

Научная статья

УДК 631.95

EDN UEFQCS

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-2-115-125>

Технология переработки свиного эффлюента с получением нового продукта в виде структурирующей добавки асфальтобетона

Олег Сергеевич Едисеев¹, Варвара Петровна Друзьянова²

^{1,2} Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова

Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия

¹ olegediseev@yandex.ru, ² druzvar@mail.ru

Аннотация. В статье представлена информация о способе интенсификации переработки свиного навоза на основе анаэробной биоэнергетической установки с получением нового продукта – структурирующей добавки для асфальтобетона. При переработке свежего навоза путем анаэробного сбраживания в настоящее время возможно получить два вида продукции – органическое удобрение и биогаз, в качестве альтернативного источника энергии. Предлагаемая нами технология позволяет получить четыре продукта – биогазовое топливо, эффлюент (обеззараженный и обезвреженный свиной навоз), жидкое удобрение с гуминовыми веществами и структурирующую добавку для асфальтобетона. Расширение получаемой продукции достигается при добавлении в цикл работы следующего перечня оборудования: сепаратора для разделения эффлюента на жидкую и твердую фракции, щелочного реактора и сепаратора разделения суспензии. Жидкая фракция эффлюента, обильно заселенная метаногенными бактериями, повторно отправляется для подготовки к сбраживанию свежего навоза, а твердая фракция используется в качестве сырья для получения органического удобрения и структурирующей добавки для асфальтобетона. Таким образом, новая технология будет способствовать максимальному снижению расходов, затрачиваемых на обеззараживание и обезвреживание свежего свиного навоза.

Ключевые слова: свиной навоз, обеззараживание, анаэробное сбраживание, эффлюент, биогаз, структурирующая добавка асфальтобетона

Для цитирования: Едисеев О. С., Друзьянова В. П. Технология переработки свиного эффлюента с получением нового продукта в виде структурирующей добавки асфальтобетона // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 2. С. 115–125. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-2-115-125>.

Original article

Technology for processing pig effluent to create a new structuring additive for asphalt concrete

Oleg S. Ediseev¹, Varvara P. Druzyanova²

^{1,2} North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov

Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russian Federation

¹ olegediseev@yandex.ru, ² druzvar@mail.ru

Abstract. This paper presents information on a methodology for intensifying the processing of pig manure based on an anaerobic bioenergy plant to create a new product – a structuring additive for asphalt concrete. When processing fresh manure by anaerobic digestion, it is currently possible to obtain two products – organic fertilizer and biogas, as an alternative energy source. The technology we offer allows us to obtain four products – biogas fuel, effluent (disinfected and neutralized pig manure), liquid fertilizer with humic substances and a structuring additive for asphalt concrete. The expansion of the resulting products is achieved by adding the following list of

equipment to the work cycle: a separator for dividing the effluent into liquid and solid fractions, an alkaline reactor and a suspension separation separator. The liquid fraction of the effluent, abundantly populated with methanogenic bacteria, is sent again to prepare for the fermentation of fresh manure, and the solid fraction is used as raw material for the production of organic fertilizer and structuring additive for asphalt concrete. Thus, the new technology will help to minimize the costs spent on the disinfection and neutralization of fresh pig manure.

Keywords: pig manure, disinfection, anaerobic digestion, effluent, biogas, structuring additive for asphalt concrete

For citation: Ediseev O. S., Druzyanova V. P. Technology for processing pig effluent to create a new structuring additive for asphalt concrete. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;2:115–125. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-2-115-125>.

Введение. В настоящее время острой проблемой в животноводстве является утилизация производимых животными отходов [1, 3, 5–8, 12]. Наиболее распространенным способом утилизации отходов животноводства выступает их применение в качестве органического удобрения.

Для того, чтобы использовать навоз в качестве органического удобрения его следует обезвреживать и обеззараживать. При этом различают физические, химические и биологические способы переработки навоза. Хотя физические (термическая обработка) и химические (обработка дезинфицирующими веществами) способы отличаются высокой скоростью, биологические предпочтительны из-за их экономической доступности и простоты применения. Наиболее перспективным является анаэробная утилизация в биоэнергетических установках (БЭУ). При этом вредные составляющие свиного навоза, в том числе его запах, преобразуются в полезные минеральные вещества (эффлюент) и биогаз, который выступает альтернативным источником топлива [2, 4, 8–10, 14, 15].

Известно, что на современном этапе из твердой фракции свиного навоза путем его компостирования производится только удобрение [11, 13]. Нами предлагается способ получения из свиного навоза нового продукта – структурирующей добавки для асфальтобетона, произведенной на основе анаэробной утилизации в накопительной биоэнергетической установке.

