**Торайғыров университетінің хабаршысы**
**ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**
**Вестник Торайгыров университета**

# Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

## Энергетикалық сериясы

1997 жылдан бастап шығады

# ВЕСТНИК Торайгыров университета

## Энергетическая серия

Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

**№3 (2026)**

**ПАВЛОДАР**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**
**Вестник Торайгыров университета**

**Энергетическая серия**
выходит 4 раза в год

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**
о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж
выдано
Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**
публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

**Подписной индекс – 76136**

---

https://doi.org/10.48081/BTOUEn3.2026/2710-3420

**Бас редакторы – главный редактор**
Талипов О. М.
*доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)*

Заместитель главного редактора — Калтаев А.Г., *доктор PhD*
Ответственный секретарь — Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

**Редакция алқасы – Редакционная коллегия**

| | |
|---|---|
| Клецель М. Я., | *д.т.н., профессор* |
| Никифоров А. С., | *д.т.н., профессор* |
| Новожилов А. Н., | *д.т.н., профессор* |
| Алиферов А. И., | *д.т.н., профессор (Российская Федерация)* |
| Кошеков К. Т., | *д.т.н., профессор* |
| Приходько Е. В., | *к.т.н., профессор* |
| Кислов А. П., | *к.т.н., доцент* |
| Нефтисов А. В., | *доктор PhD* |
| Шерьязов С. К. | т.ғ.д., *профессор (Российская Федерация)* |
| Искакова З. С. | *технический редактор* |

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

МРНТИ 50.47.29

https://doi.org/10.48081/BTOUEn3.2026/499-511

***С. Ф. Починок[1], А. Д. Обозов[2],***
***А. В. Лаврентьев[3], А. Ю. Ромадин[4]***
[1]Кыргызский государственный технический
университет имени И. Раззакова,
Кыргызская Республика, г. Бишкек;
[2,3]Лаборатория возобновляемых источников энергии
Национальной академии наук Кыргызской Республики,
Кыргызская Республика, г. Бишкек;
[4]Павлодарский филиал АО «Национальный
центр экспертизы и сертификации»,
Республика Казахстан, г. Павлодар.
[1]ORCID: https://orcid.org/0009-0006-2262-2283
[2]ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7854-5831
[3]ORCID: https://orcid.org/0009-0003-6884-8980
[4]ORCID: https://orcid.org/0009-0007-9514-4187
*e-mail: info@incomcompany.kz

# *УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ БАРБОТАЖНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В АНАЭРОБНОМ БИОРЕАКТОРЕ*

*В работе рассматривается автоматическое управление режимами барботажного перемешивания субстрата в анаэробном биореакторе с использованием биогаза в качестве рабочей среды. Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения стабильного и воспроизводимого режима перемешивания при анаэробном сбраживании, а также снижения зависимости технологического процесса от действий оператора. Для автоматизации периодической подачи биогаза применены электромагнитный клапан 2W-250-25 и реле времени DH-48S-S, обеспечивающие работу пневматической системы по заданной временной программе.*

*Целью исследования является оценка эффективности автоматического временного управления пневматическим перемешиванием субстрата и определение его влияния на удельный выход биогаза по сравнению с ручным режимом. Экспериментальные*

*исследования проведены на биогазовой установке БЭМ-100 в термофильном режиме при температуре 51–56 °С.*

*Основные задачи исследования включают анализ принципа барботажного перемешивания, реализацию автоматического управления подачей биогаза, обеспечение заданной периодичности работы системы и экспериментальное сравнение ручного и автоматического режимов. В автоматическом режиме барботаж осуществлялся с интервалом 4 ч 30 мин при продолжительности подачи биогаза 30 с.*

*По результатам восьми наблюдений средний удельный выход биогаза при ручном режиме составил 99,35 м³/т, а при автоматическом режиме – 125,63 м³/т. Абсолютное увеличение составило 26,28 м³/т, относительное увеличение по отношению к ручному режиму – 26,45 %. Полученные результаты могут быть использованы при разработке и модернизации систем управления пневматическим перемешиванием в малых и средних биогазовых установках.*

*Ключевые слова: анаэробный биореактор, биогазовая установка, барботажное перемешивание, пневматическое перемешивание, автоматическое управление, электромагнитный клапан, реле времени.*

**Введение**

Анаэробное сбраживание органических отходов рассматривается как один из способов одновременного получения энергетического продукта и стабилизированного органического остатка. На эффективность процесса влияют температура, состав и влажность сырья, гидравлические условия, микробиологическая активность и характер перемешивания среды [1]. Для малых и средних установок особое значение имеют решения, которые позволяют поддерживать технологический режим без сложной и дорогостоящей системы управления.

