешалки представлены на рисунке 3.

А для обеспечения теплового технологического процесса получения органического удобрения и биогаза из органических отходов в метантенке установлен теплообменник (рис. 2 и 4), который работает по следующим контурам: основной – котел – циркуляционный насос – теплообменник – котел и дополнительный – солнечный коллектор – циркуляционный насос – теплообменник – солнечный коллектор [6, 7].



а)

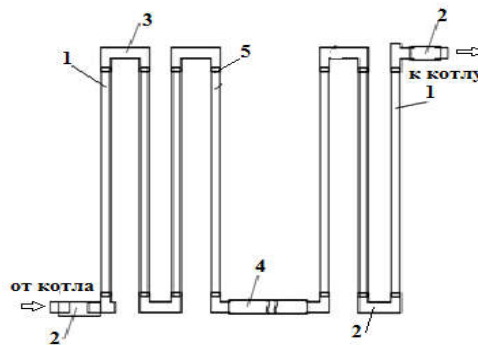


б)

Рисунок 3. Биофильтр-мешалка: а) общий вид; б) технологическая схема  
1 – цилиндрические пластмассовые лопасти, 2 – вал, 3 – крестовина, 4 – рукоятка, 5 – подшипник, 6 – циркуляционное окно, 7 – крепление: 8 – мешалка



а)



б)

Рисунок 4. Теплообменник: а) общий вид, б) технологическая схема  
1 – трубка латунная, 2 – сгон, 3 – патрубок соединительный, 4 – муфта, 5 – хомут

Технические характеристики вспомогательного оборудования БЭУ-С (система) даны в таблице 2.

**Таблица 2** – Технические характеристики вспомогательного оборудования БЭУ-С

Наименование	Условные обозначения	Показатели
<i>Биофильтр-мешалка</i>		
Тип, материал изготовления		Цилиндрический, пластмасс
Габаритные размеры: диаметр x высота, площадь поверхности лопастей:	(d x h), м	0,22 x 0,25
1-й	S <sub>1</sub> , м <sup>2</sup>	0,33
2-й	S <sub>2</sub> , м <sup>2</sup>	0,23
3-й	S <sub>3</sub> , м <sup>2</sup>	0,16
4-й	S <sub>4</sub> , м <sup>2</sup>	0,09
Количество мешалок	n, шт	4
габаритные размеры: ширина x высота	b x h, м	0,02x 0,25
<i>Теплообменник</i>		
Тип		Трубчатый
Количество труб (с хомутами)	n, шт	7 (14)
Количество секций	n, шт	2
Габаритные размеры: диаметр x высота	(dx h), м	0,025 x 0,4

Технологический процесс производства органического удобрения и биогаза (см. рис. 2) осуществляется следующим образом: исходное органическое сырье подается в метантенк (1), где происходит ее анаэробное сбраживание. Далее полученное удобрение поступает в специальные полиэтиленовые емкости (14), а выделяющийся биогаз накапливается в сухом газосборнике, состоящем из автомобильных камер (8).

**Результаты исследований и предложения.** Экспериментальная проверка биоэнергетической установки БЭУ-С

позволила определить эффективность применения биофильтра в камере сбраживания метантенка на интенсивность производства органических удобрений при анаэробном сбраживании органических отходов животноводства в сравнении с существующими технологиями переработки без биофильтра, при которых технологический процесс получения продуктов контролируется по образованию биогаза в метантенке. Результаты теоретических и экспериментальных исследований представлены в таблице 3 [8, 9].

**Таблица 3** – Результаты теоретической и экспериментальной проверки БЭУ-С

Сутки	Интенсивность образования биогаза ( $V_c$ м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> сут) в метантенке при переработке органических отходов КРС		
	С биофильтром		без биофильтра – экспериментальное
	экспериментальное	теоретическое	
1	0,40	0,62	0,41
5	0,55	0,72	0,46
3	0,47	0,44	0,09
4 – 5	1,01	1,05	0,10
6 – 10	1,31	1,42	0,25
11 - 15	2,15	2,98	0,73
16 – 20	2,85	3,31	1,52
25 - 30	-	-	3,12

Отсюда следует (рис. 5), что интенсивность производства жидких органических удобрений и биогаза в метантенке с био-

фильтром на 24,0 % выше, чем в традиционной биоэнергетической установке.

