

Вестник аграрной науки Дона. 2025. Т. 18. № 3 (71). С. 45–59.
Don agrarian science bulletin. 2025; 18–3 (71): 45–59.

Научная статья

УДК 631.86

DOI: 10.55618/20756704_2025_18_3_45–59

EDN: KXHRBP

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ГЛУБОКОЙ ОЧИСТКИ ЖИДКИХ СТОКОВ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Александр Николаевич Головки¹, Анатолий Михайлович Бондаренко¹,
Александр Викторович Гвоздев²**

¹Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета в г. Зернограде, Ростовская область, г. Зерноград, Россия, achgaa@achgaa.ru

²Мелитопольский государственный университет, Запорожская область, г. Мелитополь, Россия, rektorat@mgu-mlt.ru

Аннотация. Обеспечение продуктами питания невозможно без сырьевой базы. Животноводческая отрасль обеспечивает пополнение сырьевой базы мясо-молочной продукцией. Однако проблема отрасли животноводства в области утилизации побочных продуктов жизнедеятельности животных ставит под угрозу экологическую безопасность страны. Для решения проблемы утилизации отходов животноводства необходимо обеспечить тонкую очистку, позволяющую вернуть часть ресурсов обратно в технологический цикл. Комплексное изучение параметров технологического цикла позволит определить пути оптимизации процесса тонкой очистки. Для быстрого решения поставленной задачи необходимо воспользоваться методикой моделирования. Точность моделирования обеспечивается точностью описания элементов системы и степенью их сегментирования. Имитационное моделирование позволяет точно описать процесс работы каждой ступени технологической линии. Для получения имитационной модели необходимо выполнить несколько предварительных этапов, таких как определение подхода моделирования. Для технологического цикла тонкой очистки по большинству признаков подходит дискретно-событийный подход. Для представления выбранной модели в данном исследовании применялась методология событийного графа, в котором дискретно-событийная модель описывалась в виде блоков, выполняющих определенные операции в соответствии с заданными параметрами, и связей между ними, которые описывают последовательность выполняемых операций. Последующий этап обусловлен созданием блок-схемы технологического цикла, без которой не возможен этап создания алгоритма выполнения операций технологического цикла тонкой очистки. После разработки алгоритма необходимо внедрить его в электронную среду, позволяющую проводить имитационное моделирование. Для этих целей была выбрана среда AnyLogic Professional, специально разработанная для имитационного моделирования. Для проверки достоверности разработанной модели был выбран отдельный блок цикла с имеющимися экспериментальными данными по тонкослойному отстойнику. В результате проведенных экспериментов была подтверждена возможность использования модели для дальнейших исследований.

Ключевые слова: имитационное моделирование, технологический процесс, получение жидкого навоза, переработка жидкого навоза, разделение на фракции

Для цитирования: Головки А.Н., Бондаренко А.М., Гвоздев А.В. Имитационная модель процесса глубокой очистки жидких стоков животноводческих предприятий // Вестник аграрной науки Дона. 2025. Т. 18. № 3 (71). С. 45–59. DOI: 10.55618/20756704_2025_18_3_45–59. EDN: KXHRBP.

IMITATION MODEL OF THE DEEP CLEANING PROCESS OF LIQUID EFFLUENTS FROM LIVESTOCK ENTERPRISES

**Alexander Nikolaevich Golovko¹, Anatoly Mikhailovich Bondarenko¹,
Alexander Viktorovich Gvozdev²**

¹*Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of Don State Agrarian University in Zernograd,
Rostov region, Zernograd, Russia, achgaa@achgaa.ru*

²*Melitopol State University, Zaporozhye region, Melitopol, Russia, rektorat@mgu-mlt.ru*

Abstract. Food supply is not possible without a raw material base. The livestock industry provides replenishment of the raw material base with meat and dairy products. However, the problem of the livestock industry in the field of disposal of by-products of animal life is to jeopardize the environmental safety of the country. To solve the problem of animal waste disposal, one should provide fine cleaning, which allows us to return some of the resources back to the technological cycle. A comprehensive study of the parameters of the technological cycle will determine ways to optimize the fine cleaning process. To quickly solve the problem, one need to use the modeling methodology. The accuracy of modeling is ensured by the accuracy of the description of the system elements and the degree of their segmentation. Simulations accurately describe the operation of each stage of the technological line. To obtain a simulation model, it is necessary to perform several preliminary steps, such as determining the modeling approach. For the process cycle of fine cleaning, a discrete-event approach is suitable for most features. To represent the selected model, this study used the event graph methodology, in which the discrete-event model was described in the form of blocks that perform certain operations in accordance with the specified parameters, and the relationships between them that describe the sequence of operations performed. The next stage is due to the creation of a block diagram of the technological cycle, without which the stage of creating an algorithm for performing the operations of the fine purification technological cycle is impossible. After developing the algorithm, it is necessary to implement it in an electronic environment that allows simulation modeling. In this study, an AnyLogic Professional environment specifically designed for simulation was selected for this purpose. To check the reliability of the developed model, a separate cycle block with experimental data verified by simulation simulation parameter, thin-layer settling tank, was selected. After comparing the data obtained during the simulation and experimental data conducted in early studies, confirmation was obtained of the adequacy of the developed simulation model and the possibility of using it for further research.

Keywords: simulation modeling, technological process, obtaining liquid manure, liquid manure processing, fractionation

For citation: Golovko A.N., Bondarenko A.M., Gvozdev A.V. Imitation model of the deep cleaning process of liquid effluents from livestock enterprises. *Vestnik agrarnoy nauki Dona = Don agrarian science bulletin.* 2025; 18-3 (71): 45–59. (In Russ.). DOI: 10.55618/20756704_2025_18_3_45–59. EDN: KXHRBP.

Введение. Обеспечение функционирования животноводческой отрасли Российской Федерации является в реальных условиях настоящего времени первоочередной стратегической задачей [1, 2]. Одним из важных технологических циклов по приоритетности, связанной также с вопросами экологии, выступает процесс переработки и обеззараживания

отходов животноводства. В процессе использования современных технологий содержания животных основным побочным продуктом, получаемым в процессе производства, выступают жидкие стоки [3–5]. Переработка такого продукта связана с механическим отделением осадка и последующим обеззараживанием полученных составляющих. Для дальней-

шего использования жидкости после отделения осадка, в соответствии с требованиями, необходимо осветление и обеззараживание, что называется также глубокой очисткой. Для оптимизации процесса глубокой очистки наиболее целесообразным является применение имитационного моделирования.

Целью исследования является создание имитационной модели системы технологического цикла глубокой очистки жидких стоков животноводческих предприятий.

