

EDN: PFNHMB

DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-2-4-10



Научная статья

УДК681.5;631.86



Автоматизированная система управления биоферментатором барабанного типа

Александр Юрьевич Брюханов,
доктор технических наук, академик РАН,
главный научный сотрудник,
e-mail: sznii@yandex.ru;

Эдуард Вадимович Васильев,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: sznii6@yandex.ru;
Семен Алексеевич Егоров,
младший научный сотрудник,
e-mail: simon723132@yandex.ru

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФНАЦ ВИМ, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Реферат. Современное производство требует внедрения автоматизированных систем управления для повышения эффективности, точности и безопасности технологических процессов. В аграрных отраслях к сложным технологиям относится переработка или утилизация органических отходов путем биотрансформации или деградации. Эти процессы проходят в несколько фаз, и каждая требует различных режимов. Для повышения их эффективности необходима автоматизированная система, позволяющая контролировать процесс биотермической реакции и управлять режимами работы биоферментатора в зависимости от фазы переработки органических отходов. *(Цель исследования)* Разработать автоматизированную систему управления биоферментатором барабанного типа. *(Материалы и методы)* Исследования проведены на экспериментальном биоферментаторе барабанного типа в условиях аэрации перерабатываемой органической массы. Автоматизированная система управления работы ферментатора построена по трехуровневой структуре: верхний уровень (сервер и автоматизированное рабочее место оператора), средний уровень (программируемый логический контроллер) и нижний уровень (датчики и исполнительные механизмы). Для измерения температуры в биореакторе используются датчики термосопротивления, размещенные в погружных гильзах. Расход воздуха рассчитывается на основе показаний датчиков перепада давления. Частота вращения барабана определяется с помощью оптического бесконтактного датчика. *(Результаты и обсуждение)* Предлагаемая система управления обеспечивает автоматизированный контроль параметров процесса переработки и управление режимами биоферментатора. Система успешно прошла испытания, корректно отображая температуру смеси, расхода воздуха на аэрацию и вращение барабана. АСУ позволяет оперативно изменять режимы и определять оптимальные параметры переработки органических отходов. *(Выводы)* Автоматизированная система управления процессом переработки органических отходов в биоферментаторе барабанного типа обеспечивает мониторинг параметров, что позволит определить оптимальные режимы работы и алгоритмы их корректировки для различных типов органических смесей и получить качественный конечный продукт.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, биоферментатор барабанного типа, переработка органических отходов.

■ **Для цитирования:** Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Егоров С.А. Автоматизированная система управления биоферментатором барабанного типа // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №2. С. 4-10. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-2-4-10. EDN: PFNHMB.

Scientific article

Automated Control System for Drum-Type Biofermenter

Alexander Yu. Briukhanov,
Dr.Sc.(Eng.), academician of the RAS,
chief researcher,
e-mail: sznii@yandex.ru;

Eduard V. Vasilev,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: sznii6@yandex.ru;
Semen A. Egorov,
junior researcher, e-mail: simon723132@yandex.ru

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. Modern production increasingly relies on the implementation of automated control systems to improve the efficiency, precision, and safety of technological processes. In the agricultural sector, complex technologies involve the processing or disposal of organic waste through biotransformation or degradation. These processes occur in multiple phases, each requiring specific operating conditions. To enhance overall effectiveness, there is a need for an automated system capable of monitoring the biothermal reaction process and managing the operational modes of a biofermenter in accordance with the current phase of organic waste processing. *(Research purpose)* The aim of this research is to develop an automated control system for a drum-type biofermenter. *(Materials and methods)* The study was conducted using an experimental drum-type biofermenter operating under conditions of aeration of the processed organic matter. The automated control system is built on a three-level architecture: the upper level consists of a server and an operator's automated workstation, the middle level includes a programmable logic controller, and the lower level comprises sensors and actuators. Temperature inside the bioreactor is measured using resistance temperature detectors housed in immersion sleeves. Airflow is calculated based on readings from a differential pressure sensor. The drum's rotation speed is monitored using an optical non-contact sensor. *(Results and discussion)* The proposed control system enables automated monitoring of key processing parameters and supports effective management of the biofermenter's operating modes. Testing demonstrated the system's ability to accurately monitor and display the mixture temperature, aeration airflow, and drum rotation speed. The system also allows for rapid mode adjustments to operating modes and facilitates the identification of optimal parameters for efficient organic waste processing. *(Conclusions)* The automated control system for organic waste processing in a drum-type biofermenter ensures continuous monitoring of key parameter. This capability facilitates the identification of optimal operating modes and the development of adjustment algorithms tailored to different types of organic mixtures, ultimately contributing to the production of a high-quality end product.