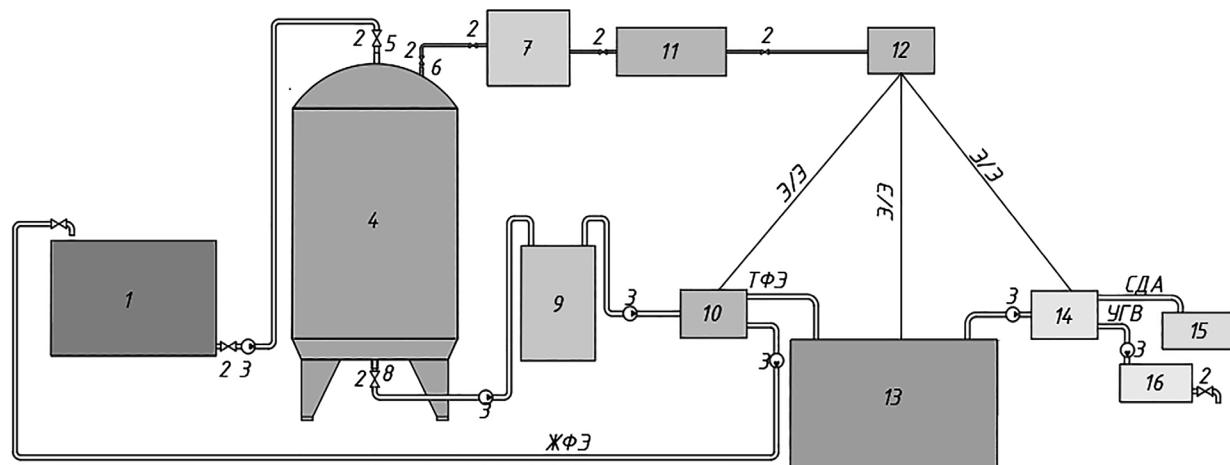
Конечная цель данного способа – максимальное обезвреживание свежего свиного навоза с получением эфлюента, биогаза, удобрения с гуминовыми веществами и структурирующей добавки асфальтобетона. Предлагаемая технологическая линия приведена на рисунке 1.

Свежий навоз загружается в емкость для приготовления субстрата. После подготовки субстрата до заданной влажности субстрат загружается в БЭУ, где подвергается анаэробному сбраживанию. По окончании анаэробной переработки получаем эфлюент и сопутствующий продукт в виде биогаза. Биогаз накапливается в газовых баллонах высокого давления, затем через редуктор подается в газогенератор, а альтернативное электричество используется для запуска шнекового навозного сепаратора. Эфлюент из биогазовой установки выгружается в емкость, откуда подается насосом в сепаратор, где разделяется на твердую и жидкую фракции.

Жидкая фракция, густо заселенная метаногенными бактериями, обратно направляется в начало процесса для разжижения свежего свиного навоза, что интенсифицирует процесс метангенерации. Твердая фракция эфлюента выгружается в щелочной реактор, где происходит процесс извлечения гуминовых веществ. После завершения процесса извлечения полученная суспензия из щелочного реактора подается в шнековый сепаратор и подвергается разделению на жидкую и твердую фракцию. Жидкая фракция с гуминовыми веществами используется в качестве органического удобрения после сжижения. Твердая фракция после извлечения растворимых веществ применяется в качестве структурирующей добавки для изготовления асфальтобетона.

В таблице 1 даны физические характеристики твердой фракции структурирующей добавки для асфальтобетона.

Методика исследований. Необходимо рассчитать стоимость получаемой структурирующей добавки асфальтобетона из свиного эфлюента, чтобы обосно-



1 – емкость для подготовки субстрата; 2 – шаровый кран; 3 – циркуляционный насос;
 4 – накопительный метантенк; 5 – патрубок загрузки субстрата; 6 – газовый патрубок;
 7 – газгольдер для накопления биогаза; 8 – патрубок выгрузки эфлюента; 9 – емкость для сбора
 эфлюента; 10 – сепаратор для разделения эфлюента на жидкую (ЖФЭ) и твердую (ТФЭ)
 фракции; 11 – компрессор для подачи биогаза; 12 – газовый генератор для генерации
 электричества (Э/Э); 13 – емкость для щелочной экстракции гуминовых веществ; 14 – сепаратор
 для разделения жидкой и твердой фракции после щелочной экстракции; 15 – емкость
 для накопления структурирующей добавки асфальтобетона (СДА); 16 – емкость для накопления
 жидкой фракции удобрения из гуминовых веществ (УГВ)