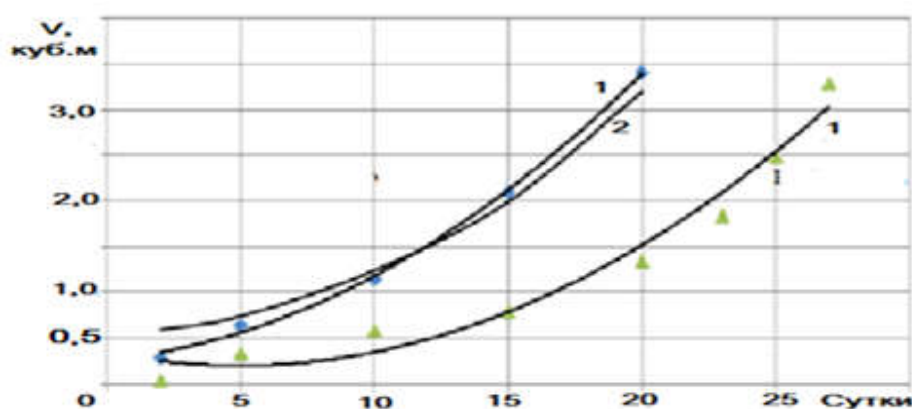


Рисунок 3. Результаты интенсивности образования биогаза ( $V_c$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>сут) при переработке органических отходов КРС в метантенке с биофильтром: 1 – экспериментальные и 2 – теоретические данные) и без биофильтра: 1 – экспериментальные данные

Результаты теоретических и экспериментальных исследований получения органического удобрения и биогаза в интенсивном режиме в биоэнергетической установке БЭУ-С позволили определить, что данная технология должна удовлетворять следующим технологическим услови-

ям, соответствующим как к оборудованию инженерно-технических систем, так и к конструктивным элементам установки. Технологические условия, принятые при разработке биоэнергетической установки БЭУ-С [10], были детализированы и уточнены (табл. 4).

**Таблица 4** – Технологические условия при производстве органических удобрений и биогаза в биоэнергетической установке

№ п/п	Наименование	Условные обозначения	Показатели
3	Доза суточной загрузки	D, %	14
4	Продолжительность переработки	T, сут	5
5	Температура технологического процесса	T, °C	36-37
6	Технологическая характеристика отходов: влажность	W, %	91-92
	Содержание сухого органического вещества	G <sub>о</sub> , %	11
	плотность	ρ <sub>б</sub> , кг/м <sup>3</sup>	1,2
	степень разложения органического вещества	L, %	75-80
	накопление активной биомассы в биофильтре	δ, м/м <sup>3</sup>	0,05-0,06
7	Давление в метантенке	P, кПа	90-100

**Заключение.** 1. Методика проведения инженерного расчёта позволила определить интенсификацию процесса переработки органических отходов животноводства при оптимальной дозе загрузки метантенка, равной 14,0% от общего рабочего объема и периодичности загрузки его, равной 4,5 суток. В качестве конструктивного элемента-носителя метанобразующих микроорганизмов биофильтра являются пластмассовые цилиндрические лопасти.

2. Полученные результаты интенсив-

ной переработки органических отходов животноводства (на примере навоза КРС) в биоэнергетической установке БЭУ-С позволили установить, что интенсивность получения удобрений и биогаза в метантенке с биофильтром на 24,0 % выше, чем при существующих технологиях, а для внедрения созданного оборудования требуется соответствующее производственное помещение с положительными температурными режимами от +10 до +20°C.

#### Список литературы

1. Лекарственные и эфиромасличные культуры: особенности возделывания на территории Российской Федерации /Аникина А.Ю., Басалаева И.В., Бушковская Л.М. [и др.]. Москва: ВИЛАР, 2021. 256 с. EDN: QLSTZJ
2. ГОСТ Р 54002 – 2010 Удобрения органические. Методы определения засоленности. Москва: Стандартинформ, 2011. <https://docs.cntd.ru/document/1200083420?ysclid=m487zdsbmh582805423>.
3. Druzyanova V.P., Petrova S.A., Okhlopkova M.K., Sergeev YU.A. Resource-saving technology for manufacturing of environmentally-friendly organic fertilizers // Duna 2018. Vol. 93. No 4. Pp. 398-403. EDN: XWFYOD. doi: 10.6036/8598
4. Шарапов К.Ж., Николаев Б.Б., Бадмаев Ю.Ц. Анаэробный биофильтр – ускоритель технологического процесса переработки навозных стоков // Устойчивое развитие сельских территорий и аграрного производства на современном этапе: материалы междунаро. науч.-практ. конф. Улан-Удэ: Изд-во БГСХА, 2022. С. 124-129. EDN: RZJIEY
5. Перспективный носитель биомассы для систем анаэробной переработки органических отходов АПК / А.В. Федотов, В.С. Григорьев, Д.А. Ковалев, А.А. Ковалев // Электротехнология и электрооборудование АПК. 2020. Т. 67. №1(38). С. 148-155. EDN: UGMIDV. doi: 10.22314/2658-4859-2020-67-1-148-155.
6. Григорьев В.С., Ковалев А.А. Система предварительной подготовки субстратов метантенков в аппарате вихревого слоя с рекуперацией теплоты // Электротехнология и электрооборудование АПК.

2020. Т. 67. № 2 (39). С. 8-13. EDN: APQBPY. doi: 10.22314/2658-4859-2020-67-2-8-13.