Материалы и методы исследования. Для исследования параметров процесса тонкой очистки жидкого навоза было применено имитационное моделирование технологического цикла.

Результаты исследования и их обсуждение. Система взаимодействия технологических операций, описывающая движение и изменение физико-механических параметров жидких стоков от места их получения до места возможного применения или хранения конечного продукта, получаемого после глубокой очистки, представлена на рисунке 1.

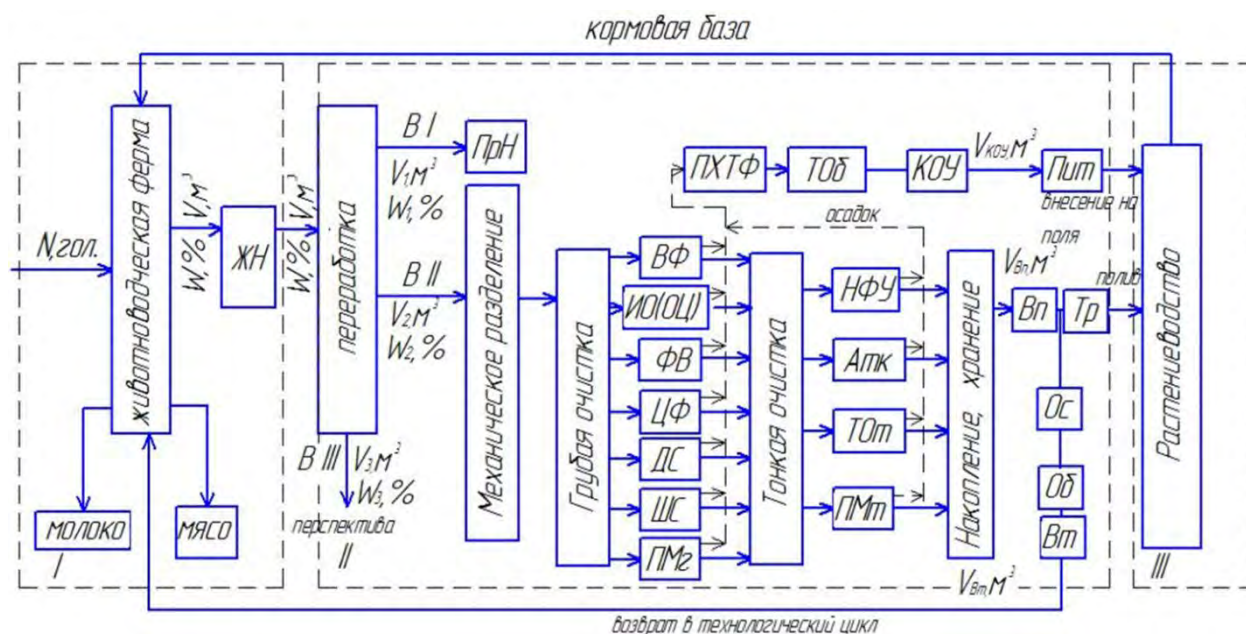


Рисунок 1 – Модель взаимодействия систем при глубокой очистке жидкого навоза
Figure 1 – System interaction model for deep processing of liquid manure

В системе представлены все этапы технологического цикла очистки и максимально возможные варианты использования технологического оборудования определенных групп, разделенных по этапам технологического цикла [5, 6]. Эти этапы и группы оборудования описаны в системе соответствующими блоками с входящими и выходящими параметрами, обозначенными технологическими свя-

зями. Этапы включаются в тело цикла в зависимости от назначения использования конечного продукта, получаемого в конце цикла. Точность моделирования зависит от точности описания элементов системы и степени их сегментирования. В реальных условиях могут быть использованы только определенные блоки и связи, заданные техническими условия-

ми при проектировании системы глубокой очистки технологических стоков.

Рассмотрим один из вариантов технологического цикла. На этапе механического разделения твердого осадка от стоков используется дуговое сито, последующее дообезвоживание твердой фракции производится ленточным вакуум-фильтром [7]. Далее происходит отделение взвеси в тонкослойном отстойнике, и осветление полученной после разделения жидкой фракции осуществляется с помощью напорной флотационной установки.

Отличительной особенностью метода имитационного моделирования является возможность описания и воспроизведения взаимодействия между различными элементами системы. Таким образом, чтобы составить имитационную модель, надо: представить реальную систему как совокупность взаимодействующих элементов; алгоритмически описать функционирование отдельных элементов; описать процесс взаимодействия различных элементов между собой и с внешней средой.

Блок-схема описанного выше варианта представлена на рисунке 2.

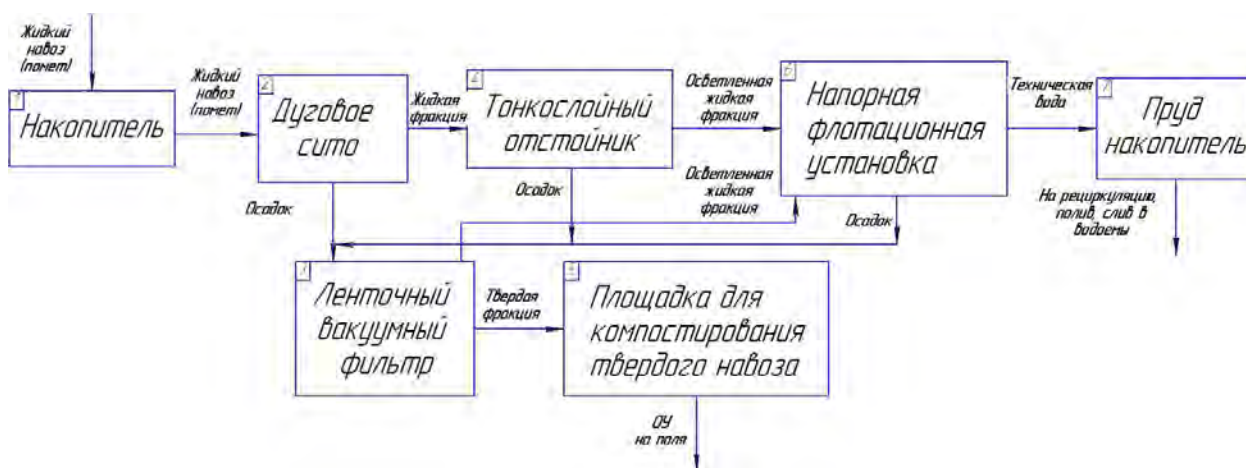


Рисунок 2 – Функциональная схема варианта технологического цикла линии тонкой очистки жидких стоков животноводческих предприятий

Figure 2 – Functional diagram of a technological cycle variant for a fine purification line of liquid effluents from livestock enterprises

Имитационное моделирование (ИМ) – это представление динамического поведения системы посредством продвижения ее от одного состояния к другому в соответствии с хорошо определенными операционными правилами.