1 – substrate preparation tank; 2 – ball valve; 3 – circulation pump; 4 – storage methane tank;
 5 – substrate loading nozzle; 6 – gas nozzle; 7 – gas tank for biogas accumulation; 8 – effluent discharge
 nozzle; 9 – effluent collection tank; 10 – separator for separating the effluent into liquid (ЖФЭ)
 and solid (ТФЭ) fractions; 11 – compressor for biogas supply; 12 – gas generator for electricity
 generation (Э/Э); 13 – tank for alkaline extraction of humic substances; 14 – separator for separation
 of liquid and solid fractions after alkaline extraction; 15 – container for the accumulation of a structuring
 additive of asphalt concrete (СДА); 16 – container for the accumulation of a liquid fraction of fertilizer
 from humic substances (УГВ)

**Рисунок 1 – Схема технологической линии по производству
 эфлюента, биогаза, удобрения с гуминовыми веществами
 и структурирующей добавки асфальтобетона из свиного навоза**

**Figure 1 – Schematic diagram of the process line for the production
 of effluent, biogas, fertilizer with humic substances
 and structuring additive for asphalt concrete from pig manure**

Таблица 1 – Характеристика твердой фракции структурирующей добавки асфальтобетона
Table 1 – Characteristics of the solid fraction of the structuring additive of asphalt concrete

Показатели	Требования государственных стандартов [16, 17]	Фактические значения
Влажность, % по массе	не более 8	6,71
Термостойкость при нагреве до температуры 220 °С по изменению массы при прогреве, % по массе	не более 7	5,89
Насыпная плотность, г/см ³	–	0,996
Истинная плотность, г/см ³	–	1,450

вать эффективность новой технологии. Основная и самая важная выгода, безусловно, заключается в обезвреживании свежего свиного навоза.

До настоящего времени оценить затраты на обеззараживание и обезвреживание навоза биогазовым сбраживанием можно было на основании двух получаемых продуктов (эффлюента (удобрения) и биогазового топлива). При использовании предлагаемой технологии производятся еще два дополнительных продукта – жидкое органическое удобрение с гуминовыми веществами и новый продукт в виде структурирующей добавки асфальтобетона из свиного эффлюента.

Совокупная целевая функция условной продуктивности (1) может быть определена как суммарная отдача линии по выходу биогаза, эффлюента, удобрения с гуминовыми веществами и структурирующей добавки для асфальтобетона, полученной из свиного навоза:

$$Q = Q_3 + Q_B + Q_y + Q_d, \quad (1)$$

$$Q_3 = V_3 \cdot C_3 + \sum_{i=1}^n V_{3Di} \cdot C_3 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V_{3ij} \cdot C_3 - 3_0 + \sum_{i=1}^n 3_{Di} \rightarrow \max, \quad (2)$$

$$Q_B = V_B \cdot C_B + \sum_{i=1}^n V_{BDi} \cdot C_B - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V_{Bij} \cdot C_B - 3_0 + \sum_{i=1}^n 3_{Di} \rightarrow \max, \quad (3)$$

$$Q_y = V_y \cdot C_y + \sum_{i=1}^n V_{yDi} \cdot C_y - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V_{yij} \cdot C_y - 3_0 + \sum_{i=1}^n 3_{Di} \rightarrow \max, \quad (4)$$

$$Q_d = V_3 \cdot C_3 + \sum_{i=1}^n V_{3Di} \cdot C_3 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V_{3ij} \cdot C_3 - 3_0 + \sum_{i=1}^n 3_{Di} + \left(V_{\text{щ}} \cdot C_{\text{щ}} + \sum_{i=1}^n V_{\text{щ}Di} \cdot C_{\text{щ}} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V_{\text{щ}ij} \cdot C_{\text{щ}} + \sum_{i=1}^n 3_{Di} \right) - 3_0 \rightarrow \max \quad (5)$$

где Q_3 , Q_B , Q_y , Q_d – искомые функции, отражающие условную результативность производственной линии; представляют совокупность условных продуктивностей по генерации соответственно эффлюента, биогаза, удобрения с гуминовыми кислотами и структурирующей добавки асфальтобетонной смеси, полученной из свиного эффлюента;

V_3 – количество эффлюента, производимого за одни сутки с одной тонны свиного навоза, m^3 ;

V_B – количество биогаза, производимого за одни сутки с одной тонны свиного навоза, m^3 ;

V_y – количество удобрения, производимого за одни сутки с одной тонны свиного навоза, m^3 ;

$V_{\text{щ}}$ – объем рабочего щелочного раствора, $m^3/t \cdot \text{сут}$;

C_3 – стоимость одного кубического метра эффлюента, руб.;

C_B – стоимость одного кубического метра биогаза, руб.;

C_y – стоимость одного кубического метра удобрений, руб.;

$C_{\text{щ}}$ – стоимость одного кубического метра рабочего щелочного раствора, руб.;