7. Ковалев Д.А., Ковалев А.А., Собченко Ю.А. Устройство для анаэробной переработки жидких органических отходов. Патент на полезную модель №191407, 2019.

8. Теоретические исследования процесса образования биогаза в метантенке с биофильтром / А.С. Дроздов, Д.Г. Дугаров, М.И. Гильдибрант, Ю.Ц. Бадмаев // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологии и управления. 2024. № 2 (93). С. 75-81. EDN: DJYGOO. doi: 10.53980/24131997\_2024\_2\_75.

9. Расчёт скорости выхода технологического процесса сбраживания органического субстрата / Ж.Е. Доумчариева, Ж.Н. Нуржигитова, М.А. Байжарикова, Е.М. Бейшен // Молодой учёный. 2017. № 4.1. С.39-44. EDN: XXJTPP.

10. 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.

### References

1. Anikina A.Yu., Basalaeva I.V., Bushkovskaya L.M. [et al.]. Medicinal and essential oil crops: cultivation features in the Russian Federation. Moscow: VILAR, 2021. 256 p. (In Russ.)

2. State Standard R 54002 – 2010. Organic fertilizers. Methods for determination of weed infestation. <https://docs.cntd.ru/document/1200083420?ysclid=m487zdsbmh582805423>

3. Druzyanova V.P., Petrova S.A., Okhlopko M.K., Sergeev Yu.A. Resource-saving technology for manufacturing of environmentally-friendly organic fertilizers. *Duna*. 2018; Vol.93, No4:398-403. doi: 10.6036/8598.

4. Sharapov K.Zh., Nikolaev B.B., Badmaev Yu. Ts. Anaerobic biofilter - manure effluent processing process accelerator. *Sustainable development of rural areas and agricultural production at the modern stage*. Proc. of the Int. Sci. and Pract. Conf. Ulan-Ude, 2022. Pp.124-129 (In Russ.).

5. Fedotov A.V., Grigoriev V.S., Kovalev D.A., Kovalev A.A. Perspective biomass carrier for anaerobic processing systems of organic waste AIC *Electrical engineering and electrical equipment in agriculture*. 2020; Vol. 67: No1(38):148-155 (In Russ.). doi: 10.22314/2658-4859-2020-67-1-148-155.

6. Grigorev V.S., Kovalev A.A. System of preliminary treatment of substrates of methanotanks in the apparatus of the vortex layer with heat recovery. *Electrical engineering and electrical equipment in agriculture*. 2020; Vol.67: No2(39):8-13 (In Russ.). doi: 10.22314/2658-4859-2020-67-2-8-13.

7. Kovalev D.A., Kovalev A.A., Sobchenko Yu.A. Device for anaerobic processing of liquid organic waste. Patent for utility model No. 191407, 2019 (In Russ.)

8. Drozdov A.S., Dugarov D.G., Gildibrant M.I., Badmaev Yu.Ts. Theoretical studies on process of biogas formation in methane tank with biofilter. *ESSUTM bulletin*. 2024; 2(93):75-81 (In Russ.). doi: 10.53980/24131997\_2024\_2\_75

9. Doumcharieva Zh.E., Nurzhigitova Zh.N., Baizharikova M.A., Beishen E.M. Calculation of the yield rate of the technological process of fermentation of organic substrate. *Young scientist*. 2017; 4-1:39-44 (In Russ.)

10. Badmaev Yu.Ts. Industrial testing of the second-generation biogas plant BGU-2 in the conditions of the Republic of Buryatia. *Proc. of the Int. Sci. and Pract. Conf.* Novosibirsk. 2019. Pp. 263-267.

### Информация об авторах

**Юрий Цырендоржиевич Бадмаев** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства», badmaev57@bk.ru;

**Людмила Павловна Шкедова** – старший преподаватель кафедры «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства», shkedoval@yandex.ru;

**Мунко Базарович Балданов** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства», munko baldanov@mail.ru;

**Ольга Гениановна Зимина** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технический сервис в АПК и общеинженерные дисциплины», oid67@mail.ru.

### Information about the authors

**Yuri Ts. Badmaev** – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Chair of Electrification and Automation of Agriculture, badmaev57@bk.ru;

**Lyudmila P. Shkedova** – Senior Lecturer, Chair of Electrification and Automation of Agriculture, shkedoval@yandex.ru;

**Munko B. Baldanov** – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Chair of Electrification and Automation of Agriculture, munko baldanov@mail.ru;

**Olga G. Zimina** – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Chair of Technical Service in Agriculture and General Engineering Disciplines, oid67@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 28.10.2024; одобрена после рецензирования 15.11.2024; принята к публикации 26.11.2024.

The article was submitted 28.10.2024; approved after reviewing 15.11.2024; accepted for publication 26.11.2024.