Существует четыре основных подхода ИМ: динамическое моделирование, системная динамика (СД), дискретно-событийный (ДС) и агентное моделирование. Также используется метод стати-

стических испытаний – метод Монте-Карло (МК).

В данном конкретном случае подход динамического моделирования не может быть применен, потому что в данной системе моделирования отсутствуют обратные связи между элементами системы [8, 9].

Метод Монте-Карло тоже не может быть применен, так как он основан на моделировании любого процесса, на протекание которого оказывают влияние

случайные факторы, которые в данной системе тоже отсутствуют.

Для данной системы по большинству признаков подходит дискретно-событийный подход, разработанный в начале 60-х годов.

Основной объект в этой системе — пассивный транзакт (заявка на обслуживание), который может определенным образом представлять собой работников, детали, сырье, документы, сигналы и т. п. «Перемещаясь» по модели, транзакты становятся в очереди к одноканальным и многоканальным устройствам, захватывают и освобождают эти устройства, расщепляются, уничтожаются и т. д.

В отличие от СД модельное время продвигается либо от события к событию (событийно-ориентирован), либо через дискретные промежутки времени (процессно-ориентирован).

После выбора подхода ИМ производится разработка имитационной модели. Данный процесс включает следующие этапы:

1. Точная формулировка цели исследования и сбор информации и данных.

2. Разработка концептуальной модели и проверка ее на адекватность поставленной задаче и выполнение структурного критического анализа (концептуальная модель и способ формализации).

3. Перевод концептуальной модели с помощью программных средств в машинное представление.

4. Верификация запрограммированной модели. На этом этапе выполняются анализ чувствительности и валидация выходных данных имитационной модели.

5. Разработка, выполнение и анализ экспериментов.

При разработке концептуальной модели осуществляется декомпозиция системы. Декомпозиция системы или выделение подсистем является одной из операций анализа.

Определяется, какие компоненты будут включены в модель, какие будут вынесены во внешнюю среду, и какие взаимосвязи будут установлены между ними.

Для представления ДС-моделей применяется методология событийного графа. Описываются дискретно-событийные модели в виде блоков, обеспечивающих определенные операции в соответствии с заданными параметрами, и соединений между ними, определяющих последовательность операций [10, 11, 14].

Фрагмент описания функциональной схемы взаимодействия систем методом графов представлен на рисунке 3.

Моделируемый процесс представляется как поток движения обрабатываемого продукта в системе глубокой очистки в виде пунктов, обозначающих технологические операции, через которые проходит продукт.

Движение продукта между технологическими операциями показано связями между пунктами, которые называются дугами графа.

Параллельно описывается технологическое оборудование, с помощью которого осуществляется технологический этап.

Таблица 1 – Перечень технологических операций и технических средств для глубокой переработки жидкого навоза

Дуги графа	Наименование операций	Возможные средства для реализации операций
0-1, 30-1	Накопление жидкого навоза	Приемный резервуар
1-2; 1-3	Перемешивание и транспортировка жидкого навоза	РТЕ-250, НЖН-200
2-4, 2-6, 2-8, 2-9, 2-10, 3-4, , 3-6, 3-8, 3-9, 3-10	Разделение на фракции	ГИЛ-32, СДФ-50, ОГШ-502, УОН-700, щеточный шнек ВНИПТИМЭСХ
4-5, 6-5, 8-5, 10-5, 4-7, 6-7, 8-7, 10-7, 4-13, 6-13, 8-13, 10-13, 14-5, 14-7, 14-13	Дообезвоживание осадка	ПЖН-68, ВПО-20А, ВПНД-5
5-11, 7-11, 9-11, 13-11, 14-11	Погрузка ТФ	ТС-40
5-12, 7-12, 13-12	Накопление ЖФ	Накопитель с насосной станции
12-14	Промежуточное осветление жидкости	Напорная флотационная установка конструкции ВНИПТИМЭСХ
9-15, 14-15	Транспортировка частично осветленной жидкости	
15-16, 15-17, 15-18	Доосветление	ООС-25 конструкции КТИСМ, Вертикальные разделительные отстойники по ТП 802-9-30.83 диаметром 7 м из монолитного железобетона Ц-25 диаметром 15 м
16-19, 17-19, 18-19	Транспортировка осветленной жидкости	
19-20, 19-21, 19-22	Обеззараживание осветленной жидкости	Ультрафиолетовое обеззараживание, ультразвуковое обеззараживание, электрогидроударное обеззараживание
20-23, 21-23, 22-23	Слив воды в пруд-накопитель	
23-0	Транспортировка воды для технологических нужд	
23-24	Транспортировка воды для орошения	
24-25, 24-26, 24-27, 24-28	Закачка воды в оросительные системы	

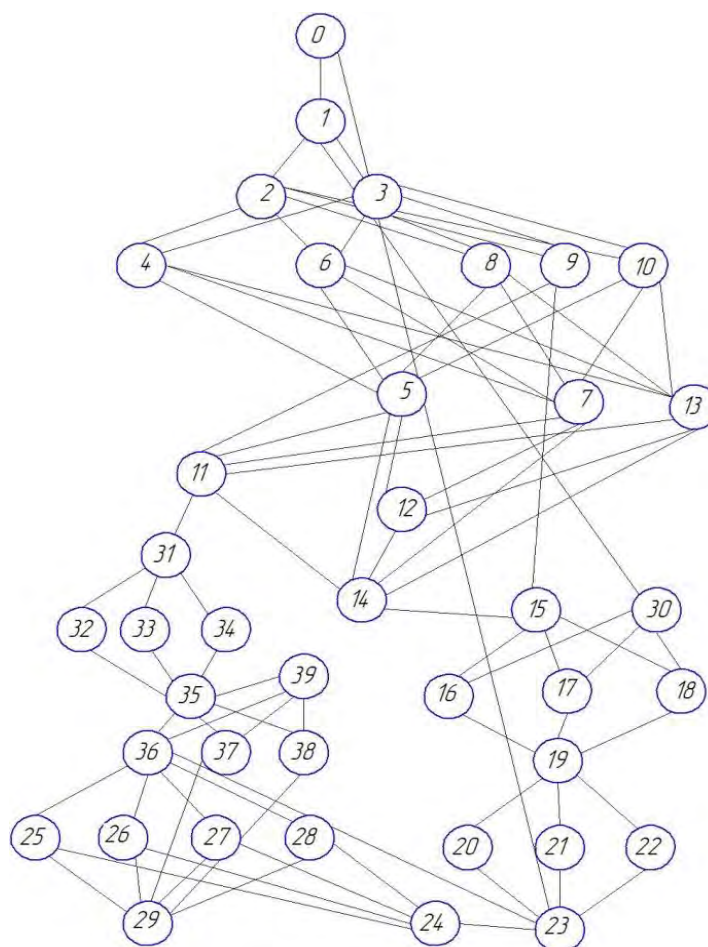


Рисунок 3 – Граф модели взаимодействия систем при глубокой очистке жидкого навоза и фрагмент ее описания

Figure 3 – Graph of the system interaction model for deep processing of liquid manure and a fragment of its description

Следующим этапом по графовой модели разрабатывается блок-схема взаимодействия систем при глубокой очистке жидкого навоза, которая представлена на рисунке 4.