$V_{\text{Э}Di}$ – дополнительная продукция (эффлюент) при выполнении i -ой операции технологического процесса, $m^3/t \cdot \text{сут}$;

$V_{\text{Б}Di}$ – дополнительная продукция биогаза при выполнении i -го отрезка (этапа) технологического процесса, $m^3/t \cdot \text{сут}$;

$V_{\text{у}Di}$ – дополнительная продукция (удобрения) при выполнении i -ой операции технологического процесса, $m^3/t \cdot \text{сут}$;

$V_{\text{Э}ij}$ – вероятный дефицит продукции (эффлюента) вследствие несоблюдения j -го контроля качества при выполнении i -ой технологической операции технологического процесса, $m^3/t \cdot \text{сут}$;

$V_{\text{у}ij}$ – возможный недобор продукции (удобрения) вследствие несоблюдения j -го качественного контроля при выполнении i -ой технологической операции технологического процесса, $m^3/t \cdot \text{сут}$;

3_0 – затраты на получение продукции с единицы (биомассы) исходного материала, руб./ $t \cdot \text{сут}$;

3_{Di} – дополнительные затраты на i -ю операцию технологии при получении продукции, руб./ $t \cdot \text{сут}$.

Результаты исследований и их обсуждение. Важно отметить, что количество структурирующей добавки для асфальтобетона, полученной из свиного эффлюента, определяется не только объемом доступного эффлюента, но и запланированным объемом производства самой структурирующей добавки для асфальтобетона. Поскольку составляющие, входящие в уравнения (2)–(5), являются переменными величинами, то максимумы целевых функций (Q_3 и Q_B) будут при следующих условиях:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V_{3ij} \rightarrow \min; \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V_{Bij} \rightarrow \min, \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n V_{3Di} \rightarrow \max; \sum_{i=1}^n V_{BDi} \rightarrow \max, \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n 3_{Di} \rightarrow \min \quad (8)$$

Задача разрешима, если при системном ограничении выполняются условия:

$$\sum_{i=1}^n V_{3D_i} > 0; \sum_{i=1}^n V_{3D_i} \cdot C_3 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V_{3ij} \cdot C_3 \geq \sum_{i=1}^n 3_{D_i}, \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n V_{5D_i} > 0; \sum_{i=1}^n V_{5D_i} \cdot C_5 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V_{5ij} \cdot C_5 \geq \sum_{i=1}^n 3_{D_i} \quad (10)$$

В Хатасском свинокомплексе Якутска содержится 6 761 голов свиней и поросят. В среднем образуется 38 000 кг/сут навоза, что требует установки метантенка объемом 270 м³.

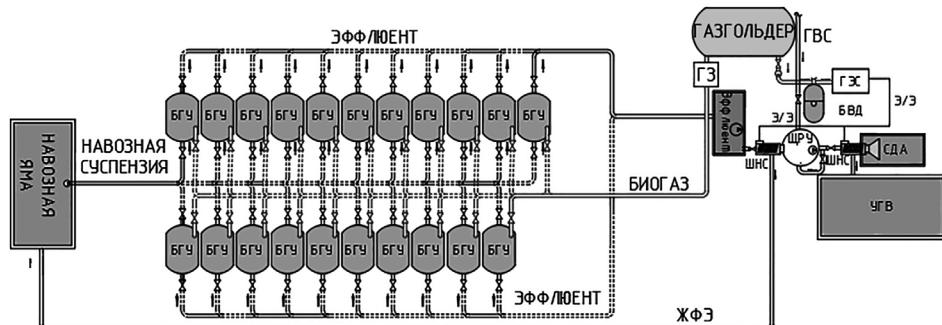
Технологический цикл работы предлагаемого способа утилизации рассчитаем на примере переработки навоза от хряков, приняв выход за 800 кг/сут. Для утилизации навоза нужно предусмотреть 21 метантенк с объемами 1,5 м³, которые рас-

положим горизонтально. Разделение на фракции осуществляется шнековым сепаратором Bauer 3.2-520 с производительностью до 1 000–1 200 м³/сут и мощностью электродвигателя 5,5 кВт (рис. 2).

Примерная площадь помещения под установку оборудования по предлагаемому способу утилизации свиного навоза составит 80 м² с высотой потолка 2,7 м.

Цикл работы технологической линии равен 20 дней. За этот период процесс метангенерации полностью осуществляется, поэтому экономический эффект следует рассчитывать за 20 дней работы.