Keywords: automated control system, drum-type biofermenter, organic waste processing.

■ For citation: Briukhanov A.Yu., Vasilev E.V., Egorov S.A. Automated control system for drum-type biofermenter. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N2. 4-10 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-2-4-10. EDN: PFNHMB.

Внедрение в производственные процессы цифровых технологий и автоматизированных систем управления (АСУ) позволяет значительно повысить эффективность, точность и безопасность выполнения производственных операций [1]. Одна из ключевых возможностей АСУ заключается в обеспечении непрерывного мониторинга и управления параметрами в режиме реального времени [2]. Благодаря этому возможно реализовать алгоритмы управления процессами с обратной связью, когда сигнал управления формируется на основе отклонения управляемой величины [3]. Такие алгоритмы позволяют обеспечить стабильность выполнения технологических процессов, на конечный результат которых влияют десятки параметров [4].

В животноводстве к сложным процессам относится интенсивная переработка органических отходов в ферментаторе барабанного типа [5]. Технология основана на биоконверсии органических отходов под действием аэробных термофильных микроорганизмов с получением в качестве конечных продуктов органических удобрений [6]. Возможность полной автоматизации процесса в закрытом реакторе делает данную технологию перспективной для внедрения в промышленных масштабах.

Разложение органических отходов (компостирование) происходит при перемешивании, аэрации и перемещении материала [7]. Однако, сам процесс в биореакторе проходит в несколько связанных с

температурным режимом фаз: психрофильную (температура смеси до 20 °С), мезофильную (температура смеси в диапазоне 20-40 °С) и термофильную (температура смеси выше 40 °С) [8]. Для каждой фазы требуются контроль и корректировка технологических параметров работы биоферментатора [9]. Оптимально подобранные режимы позволяют сократить срок переработки, сохранить большее количество питательных элементов и снизить объем выбросов климатически активных (углекислый газ и закись азота) и загрязняющих веществ (аммиак) [10].

Длительность каждой фазы зависит от множества параметров перерабатываемого материала (влажность, плотность, соотношение углерода к азоту, pH, микробиологические показатели и др.), значения которых изменяются в больших диапазонах [11]. Показателем фазы процесса может выступать температура переработки смеси, которая нагревается в результате жизнедеятельности термофильных аэробных микроорганизмов – так называемой биотермической реакции [12]. В зависимости от температуры перерабатываемой смеси возможно обеспечить изменение параметров работы биоферментатора в автоматическом режиме.

Для решения этой задачи необходима АСУ с возможностью мониторинга температуры смеси и управлением режимами работы биоферментатора в зависимости от фазы переработки. Режим работы определяется: интервалом включения вентилятора аэрации; объемом подаваемого воздуха при

включении аэрации; расходом воздуха вытяжного вентилятора; интервалом и количеством оборотов барабана.

Цель исследования – разработать автоматизированную систему управления биоферментатором барабанного типа для повышения эффективности процесса ферментации органических отходов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследования проводились в лаборатории биоконверсии органических отходов ИАЭП – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Объектом автоматизации является экспериментальный биоферментатор барабанного типа. Биоферментатор длиной 2,8 м с внутренним диаметром 0,8 м оснащен загрузочным и выгрузным устройствами, приводом вращения барабана, напорным вентилятором аэрации и вытяжным вентилятором.

Автоматизированная система управления построена по типовой трехуровневой структуре (верхний, средний, нижний) (Филатов В.В., Мишаков В.Ю., Женжебир В.Н. и др. Автоматизация систем управления предприятий легкой промышленности: отраслевой и региональный аспект. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2021. 353 с.). Схема комплекса технических средств системы представлена на *рисунке 1*.