Перемешивание обеспечивает перераспределение субстрата, тепла и микробных популяций в объеме реактора и уменьшает вероятность образования застойных зон и локальных скоплений твердой фазы. При этом чрезмерно интенсивное перемешивание повышает собственное энергопотребление установки и не всегда приводит к пропорциональному росту выхода биогаза. Поэтому в современной литературе рассматриваются периодические режимы, позволяющие сочетать достаточную однородность среды с ограничением вспомогательных энергетических затрат [2].

Одним из вариантов является газовое, или барботажное, перемешивание, при котором часть образующегося биогаза повторно подается в реактор

через распределительную систему. Такой подход позволяет отказаться от механической мешалки внутри реактора и переносит основную задачу управления на газовую магистраль, запорно-регулирующую арматуру и временной режим подачи газа [3].

Конструктивная основа рассматриваемой системы связана с биогазовой установкой, в которой биогаз отбирается из реактора, проходит через водяной затвор и ресивер и затем подается к барботерам с перфорированными насадками [4]. Для снижения зависимости режима перемешивания от действий оператора ранее был предложен алгоритм программного управления подачей газа в метатенк биогазовой установки [5]. Экспериментальные данные по ручному и автоматическому режимам были получены в рамках исследования автоматизации пневматической системы перемешивания [6].

Актуальность настоящей работы определяется необходимостью представить конструкцию и алгоритм управления как единую инженерную систему и количественно сопоставить эксплуатационные результаты двух способов включения барботажа. Цель исследования – оценить эффективность автоматического временного управления пневматическим перемешиванием субстрата на основе экспериментальных данных установки БЭМ-100 и определить изменение удельного выхода биогаза относительно ручного режима.

**Материалы и методы**

Экспериментальная установка и пневматическая система перемешивания. Исследование выполнено на биогазовой установке БЭМ-100, работавшей в термофильном режиме при температуре 51–56 °C. В качестве сырья использовались пищевые отходы. В отдельных наблюдениях масса загружаемой порции составляла от 140 до 200 кг. Перед загрузкой сырье подвергалось измельчению для получения более однородной по структуре массы [7].

Пневматическая система включала биохимический реактор, водяной затвор, компрессор, ресивер, коллектор, приемную и раздаточную камеры, запорный вентиль, электромагнитный клапан и барботеры. Барботеры располагались в нижней части реактора и содержали перфорированные насадки, выполненные в горизонтальной плоскости в виде радиальных лучей. Биогаз из газового пространства реактора отбирался компрессором, проходил через элементы газовой линии, аккумулировался в ресивере и через коллектор подавался к барботерам [8].

Автоматическое управление. Для автоматизации подачи газа использовались электромагнитный клапан 2W-250-25 и реле времени DH-48S-S. Клапан выполнял функцию исполнительного элемента, а реле формировало сигнал на его открытие и закрытие. Управление осуществлялось

по заданной временной программе без использования обратной связи по расходу газа, давлению или температуре. Такой принцип соответствует разомкнутому управлению по времени и обеспечивает воспроизводимость циклов при неизменных настройках [9].

Экспериментальный автоматический режим задавался периодическим открытием электромагнитного клапана. В текстовом описании испытаний и в итоговой статистической обработке диссертационной работы указан интервал между включениями 4 ч 30 мин и продолжительность подачи биогаза 30 с [10]. В настоящей статье данный режим принят как экспериментальный параметр автоматического управления.

Таблица 1 – Основные характеристики реле времени DH-48S-S

| **Параметр** | **Значение** |
|---|---|
| Диапазон установки времени | 0,01–99,99 с |
| Режим счета | прямой |
| Режим работы | однократный |
| Относительная погрешность | ±1 % |
| Питание | 220 В, 50 Гц |
| Коммутационная способность | 1 реле, 5 А, 250 В |
| Индикация | четырехразрядный LED-индикатор |
| Рабочая температура | +5…+50 °C |
| Относительная влажность | 35–85 % |
| Габариты | 48 × 48 × 110 мм |
| Масса | не более 200 г |

Организация сравнения. Были рассмотрены две серии наблюдений: ручное включение пневматического перемешивания и автоматическое временное управление. При ручном режиме оператор выполнял барботаж в дневной период с 09:00 до 17:00 с интервалом около трех часов; в ночное время включение не осуществлялось. При автоматическом режиме циклы выполнялись по заданной временной программе независимо от присутствия оператора [11].

Для каждого наблюдения фиксировались масса загруженного сырья и суточный объем полученного биогаза. Удельный выход приводился к одной тонне сырья с использованием принятого в исходной экспериментальной методике коэффициента пересчета. Для отдельного наблюдения расчет можно представить выражением:

$$V_i = v_i \cdot k_i \quad (1)$$

где $V_i$ – приведенный выход биогаза, м³/т; $v_i$ – суточный объем биогаза, м³; $k_i$ – коэффициент приведения фактической массы загрузки к одной тонне.