Стоимость производимого эффлюента (качественного органического удобрения) складывается из его производственной себестоимости и получаемого чистого дохода. В таблице 2 приведена



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

БЭУ	Анаэробная накопительная биоэнергетическая установка работающая в психрофильном режиме
БВД	Баллон газовый высокого давления
ГВС	Горячая вода для щелочного реактора из центральной системы водоснабжения
ГЗ	Гидропатвр для биогаза
ГЭС	Газовая электростанция работающая на биотопливе
ЖФЭ	Жидкая фракция эффлюента после разделения на шнековом сепараторе, богатая метаногенными бактериями
СДА	Площадка для накопления структурирующей добавки для асфальтобетона после экстракции гуминовых веществ
ТФЭ	Твёрдая фракция эффлюента после разделения на шнековом сепараторе, богатая гуминовыми веществами и лигнокеллюлозой
УГВ	Раствор удобрения с гуминовыми веществами полученный после щелочной экстракции
ШНС	Навозный шнековый сепаратор
ЩРУ	Установка для щелочной экстракции растворимых веществ из эффлюента
Э/Э	Электроэнергия из газовой электростанции
	Погружной насос для перекачивания сточных и дренажных вод с измельчителем мощностью 7500 Вт
	Погружной насос для перекачивания сточных и дренажных вод с измельчителем мощностью 250 Вт
	Компрессор для закачивания биогаза в баллон высокого давления

Рисунок 2 – Технологическая линия по производству биогаза, эффлюента, структурирующей добавки для асфальтобетона и гуминового удобрения

Figure 2 – Process line for the production of biogas, effluent, structuring additive for asphalt concrete and humic fertilizer

Таблица 2 – Стоимость применяемого оборудования при производстве эффлюента
Table 2 – Cost of equipment used in the production of effluent

Наименование оборудования	Количество, шт.	Стоимость единицы оборудования, руб.	Сумма, руб.
Метантенк объемом 1,5 м ³	21	165 000	3 465 000
Трубопроводы для загрузки разжиженного навоза и выгрузки эффлюента	2	15 000	30 000
Насос для загрузки разжиженного навоза	1	11 000	11 000
Емкость для накопления эффлюента объемом 5 м ³	1	70 000	70 000
Итого			3 576 000

стоимость биогазовой линии для получения эффлюента.

Производственную себестоимость эффлюента находим по формуле (11):

$$C'_3 = C_3 + C_{T3} + C_{3П} + C_{aM} + C_{eM} \quad (11)$$

где C_3 – стоимость затрачиваемой электроэнергии на перекачку навозного субстрата массой 16 800 кг за 20 дней, руб.;

C_{T3} – стоимость теплоэнергии, расходуемой на отопление помещения, где установлена технологическая линия, руб.;

$C_{3П}$ – заработка плата с учетом страховых взносов работникам, обслуживающим биогазовую установку за 20 дней работы, руб.;

C_{aM} – амортизационные отчисления применяемого оборудования при сроке его полезного использования 3 года, руб.;

C_{eM} – стоимость емкостей (5 л) для хранения производимого эффлюента, руб.

Чистый доход от производства эффлюента определяется как разница между его стоимостью (по ценам реализации) и производственной себестоимостью.

В таблице 3 представлены данные по расчету производственной себестоимости и чистого дохода при выпуске эффлюента. При этом за единицу продукции принято 5 л эффлюента.

Определим соответствующие показатели при выпуске новых продуктов – гуминового удобрения и структурирующей добавки асфальтобетона.

При утилизации 800 кг навозного субстрата выделяется 2,28 м³ биогаза, эквивалентного 8 кВт·час электроэнергии,

Таблица 3 – Стоимость, производственная себестоимость и чистый доход при производстве эффлюента

Table 3 – Cost, production cost and net income for effluent production

Показатели	В расчете на единицу, руб.	Количество единиц	Сумма, руб.
Электроэнергия	3,75	1,05 кВт·час	3,94
Тепловая энергия	186,17	80 м ²	9 929,27
Оплата труда с учетом страховых взносов	119 724,10	2 чел.	239 448,20
Амортизация оборудования	65 315,07	один цикл	65 315,07
Стоимость емкости (5 л)	50,00	3 360 ед.	168 000,00
Производственная себестоимость продукции, руб.	143,66	3 360 ед.	482 696,48
Стоимость продукции, руб.	280,00	3 360 ед.	940 800,00
Чистый доход, руб.	136,34	3 360 ед.	458 103,52

стоимостью 30 руб. (стоимость 1 кВт·ч час электроэнергии составляет 3,75 руб.). Таким образом, количества альтернативной электроэнергии достаточно для обеспечения бесперебойной работы сепаратора.

На электричестве работают: погружной насос ЗУБР НПФ-250 (0,25 кВт); сепаратор Bauer 3.2-520 с максимальной мощностью 5,5 кВт и шламовый насос НФН-300 (7,5 кВт).