Верхний уровень управления представлен сервером, роль которого выполняет ноутбук *DELL Inspiron 5758*, расположенный непосредственно в

помещении, где осуществляется технологический процесс. Ноутбук одновременно с сервером выступает в роли автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора (Бывайков М.Е., Полетыкин А.Г., Степанов В.Н., Сахabetдинов И.У. Программный интерфейс между верхними и нижними уровнями автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) атомной электростанции. М.: ИПУ РАН, 2021. 113 с.). Помимо этого предусмотрена возможность управления установкой с помощью переключателей и кнопок, введенных на щит управления.

Основным исполнительным устройством среднего уровня служит программируемый логический контроллер (ПЛК) *EKF PRO-Logic F200-12A-R-P10* с дополнительным модулем расширения дискретного ввода-вывода *EMF-D-8X8Y-R*. Связь между ПЛК и *UTP*-сервером осуществляется по *Ethernet* интерфейсу через открытый промышленный протокол *Modbus TCP* (Баронов В.В., Калянов Г.Н., Попов Ю.Н., Титовский И.Н. Информационные технологии и управление предприятием. Саратов: Профобразование, 2017. 327 с.). К ПЛК через модуль расширения подключены кнопки и переключатели для ручного управления оборудованием биоферментатора, а также сигнализирующие лампы.

Дополнительными устройствами являются модемы беспроводной передачи данных *EKF PROxima WDT LoRa 433 L20* (2 шт.), через которые осуществляется обмен данными между ПЛК и модулем ввода термосопротивлений *EKF PRO-Logic REMF 4* по интерфейсу *RS-485*. Применение модуля беспроводной связи обусловлено тем, что датчики температуры находятся на корпусе барабана, который периодически вращается, поэтому невозможно обеспечить стабильное непрерывное проводное соединение.

Модули ввода термосопротивлений и беспроводной передачи данных запитаны через источник бесперебойного питания (ИБП) 12V и преобразователь напряжения 12-24V.