Данная блок-схема является алгоритмом для дальнейшего машинного моделирования с помощью компьютерных программных ресурсов.

Моделирование взаимодействия систем тонкой очистки стоков – процесс сложный, требующий временных затрат, поэтому, следуя методике от общего к частному, можно разбить модель взаимодействия систем на отдельные модели систем [12,13,15].

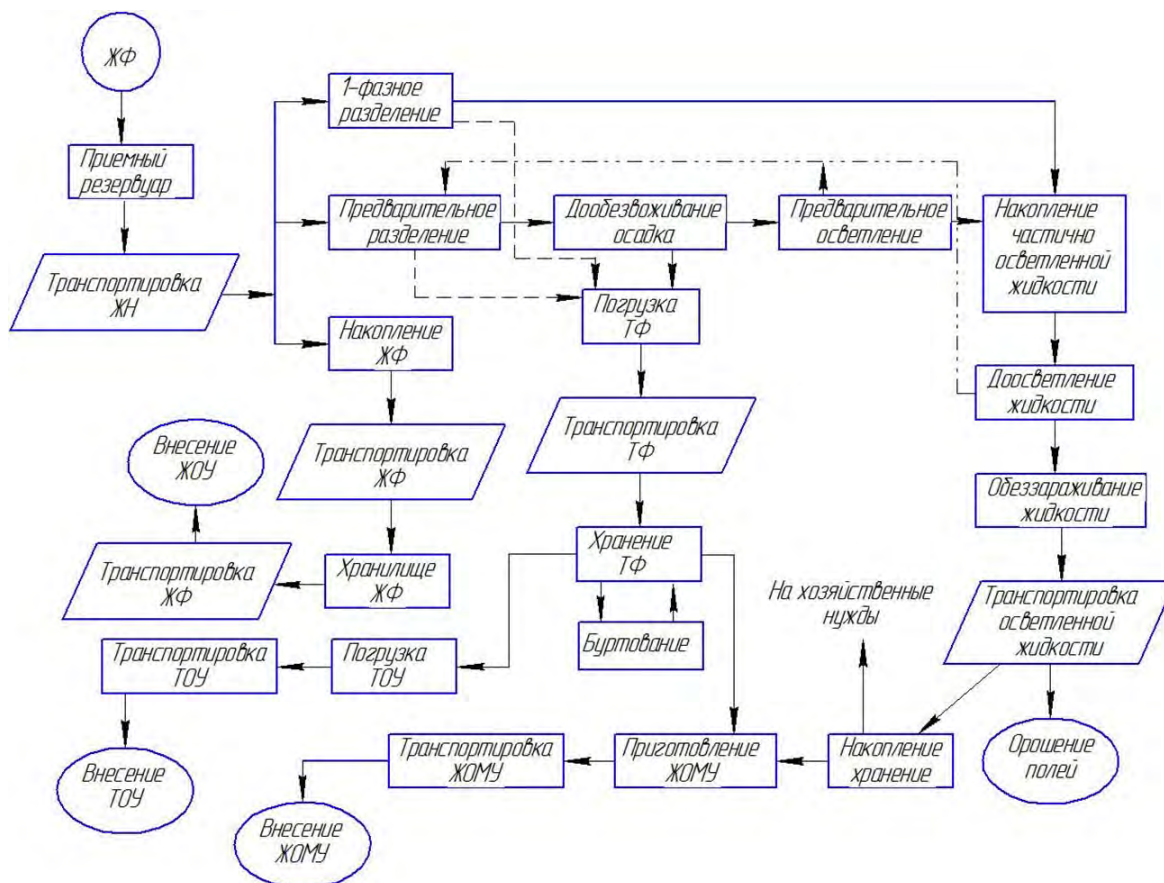


Рисунок 4 – Блок-схема взаимодействия систем при глубокой очистке жидкого навоза
Figure 4 – Block diagram of system interaction for deep processing of liquid manure

Графовая модель варианта технологического цикла по одному из направлений взаимодействия систем при глубокой очистке стоков животноводческих предприятий представлена на рисунке 5.

По разработанной графовой модели варианта технологического цикла строится блок-схема для дальнейшего перевода в компьютерную модель, представленную на рисунке 6.

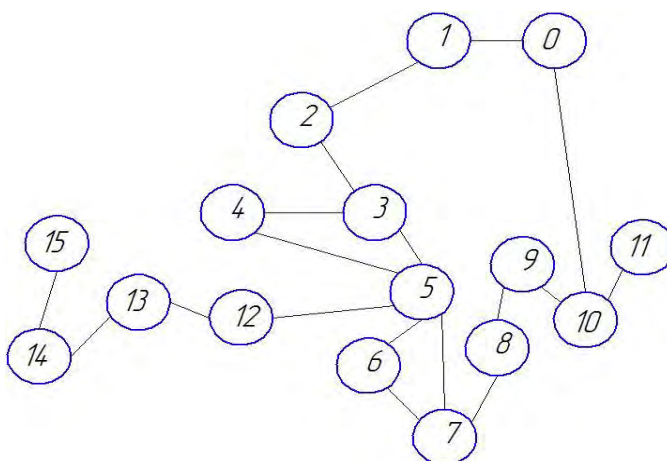


Рисунок 5 – Графовая модель варианта технологического цикла и ее описание
Figure 5 – Graph model of a technological cycle variant and its description

Таблица 2 – Перечень технологических операций и технических средств для глубокой переработки жидкого навоза