Шламовый насос НФН-300 перекачивает 800 кг эффлюента за 3 мин, при этом расходуется 0,375 кВт электроэнергии (1,41 руб.). Сепаратор Bauer 3.2-520 разделяет 800 кг эффлюента за 3 мин, на что затрачивается 0,28 кВт электроэнергии (1,05 руб.).

После разделения твердая фракция с 80 % влажностью поступает в щелочной реактор для дальнейшей обработки. В щелочной реактор объемом 1,5 м³ подается горячая вода с температурой 60–75 °С. Затем добавляется 7,5 кг гидроксида калия. Щелочной раствор с твердой фракцией

эффлюента гомогенизируется в течение часа погружным насосом НПФ-250. Расход на электричество составит 0,94 руб.

Полученный экстракт гуминовых веществ со структурирующей добавкой подвергается разделению на фракции в сепараторе. Жидкая фракция (гуминовое удобрение) поступает в емкость для хранения, а твердая – представляет конечный продукт в виде структурирующей добавки для асфальтобетона.

В таблице 4 представлен перечень оборудования, применяемого в технологическом цикле при получении гуминовых веществ и структурирующей добавки для асфальтобетона.

Себестоимость гуминового удобрения рассчитывается по формуле (12):

$$C'_{\text{ГУ}} = C_{\text{з}} + C_{\text{тз}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{шп}} + C_{\text{ем}} \quad (12)$$

где $C_{\text{з}}$ – стоимость затрачиваемой традиционной электроэнергии на загрузку на возвозного субстрата в метантенк, руб.;

Таблица 4 – Стоимость применяемого оборудования при производстве удобрения с гуминовыми веществами и структурирующей добавки

Table 4 – Cost of equipment used in the production of fertilizers with humic substances and structuring additives

Наименование оборудования	Количество	Стоимость единицы, руб.	Сумма, руб.
Метантенк объемом 1,5 м ³	21,0	165 000	3 465 000
Трубопроводы для загрузки разжиженного навоза и выгрузки эффлюента	2,0	15 000	30 000
Насос для загрузки разжиженного навоза НПФ-250	1,0	11 000	11 000
Насос для перекачки эффлюента и экстракта	1,0	200 000	200 000
Трубопровод для перекачки эффлюента и экстракта	1,0	40 000	40 000
Шнековый сепаратор Bauer 3.2-520	1,0	2 700 000	2 700 000
Газгольдер	1,0	100 000	100 000
Метановый баллон объемом 100 л	1,0	41 000	41 000
Газовый генератор REG GG10000-S3 мощностью 9 кВт	1,0	300 000	300 000
Щелочной реактор объемом 1,5 м ³	1,0	200 000	200 000
Емкость для приема органического удобрения объемом 5 м ³	1,0	70 000	70 000
Емкость для приема структурирующей добавки асфальтобетона объемом 2 м ³	1,0	25 000	25 000
Итого			7 182 000

$C_{\text{тз}}$ – стоимость теплоэнергии на отопление помещения, руб.;

$C_{\text{зп}}$ – заработка плата с учетом страховых взносов работникам, обслуживающим биогазовую установку, руб.;

$C_{\text{ам}}$ – амортизационные отчисления, при сроке полезного использования оборудования три года, руб.;

$C_{\text{щр}}$ – стоимость 15,8 м³ щелочного раствора с температурой 60–75 °С, руб.;

$C_{\text{ем}}$ – стоимость 3 360 шт. 5-литровых емкостей для хранения жидкого органического удобрения, руб.

Чистый доход от производства 5 л гумата калия определяется как разность между стоимостью удобрения (по ценам реализации) и его производственной себестоимостью (табл. 5).

Кроме гуминового удобрения, в ходе разделения на фракции мы получаем еще один продукт – структурирующую добавку для асфальтобетона.

Из 800 кг щелочного экстракта производится минимум 40 кг структурирующей добавки. Стоимость 1 кг такой добавки составляет 32 руб.

Таблица 5 – Стоимость, производственная себестоимость и чистый доход при производстве органического удобрения и структурирующей добавки

Table 5 – Cost, production cost and net income in the production of organic fertilizers and structuring additives