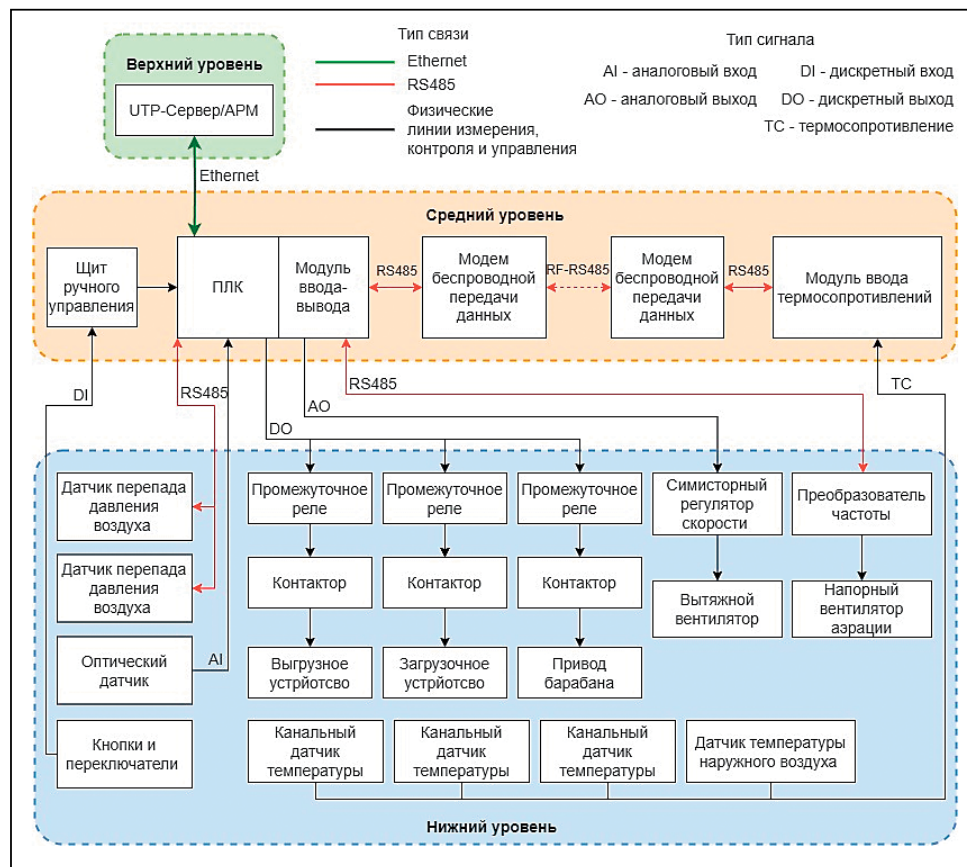


Рис. 1. Структурная схема комплекса технических средств системы

Fig. 1. Block diagram of the system's technical equipment

В момент, когда барабан не вращается, питание на ИБП поступает от щита управления через скользящий контакт, расположенный на торце барабана.

Нижний уровень управления – контрольно-измерительные приборы и исполнительные механизмы (датчики, электроприводы, кнопки, сигнальные лампы). Для измерения температуры смеси накладные датчики *EKF RTD10-OVH30-PT1000* (3 шт.) размещены в нержавеющей гильзах длиной 250 мм на одинаковой глубине. Из-за того, что смесь заполняет барабан на 70-80%, датчики температуры расположены посередине глубины смеси. Гильзы установлены в трех точках барабана (загрузочной, средней, выгрузной). Датчики температуры подключены к модулю ввода термосопротивлений монтажным кабелем.

К этому же модулю подключен датчик температуры наружного воздуха *EKF RTD20-OUT1-PT1000*. Аналоговый сигнал от датчиков термосопротивлений, поступая на модуль ввода термосопротивлений, преобразует цифровой сигнал и передается на программируемый логический контроллер через беспроводное соединение с помощью модемов беспроводной передачи данных по интерфейсу RS-485.

Скорость воздушного потока на входе и выходе биоферментатора измеряется датчиками перепада давления *IECON ADPS-XXN5KP5-C04-C*, подключенными к ПЛК по интерфейсу RS-485. В управляющей программе ПЛК заложен алгоритм пересчета перепада давления в расход воздушного потока с учетом диаметра воздухопроводов и температуры воздушного потока.

Для отсчета вращений и определения угла поворота барабана используется оптический бесконтактный датчик *EKF PROXIS-3R-18-2-N-NO+NC-2*, выдающий дискретный сигнал напрямую в ПЛК.

Исполнительными механизмами нижнего уровня является оборудование, которым оснащен биоферментатор. Выгрузное, загрузочное устройства и привод барабана управляются через промежуточное реле, на которое подается дискретный сигнал с ПЛК. Через это реле осуществляется запуск контакторов, активирующих механизмы.

Управление вентилятором аэрации осуществляется преобразователем частоты *EKF VECTOR-80*, подключенным к ПЛК по интерфейсу RS-485. Для управления вытяжным вентилятором используется симисторный регулятор скорости СРМ 2,5Щ, управляемый аналоговым сигналом (0-10 В) через ПЛК.

В качестве инструментальной системы для реализации человеко-машинного интерфейса АРМ используется программный комплекс *SCADA TRACE MODE 7* (*SCADA*, *SOFTLOGIC* и *MES*-система). Программа разработана в России (компания «АдАстра» внесена в Реестр отечественного ПО № 4119).