Дуги графа	Наименование операций	Возможные средства для реализации операций
0-1	Накопление жидкого навоза	Приемный резервуар
1-2	Перемешивание и транспортировка жидкого навоза	РТЕ-250, НЖН-200
2-3	Разделение на фракции	СДФ-50
4-5	Дообеззараживание осадка	Ленточный вакуум-фильтр
3-12	Погрузка и транспортирование ТФ	ТС-40, трактор с тележкой
12-14	Промежуточное осветление жидкости	ООС-25 конструкции КТИСМ, Вертикальные разделительные отстойники по ТП 802-9-30.83 диаметром 7 м из монолитного железобетона Ц-25 диаметром 15 м
3-4, 5-6	Транспортировка частично осветленной жидкости	
6-7	Доосветление	Напорная флотационная установка конструкции ВНИПТИМЭСХ
7-8	Транспортировка осветленной жидкости	
8-9	Слив воды в пруд-накопитель, обеззараживание осветленной жидкости	Аэробное сбраживание
9-0	Транспортировка воды для технологических нужд	
9-10	Транспортировка воды для орошения	
10-11	Орошение полей	
12-13	Компостирование	Термическое обеззараживание, гелеотермическое обеззараживание, ускоренное обеззараживание
13-14	Транспортировка ТОУ	
14-15	Внесение ТОУ на поля	

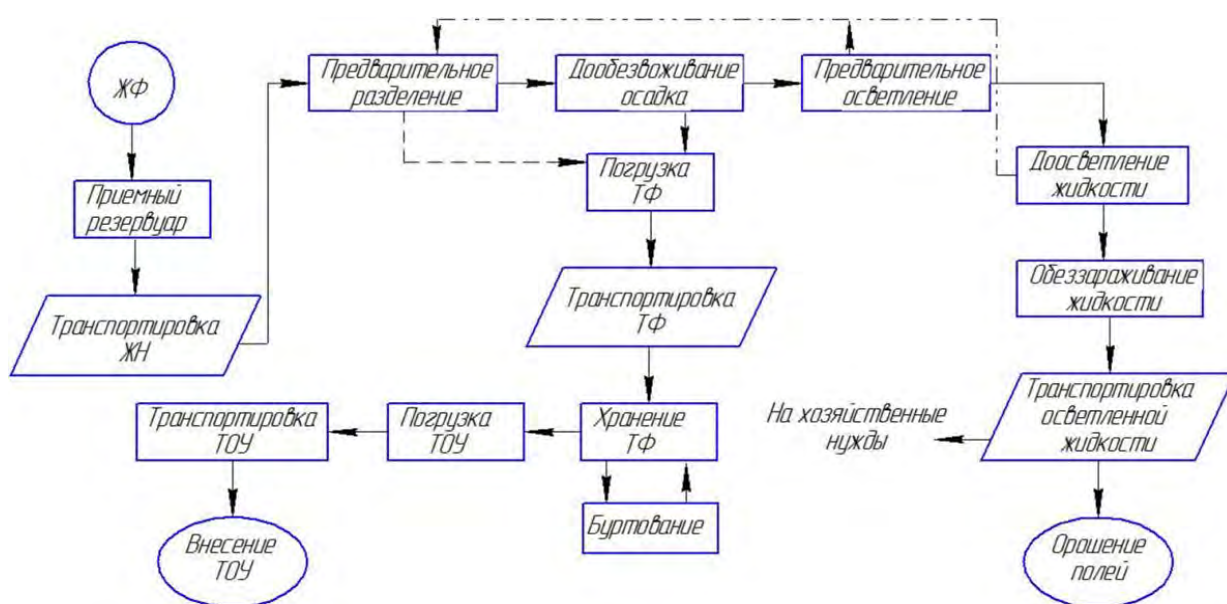
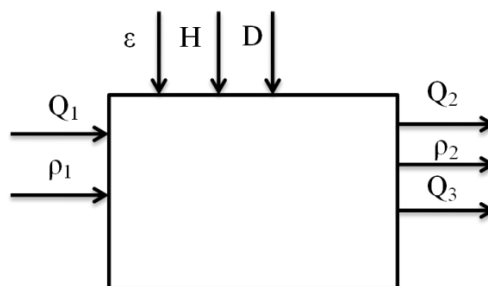


Рисунок 6 – Блок-схема варианта технологического цикла глубокой переработки жидкого навоза
Figure 6 – Block diagram of a technological cycle variant for deep processing of liquid manure

Для точного отражения свойств каждого элемента системы уточняются входящие и исходящие параметры [8], для этого элемент описывается в виде

модели блока системы, например блока «напорная флотационная установка», представленного на рисунке 7.



Q1 – объем рабочей жидкости, поступающей после механического разделения; ρ1 – плотность поступающей жидкости; Q2 – объем осветленной жидкости; ρ2 – плотность осветленной жидкости; Q3 – объем пены с осадком; H – высота камеры флотационной установки; D – диаметр камеры флотационной установки; ε – степень осветления рабочей жидкости

Рисунок 7 – Функциональная модель блока «напорная флотационная установка»

Q1 – volume of working fluid entering after mechanical separation; ρ1 – density of incoming fluid; Q2 – volume of clarified fluid; ρ2 – density of clarified fluid; Q3 – volume of foam with sediment; H – height of the flotation unit chamber; D – diameter of the flotation unit chamber; ε – degree of clarification of the working fluid

Figure 7 – Functional model of the «Pressurized flotation Unit» block

Функции входящих и исходящих параметров описываются в модели блока взаимосвязанными конструктивными параметрами – формулами для приближения свойств описываемого объекта к реальному прототипу.

Расчетные формулы для описания входных и выходных данных блока «напорная флотационная установка» [5]:

степень осветления рабочей жидкости

$$\varepsilon = \frac{C_p - C_o}{C_p},$$

где C_p и C_o – концентрация взвеси в рабочей и осветленной жидкости соответственно;

высота флотационной камеры

$$H_\phi = 0,06 \cdot V_{\text{восх}} \cdot t_k, \text{ м},$$

где $V_{\text{восх}}$ – скорость восходящего движения воды в камере, мм/с;

t_k – продолжительность пребывания воды в камере, с;
диаметр флотатора

$$D = \sqrt{\frac{W_{\text{кф}}}{H_\phi}}, \text{ м},$$

где $W_{\text{кф}}$ – объем рабочей камеры флотатора, м³.

$$W_{\text{кф}} = \frac{Q_q + Q_p}{60 \cdot \eta_0}, \text{ м}^3,$$

где Q_q – часовая производительность установки, м³/ч;

Q_p – расход рециркулирующей воды, м³/ч;

η_0 – коэффициент объемного использования флотатора ($\eta_0=0,4$).

После описания всех блоков системы имитационная модель переносится на машинный язык в любом из подходящих программных продуктов. В нашем

случае имитационная модель строится в среде AnyLogic Professional, специально разработанной для имитационного моделирования.