Показатели	В расчете на единицу, руб.	Количество единиц	Всего, руб.	
			органическое удобрение	структурющая добавка для асфальтобетона
Электроэнергия	3,75	0,525 кВт·час	1,97	–
Тепловая энергия	186,17	80 м ²	9 929,27	–
Оплата труда с учетом страховых взносов	119 724,10	2 чел.	239 448,20	–
Амортизация оборудования	131 178,08	один цикл	131 178,08	–
Стоимость раствора для щелочной варки	3 153,5	15,8 м ³	50 457,30	–
Стоимость емкости (5 л)	50,00	3 360 шт.	168 000,00	–
Мешки для хранения и транспортировки структурирующей добавки	25	32 шт.	–	800,00
Производственные затраты, всего, руб.			593 884,1	800,00
Производственная себестоимость 5 л гуминового удобрения, руб.			176,75	–
Производственная себестоимость 1 кг структурирующей добавки, руб.			–	1,00
Стоимость 5 л гуминового удобрения, руб.			400,00	–
Стоимость 1 кг структурирующей добавки, руб.			–	32,00
Чистый доход по гуминовым удобрениям, руб.: от 5 л			223,25	–
всего			750 120,00	–
Чистый доход по структурирующей добавке: от 1 кг			–	31,00
всего			–	992,00

В таблице 5 представлены данные по расчету производственной себестоимости и чистого дохода при выпуске гуминового удобрения и структурирующей добавки для асфальтобетона.

Заключение. Нами обоснована экономическая эффективность нового способа утилизации свиного навоза.

При использовании традиционной технологии чистый доход при производстве эффлюента составляет 458,1 тыс. руб. или 136,34 руб. на единицу продукции.

Использование предлагаемой технологии позволит выпускать:

1) гуминовые удобрения, чистый доход от производства которых проектируется на уровне 750,1 тыс. руб.; в расчете на единицу продукции – 223,25 руб.;

2) структурирующую добавку для асфальтобетона, при производстве которой планируется получать 0,99 тыс. руб. чистого дохода; в расчете на 1 кг – 31 руб.

Совокупный чистый доход по предлагаемой технологии может составить 751,1 тыс. руб., что выше соответствующего показателя по традиционной технологии в 1,64 раза.

Таким образом, нами рекомендуется разработанный способ утилизации свиного навоза. Его применение обеспечит возможность производства, наряду с гуминовыми удобрениями, нового продукта – структурирующей добавки для асфальтобетона, произведенной на основе анаэробной утилизации в накопительной биоэнергетической установке.

Список источников

1. Алешкин В. Р., Рошин П. М. Механизация животноводства. М. : Колос, 1993. 319 с.
2. Баадер В., Доне Е., Брайндерфер М. Биогаз: теория и практика. М. : Колос, 1982. 148 с.
3. Кориат Г., Бельке М., Ведекинд П. Бесподстилочный навоз и его использование для удобрения. М. : Колос, 1978. 271 с.
4. Васильева А. С. Повышение эффективности анаэробной переработки навозных стоков свиноводческих предприятий : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Благовещенск, 2017. 22 с. EDN ZQIJUV.
5. Варламов Т. П. Механизация удаления и использования навоза. М. : Колос, 1969. 199 с.
6. Докучаев Н. А., Стота Л. А., Гогин В. М. Удаление и использование навоза. М. : Россельхозиздат, 1976. 53 с.
7. Долгов В. С. Гигиена уборки и утилизации навоза. М. : Россельхозиздат, 1984. 185 с.
8. Друзьянова В. П. Энергосберегающая технология переработки навоза крупного рогатого скота : автореф. дис. ... докт. техн. наук. Улан-Удэ, 2015. 40 с.
9. Егорова Е. Н. Обоснование параметров метантенка малого объема с перемешивающим устройством для условий Республика Саха (Якутия) : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Благовещенск, 2017. 22 с. EDN ZQDXZH.
10. Ильин С. Н. Ресурсосберегающая технология переработки свиного навоза с получением биогаза : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Улан-Удэ, 2005. 23 с. EDN NINLEP.
11. Кидин В. В. Органические удобрения. М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, 2012. 166 с. EDN QLDGJT.
12. Коваленко В. П. Механизация обработки бесподстилочного навоза. М. : Колос, 1984. 159 с.
13. Мерзляя Г. Е., Щеголова И. В., Леонов М. В. Использование свиного навоза для удобрения сельскохозяйственных культур // Перспективное свиноводство: теория и практика. 2012. № 5. С. 9. EDN PKPVZN.
14. Друзьянова В. П., Савватеева И. А., Горохов К. К., Бондаренко А. М. Психрофильная накопительная биогазовая технология – основа для производства электрической энер-

гии на животноводческих фермах // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Т. 16. № 1. С. 111–118. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2022-16-1-111-118>. EDN YEYKYY.

15. Савватеева И. А. Разработка технологии и средств механизации для когенерации биогаза в условиях Республики Саха (Якутия) : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Якутск, 2021. 24 с.

16. ГОСТ Р 31015–2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеноочно-мастичные. Технические условия // Интернет и право. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/8440> (дата обращения: 10.02.2025).

17. ГОСТ Р 58406.1–2020. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси щебеноочно-мастичные асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия // Интернет и право. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/73631/> (дата обращения: 10.02.2025).