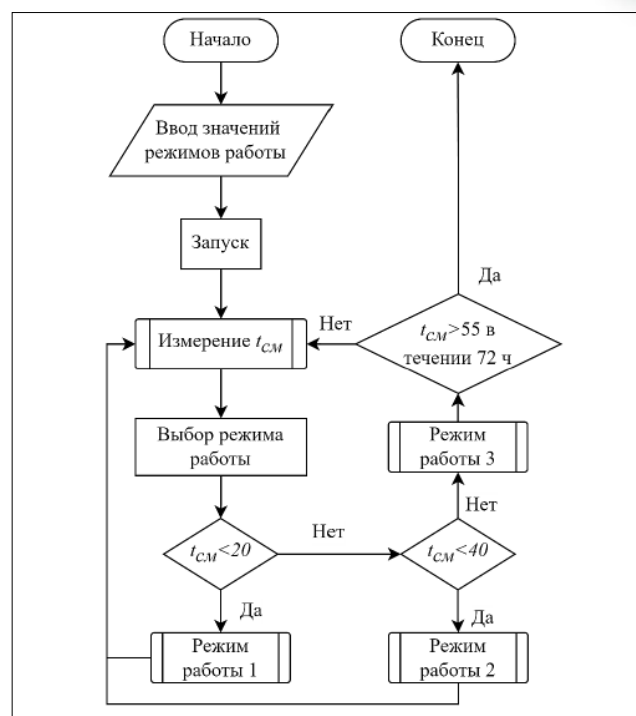


Рис. 2. Упрощенный алгоритм управляющей программы
Fig. 2. Simplified flowchart of the control program

Управляющая программа системы выполнена на языке функциональных блок-диаграмм (*Function Block Diagram, FBD*) – графический язык программирования стандарта МЭК 61131-3. Упрощенный алгоритм управляющей программы представлен на рисунке 2.

Началом процесса является ввод значений режимов работы биоферментатора. На данном этапе в алгоритм заложено три режима, которые определяются средней температурой перерабатываемой смеси ($t_{см}$). Первый режим работы соответствует температуре смеси до 20 °С, второй — диапазону 20-40 °С, третий — при достижении 40 °С и выше.

Вводятся следующие параметры режимов работы:

- интервал включения аэрации ($T_{аэр}^{1-3}$, с);
- объем подаваемого воздуха в интервал включения вентилятора аэрации ($V_{аэр}^{1-3}$, м³);
- расход вытяжного вентилятора ($Q_{выт}^{1-3}$, м³/ч);
- интервал вращения барабана (T_6^{1-3} , с);
- число оборотов барабана за интервал вращения (n^{1-3} , об.).

Средняя температура смеси ($t_{см}$) вычисляется расчетным блоком, как среднее арифметическое суммы показаний с датчиков температуры смеси.

Процесс переработки органических отходов [13] запускается с помощью кнопки на пульте управления. Затем на основе рассчитанной средней температуры смеси ($t_{см}$) система устанавливает режим работы ферментатора. В зависимости от сезона и свойств материала температура загружаемой смеси варьируется в пределах 10-30 °С, в связи с чем

процесс переработки может начинаться как на первом, так и на втором режиме работы.

В процессе переработки температура смеси ($t_{см}$) постепенно возрастает и при превышении 40 °С процесс осуществляется на третьем режиме [14]. Для обеззараживания перерабатываемого материала рекомендуется выдерживать смесь не менее 72 ч при достижении температуры 55 °С (РД-АПК 1.10.15.02-17. Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. 2020. 167 с.). Из опыта проведенных исследований, в зависимости от типа перерабатываемого материала и установленного режима работы, достижение температуры смеси 55 °С во всем объеме материала занимает 24-72 ч. С учетом необходимости выдерживания 72 ч для обеззараживания смеси весь процесс переработки занимает 96-144 ч (4-6 сут). Именно поэтому система управления основана на мониторинге температуры смеси, поскольку затруднительно точно спрогнозировать, сколько продлится процесс разогрева каждого вида материала. Алгоритм управления предусматривает остановку процесса переработки после 72 ч выдержки с такой температурой либо при нажатии кнопки на пульте управления. Общий вид экспериментального биоферментатора барабанного типа с АСУ представлен на [рисунке 3](#).

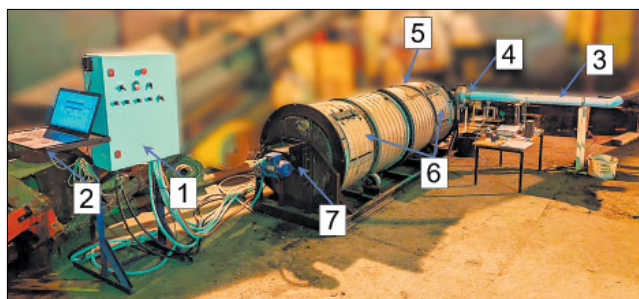


Рис. 3. Биоферментатор барабанного типа с АСУ
Fig. 3. Drum-type biofermenter equipped with an automated control system

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Система обеспечивает следующие управляющие функции, выполняемые оператором с помощью переключателей и кнопок на шкафу системы управления 1: включение и выключение загрузочного и выгрузного 7 устройств, привода вращения барабана 5, напорного вентилятора аэрации и вытяжного вентилятора 4; режима загрузки (одновременное включение привода вращения барабана и загрузочного устройства) и режима выгрузки (одновременное включение привода вращения барабана и выгрузного устройства); выбор ручного или автоматического режима функционирования; запуск и остановка управляющей программы автоматического процесса переработки; экстренное обесточивание всей установки.