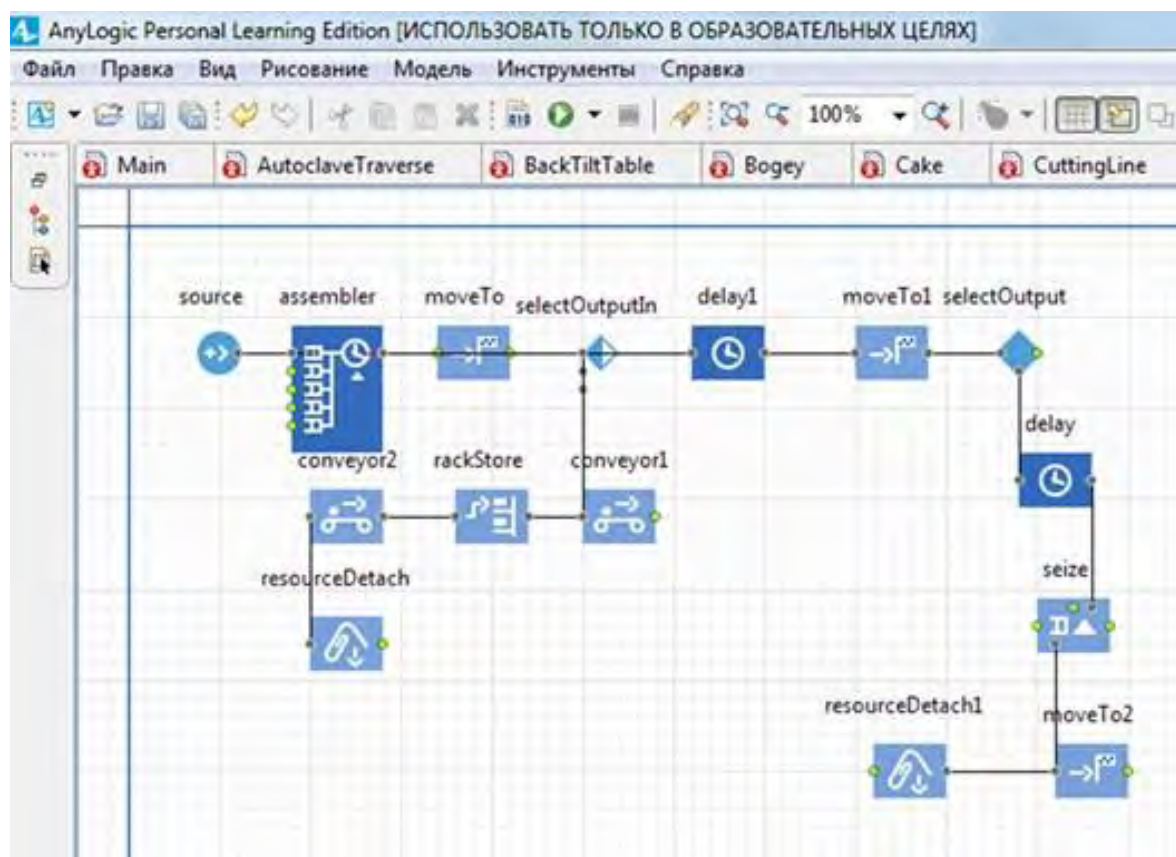


Рисунок 8 – Пример построения модели в среде AnyLogic Professional
Figure 8 – Example of model development in the AnyLogic Professional environment

После введения всех имитационных параметров каждого блока и установления связей между ними задаются параметры моделирования. По любому из блоков на основе описанных математическими зависимостями параметров можно смоделировать любой интересующий режим работы и входные параметры. На примере блока «напорная флотационная установка» получены данные компьютерного моделирования зависимости диаметра камеры напорной

флотационной установки от ее высоты при определенных значениях производительности (рисунок 9) и приведены также зависимости, построенные по экспериментальным данным (рисунок 10).

Полученная в результате имитационного моделирования зависимость была проанализирована с помощью программы Statistica 10 pro на сходимость данных с экспериментальной. Результаты анализа показали сходимость данных, допустимую для инженерных расчетов.

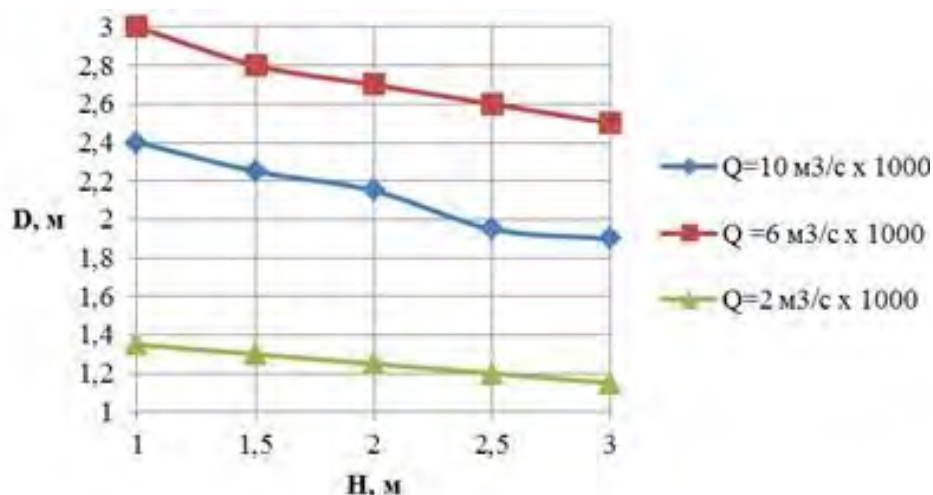


Рисунок 9 – Зависимость диаметра камеры напорной флотационной установки от ее высоты при определенных значениях производительности (экспериментальные данные)

Figure 9 – Dependence of the diameter of the pressurized flotation unit chamber on its height at certain performance values (experimental data)