References

1. Aleshkin V. R., Roshchin P. M. *Mechanization of animal husbandry*, Moscow, Kolos, 1993, 319 p. (in Russ.).
2. Baader V., Done E., Brainderfer M. *Biogas: theory and practice*, Moscow, Kolos, 1982, 148 p. (in Russ.).
3. Coriat G., Belke M., Wederkind P. *Litter-free manure and its use for fertilizer*, Moscow, Kolos, 1978, 271 p. (in Russ.).
4. Vasileva A. S. Improving the efficiency of anaerobic processing of manure effluents from pig farms. *Extended abstract of candidate's thesis*. Blagoveshchensk, 2017, 22 p. EDN ZQIJUV (in Russ.).
5. Varlamov T. P. *Mechanization of manure removal and use*, Moscow, Kolos, 1969, 199 p. (in Russ.).
6. Dokuchaev N. A., Stoma L. A., Gogin V. M. *Removal and utilization of manure*, Moscow, Rossel'khozizdat, 1976, 53 p. (in Russ.).
7. Dolgov V. S. *Hygiene of manure removal and utilization*, Moscow, Rossel'khozizdat, 1984, 185 p. (in Russ.).
8. Druzyanova V. P. Energy-saving technology of cattle manure processing. *Extended abstract of doctor's thesis*. Ulan-Ude, 2015, 40 p. (in Russ.).
9. Egorova E. N. Justification of parameters of small volume digester with mixing device for conditions of the Republic of Sakha (Yakutia). *Extended abstract of candidate's thesis*. Blagoveshchensk, 2017, 22 p. EDN ZQDXZH (in Russ.).
10. Ilyin S. N. Resource-saving technology of pig manure processing with biogas production. *Extended abstract of candidate's thesis*. Ulan-Ude, 2005, 23 p. EDN NINLEP (in Russ.).
11. Kidin V. V. *Organic fertilizers*, Moscow, Rossiiskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet – MSKhA imeni K. A. Timiryazeva, 2012, 166 p. EDN QLDGJT (in Russ.).
12. Kovalenko V. P. *Mechanization of treatment of stubble-free manure*, Moscow, Kolos, 1984, 159 p. (in Russ.).
13. Merzlaya G. E., Shchegoleva I. V., Leonov M. V. Use of pig manure for crop fertilization. *Perspektivnoe svinovodstvo: teoriya i praktika*, 2012;5:9. EDN PKPVZN (in Russ.).
14. Druzyanova V. P., Savvateeva I. A., Gorokhov K. K., Bondarenko A. M. Psychrophilic storage biogas technology – the basis for the production of electrical energy on livestock farms. *Dalnevostochnyi agrarnyi vestnik*, 2022;6;1:111–118. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2022-16-1-111-118>. EDN YEYKYY (in Russ.).
15. Savvateeva I. A. Development of technology and means of mechanization for biogas cogeneration in the conditions of the Republic of Sakha (Yakutia). *Extended abstract of candidate's thesis*. Yakutsk, 2021, 24 p. (in Russ.).

16. Asphalt concrete mixtures and stone mastic asphalt concrete. Technical conditions. (2003) *GOST R 31015-2002. Internet-law.ru/gosts* Retrieved from <https://internet-law.ru/gosts/gost/8440> (Accessed 10 February 2025) (in Russ.).

17. Public roads. Stone mastic asphalt concrete mixtures and asphalt concrete. Technical conditions. (2020) *GOST P 58406.1-2020. Internet-law.ru/gosts* Retrieved from <https://internet-law.ru/gosts/gost/73631/> (Accessed 10 February 2025) (in Russ.).

© Едисеев О. С., Друзьянова В. П., 2025

Статья поступила в редакцию 23.03.2025; одобрена после рецензирования 19.05.2025; принята к публикации 23.05.2025.

The article was submitted 23.03.2025; approved after reviewing 19.05.2025; accepted for publication 23.05.2025.

Информация об авторах

Едисеев Олег Сергеевич, старший преподаватель кафедры автомобильных дорог и аэродромов, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, ORCID: 0000-0003-1408-3508, Author ID: 1007736,

olegediseev@yandex.ru;

Друзьянова Варвара Петровна, доктор технических наук, профессор, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, ORCID: 0000-0001-5409-3837, Author ID: 314980, druzvar@mail.ru

Information about the authors

Oleg S. Ediseev, Senior Lecturer at the Department of Highways and Airfields, North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov, ORCID: 0000-0003-1408-3508, Author ID: 1007736, olegediseev@yandex.ru;

Varvara P. Druzyanova, Doctor of Technical Sciences, Professor, North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov, ORCID: 0000-0001-5409-3837, Author ID: 314980, druzvar@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.