АРМ оператора 2 обеспечивает: изменение режимов работы биоферментатора; мониторинг параметров процесса переработки в виде графиков и числовых значений на экране; сигнализацию об ошибках и достижении контрольных параметров. Система ведет запись и резервное копирование всех данных процесса в энергонезависимой памяти.

Для отбора проб перерабатываемого материала при проведении исследований, на барабане 5 имеются смотровые люки 6, расположенные в загрузочной и выгрузной зонах. Для отвода образующихся воздушных выбросов, к вытяжному вентилятору 4 подключен вытяжной воздуховод 3, оснащенный точкой отбора проб воздушного потока.

Разработанная АСУ успешно испытана в ходе исследований свойств воздушных выбросов (определение влажности и температуры воздушного потока, концентрации в нем аммиака), образующихся при переработке подстильного помета.

На графике истории значений температуры смеси ([рис. 4](#)), выводимого на экране АРМ оператора, изображены линии тренда температуры смеси для трех зон, загрузочной (оранжевый график), средней (зеленый) и выгрузной (красный график).

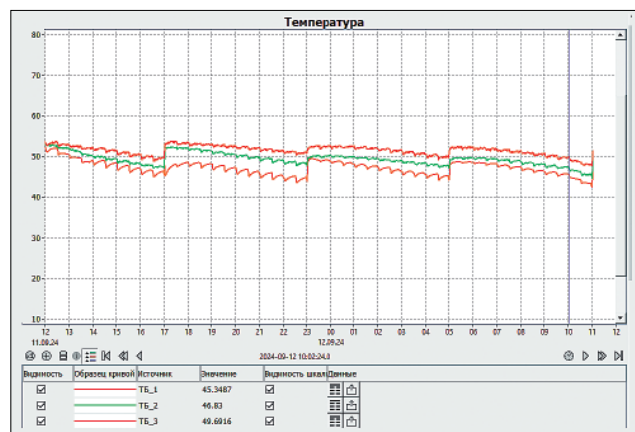


Рис. 4. Окно графика истории значений температуры смеси
Fig. 4. Window displaying the mixture temperature history graph

Температура между зонами отличается на 2-3 °С, постепенно увеличиваясь от загрузочной зоны к выгрузной. Это связано с тем, что вытяжной вентилятор находится со стороны загрузочной зоны, а также с этой стороны поступает воздух для аэрации смеси. Включения вентилятора аэрации и вращения барабана отслеживаются в виде резких изменений температуры. С интервалом в 30 мин осуществлялось включение напорного вентилятора аэрации, что на графиках фиксируется кратковременным снижением температуры смеси на 1-2 °С. Особенно заметен данный эффект для зоны загрузки. С интервалом в 6 ч осуществлялось вращение барабана, что для всех трех зон отражается в виде резкого скачка температуры на 3-5 °С в результате перемешивания смеси.

Система обеспечивает контроль количества воздуха на аэрацию и откаченного из камеры. Благодаря этому возможно определить количество воздуха, затраченное на аэрацию, и объем образующихся воздушных выбросов.

Применение современных аппаратных компонентов управления позволяет задать алгоритмы с многими управляемыми и контролируемыми параметрами. Все перечисленные возможности позволяют провести исследования по определению оптимальных режимов переработки различных смесей и видов органических отходов.

Выводы. Разработанная АСУ обеспечивает выполнение функций автоматизированного контроля параметров переработки и управления режимами биоферментатора барабанного типа: интервал включения вентилятора аэрации, объем подаваемого воздуха в интервал включения вентилятора аэрации, расход воздуха вытяжного вентилятора, интервал вращения барабана, количество оборотов барабана за интервал вращения.