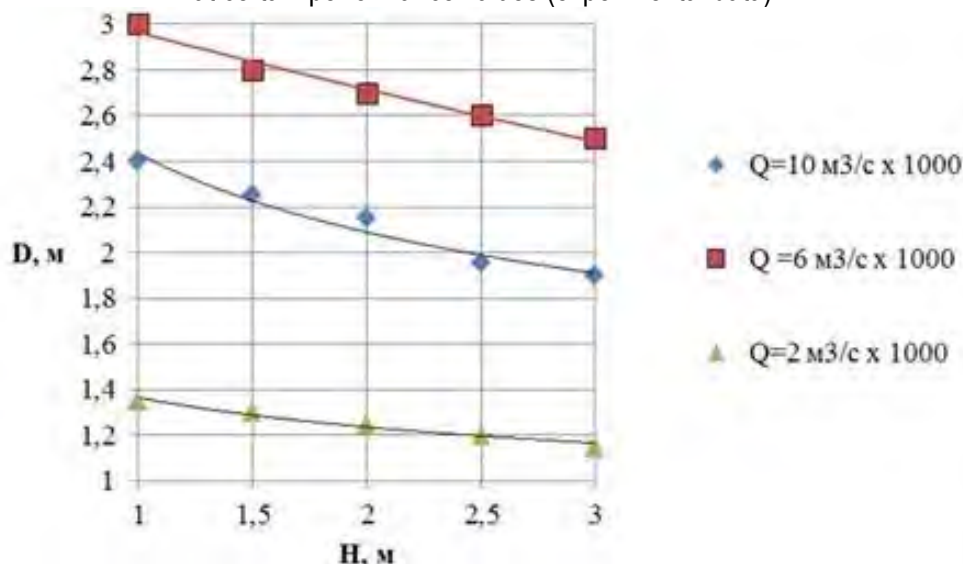


Рисунок 10 – Зависимость диаметра камеры напорной флотационной установки от ее высоты при определенных значениях производительности (данные имитационного моделирования)

Figure 10 – Dependence of the diameter of the pressurized flotation unit chamber on its height at certain performance values (simulation modeling data)

Выводы. Достоинством имитационного моделирования является возможность подбора конструктивных параметров каждого элемента технологической линии, в отличие от реальных условий, в зависимости от входных и выходных параметров предыдущего элемента технологической цепи, начальных и конечных параметров продукта. Сравнение

экспериментальных данных и полученных в результате моделирования показывает хорошую сходимость и различие между ними не превышает 2,5–5%, что показывает эффективность имитационного моделирования технологического цикла и достоверность полученных моделированием результатов.

Список источников

1. Санду И.С., Полухин А.А. Техно-технологическая модернизация сельского хозяйства России // Экономика сельского хозяйства России. 2014. № 1. С. 5–8. EDN: SBEHPJ.
2. Федеральный закон № 248-ФЗ от 14 июля 2022 «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=603153514> (дата обращения 12.05.2025).
3. Еськов А.И., Новиков М.Н., Лукин С.М. и др. Справочная книга по производству и применению органических удобрений: монография. Владимир: Российская академия сельскохозяйственных наук, 2001. 495 с. EDN: VMJDDL.
4. Бондаренко А.М., Качанова Л.С. Технологии и технические средства производства и применения органических удобрений / Министерство сельского хозяйства РФ; Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета в г. Зернограде. Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт, 2016. 224 с. ISBN 978-5-91833-165-1. EDN: KPTEVI.
5. Кудряшов В.Л. Переработка бесподстилочного свиного навоза в кормовые добавки, топливо и концентрированные органические удобрения с применением мембран // Эффективное животноводство. 2017. № 7 (137). С. 26–31. EDN: ZITUWP.
6. Путиенко К.Н. Способ переработки и утилизации навоза // Проблемы и перспективы инновационного развития агротехнологий: материалы XX Международной научно-производственной конференции, Белгород, 23–25 мая 2016 года. Т. 2. Белгород: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2016. С. 73–74. EDN: XDALRF.
7. Фиापшев Б.А., Дышюков Т.Р. Биотехнологическая переработка жидкого навоза // Сельскохозяйственное землепользование и продовольственная безопасность: материалы X Международной научно-практической конференции, посвященной памяти Заслуженного деятеля науки РФ, КБР, Республики Адыгея, профессора Б.Х. Фиапшева, Нальчик, 22 марта 2024 года. Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, 2024. С. 151–154. EDN: WTRUGT.
8. Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Шалавина Е.В. Методы определения характеристик навоза и помета: монография. Санкт-Петербург: Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», 2023. 208 с. ISBN 978-5-88890-110-6. EDN: RDEQTX.
9. Шалавина Е.В., Васильев Э.В. Алгоритм принятия решений при выборе машинных технологий биоконверсии отходов животноводства // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 1(17). С. 366–370. EDN: TXGFCT.
10. Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В., Васильев Э.В. Методика расчетов комбинированной ресурсосберегающей системы навозоудаления на свиноводческих комплексах // Аграрная наука. 2022. № 10. С. 136–142. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-363-10-136-142. EDN: HWVPTA.
11. Сазонов А.В., Терентьев Ю.Н., Сырчина Н.В., Ашихмина Т.Я., Козвонин В.А. Производство биоорганоминеральных удобрений как направление реализации безотходных технологий в свиноводстве // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 3. С. 85–90. EDN: YMAJLW.
12. Губейдуллин Х.Х., Шигапов И.И., Панин А.И., Поросятников А.В., Лукоянчев С.С. Технологии и технические средства для очистки сточных вод // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2015. № 2 (356). С. 121–126. EDN: TXJGDT.
13. Гордеев В.В., Миронова Т.Ю. Сравнительная оценка технологий утилизации навозосодержащих стоков доильного зала // Агроинженерия. 2020. № 6(100). С. 59–65. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-6-59-65. EDN: CIIRRA.
14. Миронова Т.Ю. Определение количества навозосодержащих стоков доильных залов и площади теплицы для их утилизации // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019. № 54. С. 147–151. DOI: 10.24411/2078-1318-2019-11147. EDN: XZXLOX.
15. Иванов Ю.А., Миронов В.В. Экологичное животноводство, проблемы и вызовы // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2015. № 87. С. 35–48. EDN: VHGOOD.