Система построена по классической трехуровневой структуре, аппаратная и программная составляющие выполнены на общепромышленных комплектующих. АРМ оператора обеспечивает оперативное управление режимами работы биоферментатора и мониторинг за параметрами технологического процесса. Датчики температуры смеси, датчики перепада давления и оптический бесконтактный датчик количества оборотов барабана позволяют реализовать автоматизированный алгоритм управления процессом с учетом фазы ферментации смеси.

Предлагаемая система позволит провести углубленные исследования влияния режимов работы и алгоритмов управления на процессы в биоферментаторе барабанного типа для уточнения моделей биотермической реакции, интеллектуализированных алгоритмов управления, что обеспечит сокращение времени переработки, сохранение возможно большего количества питательных элементов и минимальный объем образующихся выбросов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. N15(4). С. 6-10. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10.
2. Корнюшкин Д.А., Крылов А.А. Задачи совершенствования современных автоматизированных систем управления технологическими процессами // *Инженерный вестник Дона*. 2023. N3(99). С. 225-232. EDN: NROGYP.
3. Измайлов А.Ю., Хорошенков В.К., Колесникова В.А. и др. Средства автоматизации для управления сельскохозяйственной техникой // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N3. С. 3-9. DOI: 10.22314/2073-7599-2017-3-39.
4. Кузнецов П.А., Ковалев И.В. Надежность АСУ ТП с учетом ее функциональности // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. 2014. N10. С. 316-317. EDN: TAQFZT.
5. Шалавина Е.В., Васильев Э.В., Уваров Р.А. Методы экологически безопасного использования навоза и помета фермерскими хозяйствами в Ленинградской области // *АгроЭкоИнженерия*. 2021. N3(108). С. 128-140. DOI: 10.24412/2713-2641-2021-3108-128-140.
6. Горбенко А.Д., Каплан М.А., Севостьянова Е.П. и др. Обзор активных методов биологической переработки органических отходов // *Земледелие*. 2023. N3. С. 36-40. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-3-36-40.
7. Балабина И.П., Проценко Е.П., Алферова Е.Ю. и др. Утилизация органических отходов от сахарной промышленности компостированием // *Экология урбанизированных территорий*. 2019. N4. С. 27-33. DOI: 10.24411/1816-1863-2018-14027.
8. Романов А.С. Определение теплового режима работы биоферментатора камерного типа // *АгроЭкоИнженерия*. 2024. N2(119). С. 82-92. DOI: 10.24412/2713-2641-2024-2119-82-9.
9. Пиотровский Д.Л., Посмитная Л.А., Дружинина К.В., Дружинина У.В. Математическая модель системы вентиляции с переменным расходом воздуха вдоль вертикальной оси реактора в процессе компостирования // *Научный журнал КубГАУ*. 2016. N121(07). С. 1887-1896. DOI: 10.21515/1990-4665-121-119.
10. Васильев Э.В., Казанцев И.Н. Анализ методов очистки выбросов загрязняющих веществ, образуемых в процессе биоферментации // *АгроЭкоИнженерия*. 2021. N4(109). С. 106-117. DOI: 10.24412/2713-2641-2021-4109-106-116.
11. Колдин М.С., Криволапов И.П. Определение теплофизических характеристик компостируемого материала в процессе биоферментации // *Наука и Образование*. 2022. N5 (1). EDN: BNYDEL.
12. Теучеж А.А., Смирнова Д.Г. Микробиологические, биохимические и технологические основы использования отходов животноводства // *Экологический Вестник Северного Кавказа*. 2017. N13 (2). С. 60-66. EDN: YQYFEB.
13. Лобачевский Я.П., Федотов А.В., Григорьев В.С., Ценч Ю.С. Энергетический потенциал продуктов деградации органосодержащих отходов АПК при их переработке в сверхкритической водной среде // *Вестник аграрной науки Дона*. 2018. N4(44). С. 5-11.
14. Гурьянов Д.В., Хмыров В.Д., Куденко В.Б., Хатунцев П.Ю. Аэрационный биореактор - обеззараживатель органической массы // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2017. N2. С. 109-113. EDN: ZEFUOB.