References

1. Sandu I.S., Polukhin A.A. Tekhniko-tekhnologicheskaya modernizatsiya sel'skogo khozyaystva Rossii (Technical and technological modernization of agricultural production in Russia). *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*. 2014; 1: 5–8. EDN: SBEHPJ. (In Russ.)
2. Federal'nyy zakon № 248-FZ ot 14 iyulya 2022 «O pobochnykh produktakh zhivotnovodstva i o vnesenii izmeneniy v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii» (Federal Law No 248-FZ of July 14, 2022 «On livestock by-products and amendments to certain legislative acts of the Russian Federation»). URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=603153514>. (data obrascheniya 12.05.2025). (In Russ.)
3. Es'kov A.I., Novikov M.N., Lukin S.M. i dr. Spravochnaya kniga po proizvodstvu i primeneniyu organicheskikh udobreniy (Reference book on the production and the use of organic fertilizers): monografiya. Vladimir: Rossiyskaya akademiya sel'skokhozyaystvennykh nauk, 2001, 495 s. EDN: VMJDDL. (In Russ.)
4. Bondarenko A.M., Kachanova L.S. Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva proizvodstva i primeneniya organicheskikh udobreniy (Technologies and technical means for the production and application of organic fertilizers). Ministerstvo sel'skogo khozyaystva RF; Azovo-Chernomorskiy inzhenernyy institut – filial Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta v g. Zernograde. Zernograd: Azovo-Chernomorskiy inzhenernyy institut, 2016, 224 s. ISBN: 978-5-91833-165-1. EDN: KPTEVI. (In Russ.)
5. Kudryashov V.L. Pererabotka bespodstilochnogo svinogo navoza v kormovye dobavki, toplivo i kontsentrirrovannye organicheskie udobreniya s primeneniem membran (Processing of litterless pig manure into feed additives, fuel and concentrated organic fertilizers using membranes). *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2017; 7 (137): 26–31. EDN: ZITUWP. (In Russ.)
6. Putienko K.N. Sposob pererabotki i utilizatsii navoza (Method of processing and utilization of manure). Problemy i perspektivy innovatsionnogo razvitiya agrotekhnologiy: materialy XX Mezhdunarodnoy nauchno-proizvodstvennoy konferentsii, Belgorod, 23–25 maya 2016 goda. T. 2. Belgorod: Belgorodskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni V.Ya. Gorina, 2016, s. 73–74. EDN: XDALRF. (In Russ.)
7. Fiapshev B.A., Dyshokov T.R. Biotehnologicheskaya pererabotka zhidkogo navoza (Biotechnical processing of liquid manure). Sel'skokhozyaystvennoe zemlepol'zovanie i prodovol'stvennaya bezopasnost': materialy X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyaschennoy pamyati Zasluzhennogo deyatelya nauki RF, KBR, Respubliki Adygeya, professora B.Kh. Fiapshева, Nal'chik, 22 marta 2024 goda. Nal'chik: Kabardino-Balkarskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. V.M. Kokova, 2024, s. 151–154. EDN: WTRUGT. (In Russ.)
8. Bryukhanov A.Yu., Vasil'ev E.V., Shalavina E.V. Metody opredeleniya kharakteristik navoza i pometa (Methods for determining the characteristics of manure and droppings): monografiya. Sankt-Peterburg: Institut agroinzhenernykh i ekologicheskikh problem sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva – filial Federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo nauchnogo uchrezhdeniya «Federal'nyy nauchnyy agroinzhenernyy tsentr VIM», 2023, 208 s. ISBN: 978-5-88890-110-6. EDN: RDEQTX. (In Russ.)
9. Shalavina E.V., Vasil'ev E.V. Algoritm prinyatiya resheniy pri vybere mashinnykh tekhnologiy biokonversii otkhodov zhivotnovodstva (Decision making algorithm to choose machine technologies of livestock waste bioconversion). *Vestnik APK Stavropol'ya*. 2015; 1(17): 366–370. EDN: TXGFCT. (In Russ.)
10. Bryukhanov A.Yu., Shalavina E.V., Vasil'ev E.V. Metodika raschetov kombinirovannoy resursosberegayushey sistemy navozoudaleniya na svinovodcheskikh kompleksakh (Calculation methods of a combined resourcesaving system of manure removal on pig-rearing complexes). *Agrarnaya nauka*. 2022; 10: 136–142. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-363-10-136-142. EDN: HWVPTA. (In Russ.)
11. Sazonov A.V., Terent'ev Yu.N., Syrchina N.V., Ashikhmina T.Ya., Kozvonin V.A. Proizvodstvo bioorganomineral'nykh udobreniy kak napravlenie realizatsii bezotkhodnykh tekhnologiy v svinovodstve (Production of bioorganomineral fertilizers as the direction of realization of wastefree technologies in pig-breeding). *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2017; 3: 85–90. EDN: YMAJLW. (In Russ.)
12. Gubeydullin Kh.Kh., Shigapov I.I., Panin A.I., Porosyatnikov A.V., Lukoyanchev S.S. Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya ochistki stochnykh vod (Technologies and technical means

for wastewater treatment). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. 2015; 2 (356): 121–126. EDN: TXJGDT. (In Russ.)

13. Gordeev V.V., Mironova T.Yu. Sravnitel'naya otsenka tekhnologiy utilizatsii navozosoderzhaschikh stokov doil'nogo zala (Comparative evaluation of technologies for utilizing slurry effluents in milking parlours). *Agroinzheneriya*. 2020; 6(100): 59–65.

DOI: 10.26897/2687-1149-2020-6-59-65.

EDN: CIIRRA. (In Russ.)

14. Mironova T.Yu. Opredelenie kolichestva navozosoderzhaschikh stokov doil'nykh zalov i

ploschadi teplitsy dlya ikh utilizatsii (Determination of the quantity of the manure-containing drains of milking parlors and area of the greenhouse for their utilization). *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019; 54: 147–151. DOI: 10.24411/2078-1318-2019-11147. EDN: ZXZLOX. (In Russ.)

15. Ivanov Yu.A., Mironov V.V. Ekologichnoe zhivotnovodstvo, problemy i vyzovy (Sustainable animal farming: problems and challenges). *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2015; 87: 35–48. EDN: VHGODD. (In Russ.)

Информация об авторах

А.Н. Головкин – кандидат технических наук, доцент, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета в г. Зернограде, Ростовская область, г. Зерноград, Россия. E-mail: alexnikgol@rambler.ru.

А.М. Бондаренко – доктор технических наук, профессор, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета в г. Зернограде, Ростовская область, г. Зерноград, Россия. E-mail: bondanmih@rambler.ru.

А.В. Гвоздев – кандидат технических наук, доцент, Мелитопольский государственный университет, г. Мелитополь, Россия. E-mail: gav11gvozdev@yandex.ru.

✉ Александр Николаевич Головкин, alexnikgol@rambler.ru

Information about the authors

A.N. Golovko – Candidate of Technical Science, Associate Professor, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of Don State Agrarian University in Zernograd, Rostov region, Zernograd, Russia. E-mail: alexnikgol@rambler.ru.

A.M. Bondarenko – Doctor of Technical Science, Professor, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of Don State Agrarian University in Zernograd, Rostov region, Zernograd, Russia. E-mail: bon-danmih@rambler.ru.

A.V. Gvozdev – Candidate of Technical Sciences, Melitopol State University, Melitopol, Russia. E-mail: gav11gvozdev@yandex.ru.

✉ Alexander Nikolaevich Golovko, alexnikgol@rambler.ru

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

Contribution of the authors. All authors made an equivalent contribution to the preparation of the article. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; одобрена после рецензирования 24.07.2025; принята к публикации 25.07.2025. The article was submitted 18.06.2025; approved after reviewing 24.07.2025; accepted for publication 25.07.2025.



<https://elibrary.ru/kxhrb>