REFERENCES

1. Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S. Digital technologies and robotic devices in the agriculture. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021. N15(4). 6-10 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10.
2. Korniyushkin D.A., Krylov A.A. Challenges for improving modern automated process control systems. *Engineering Bulletin of Don*. 2023. N3(99). 225-232 (In Russian). EDN: NROGYP.
3. Izmaylov A.Yu., Khoroshenkov V.K., Kolesnikova V.A. et al. Automation facilities for agricultural machinery control. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2017. N3. 3-9 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2017-3-39.
4. Kuznetsov P.A., Kovalev I.V. Reliability of ACS taking into account its functionality. *Actual problems of aviation and cosmonautics*. 2014. N10. 316-317. (In Russian). EDN: TAQFZT.
5. Shalavina E.V., Vasilev E.V., Uvarov R.A. Methods for environmentally safe use of animal/poultry manure on private farms in the Leningrad region. *AgroEcoEngineering*. 2021. N3 (108). 128-140 (In Russian). DOI: 10.24412/2713-2641-2021-3108-128-140.
6. Gorbenko A.D., Kaplan M.A., Sevost'janova E.P. et al. Review of active methods of biological processing of organic waste. *Zemledelie*. 2023. N3. 36-40 (In Russian). DOI: 10.24412/0044-3913-2023-3-36-40.
7. Balabina I.P., Protsenko E.P., Alferova E.Yu. et al. Disposal of organic waste from sugar industry by composting. *Ecology of Urban Areas*. 2019. N4. 27-33 (In Russian). DOI: 10.24411/1816-1863-2018-14027.
8. Romanov A.S. Determining the thermal operating mode of a chamber fermenter. *AgroEcoEngineering*. 2024. N2(119). 82-92 (In Russian). DOI: 10.24412/2713-2641-2024-2119-82-92.
9. Piotrovskiy D.L., Posmitnaja L.A., Druzhinina K.V., Druzhinina U.V. Mathematical model of a ventilation system with variable air flow along the vertical axis of the reactor in the composting process. *Scientific Journal of KubGAU*. 2016. N121. 1887-1896 (In Russian). DOI: 10.21515/1990-4665-121-119.
10. Vasilev E.V., Kazantsev I.N. Review of cleaning methods of pollutant emissions generated during fermentation. *AgroEcoEngineering*. 2021. N4(109). 106-117 (In Russian). DOI: 10.24412/2713-2641-2021-4109-106-116.
11. Koldin M.S., Krivolapov I.P. Determination of thermo-physical characteristics of composted material in the process of biofermentation. *Science and Education*. 2022. N5 (1) (In Russian). EDN: BNYDEL.
12. Teuchezh A.A., Smirnova D.G. Microbiological, biochemical and technological bases of use of animal wastes. *Ecological Bulletin of the North Caucasus*. 2017. N13(2). 60-66 (In Russian). EDN: YQYFEB.
13. Lobachevskiy Ya.P., Fedotov A.V., Grigorjev V.S., Tsench Yu.S. Energy potential of degradation products of organic wastes of agroindustrial complex during their processing in supercritical water environment. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2018. N4(44). 5-11 (In Russian).
14. Guryanov D.V., Khmyrov V.D., Kudenko V. B., Khatuntsev P.Yu. . Aeration bioreactor as organic matter disinfectant. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2017. N2. 109-113 (In Russian). EDN: ZEFUOB.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Брюханов А.Ю. – научное руководство, формулирование основных целей и задач теоретических исследований, доработка текста;
Васильев Э.В. – определение методологии исследования, критический анализ и доработка решения, формирование общих выводов, итоговая переработка статьи;
Егоров С.А. – сбор и анализ материалов по теме исследования, разработка и испытание автоматизированной системы управления, составление начального варианта статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Briukhanov A.Yu. – scientific supervision, formulation of the main goals and objectives for the theoretical research, and refinement of the manuscript;
Vasilev E.V. – definition of the research methodology, critical analysis and refinement of the solution, development of general conclusions, final revision of the manuscript;
Egorov S.A. – collection and analysis of research materials, development and testing of the automated control system, and preparation of the initial draft of the manuscript.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

03.04.2025

06.05.2025