Среднее значение для серии из n наблюдений рассчитывалось по формуле:

$$\bar{V} = (V_1 + V_2 + \ldots + V_n) / n \quad (2)$$

Абсолютное изменение определялось как разность средних значений автоматического и ручного режимов:

$$\Delta V = \bar{V}авт - \bar{V}руч \quad (3)$$

Относительное изменение по отношению к ручному режиму рассчитывалось как:

$$I = [(\bar{V}авт - \bar{V}руч) / \bar{V}руч] \cdot 100\,\% \quad (4)$$

Экспериментальные материалы содержат по восемь наблюдений для каждого режима. Статистическая значимость различий в настоящей работе не оценивалась, поскольку исходные материалы не содержат структуры независимых повторностей, необходимой для корректного применения критерия значимости.

**Результаты и обсуждение**

При ручном режиме включение барботажа зависело от рабочего времени оператора. Полученные значения удельного выхода биогаза представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты работы БЭМ-100 при ручном режиме перемешивания

| Сутки | Масса загрузки, кг | Коэффициент к 1 т | Суточный выход, м³ | Выход, м³/т |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 180 | 5,5 | 18,46 | 101,53 |
| 3 | 190 | 5,2 | 19,48 | 101,296 |
| 5 | 190 | 5,2 | 18,83 | 97,916 |
| 7 | 200 | 5,0 | 18,48 | 92,40 |
| 9 | 200 | 5,0 | 19,69 | 98,45 |
| 11 | 200 | 5,0 | 17,52 | 87,60 |
| 13 | 180 | 5,5 | 18,19 | 100,045 |
| 15 | 200 | 5,0 | 23,12 | 115,60 |

Сумма восьми значений удельного выхода при ручном режиме составила 794,837 м³/т. Средний удельный выход равен:

$$Vруч = 794{,}837 / 8 = 99{,}35 \text{ м}^3/\text{т} \quad (5)$$

Во второй серии включение пневматического перемешивания выполнялось автоматически по временной программе. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты работы БЭМ-100 при автоматическом режиме перемешивания

| Сутки | Масса загрузки, кг | Коэффициент к 1 т | Суточный выход, м³ | Выход, м³/т |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 180 | 5,5 | 14,56 | 80,08 |
| 3 | 180 | 5,5 | 21,00 | 115,50 |
| 5 | 200 | 5,0 | 27,93 | 139,65 |
| 7 | 180 | 5,5 | 22,39 | 123,145 |
| 9 | 150 | 6,6 | 17,02 | 112,332 |
| 11 | 170 | 5,8 | 25,93 | 150,394 |
| 13 | 170 | 5,8 | 23,04 | 133,632 |
| 15 | 140 | 7,1 | 21,18 | 150,378 |

Сумма приведенных значений автоматического режима составила 1005,11 м³/т, а средний удельный выход:

$$Vавт = 1005{,}11 / 8 = 125{,}63 \text{ м}^3/\text{т} \quad (6)$$

Абсолютное изменение среднего удельного выхода составило:

$$\Delta V = 125{,}63 - 99{,}35 = 26{,}28 \text{ м}^3/\text{т} \quad (7)$$

При использовании ручного режима как базового относительное изменение составляет:

$$I = [(125{,}63 - 99{,}35) / 99{,}35] \cdot 100\,\% = 26{,}45\,\% \quad (8)$$

Таблица 4 – Сравнительные показатели двух режимов

| Показатель | Ручной режим | Автоматический режим |
|---|---|---|
| Количество наблюдений | 8 | 8 |
| Средний удельный выход биогаза, м³/т | 99,35 | 125,63 |
| Абсолютное изменение, м³/т | – | +26,28 |
| Относительное изменение к ручному режиму, % | – | +26,45 |

В исходных диссертационных материалах итоговый эффект также обозначен как увеличение на 21 %. Вместе с тем приведенные там же средние значения 99,35 и 125,63 м³/т дают при нормировании на ручной режим 26,45 %. Поэтому в настоящей статье относительный прирост рассчитан непосредственно по экспериментальным средним и указан с явным выбором ручного режима в качестве базы сравнения [12].

Полученные данные показывают, что автоматизация изменила прежде всего организацию процесса: циклы барботажа выполнялись по фиксированной программе и перестали зависеть от присутствия оператора. Это соответствует общему направлению исследований периодического перемешивания, где повторяемость режима и снижение избыточной продолжительности работы перемешивающего оборудования рассматриваются как важные факторы устойчивой эксплуатации.

Результат согласуется с выводами исследований газового перемешивания анаэробных реакторов, согласно которым эффективность определяется не только интенсивностью воздействия, но и распределением газового потока, реологией субстрата и геометрией реактора. В исследуемой конструкции биогаз распределяется через систему радиальных перфорированных насадок, поэтому наблюдаемое изменение нельзя приписывать исключительно электромагнитному клапану или реле времени: эффект относится к работе комплекса «пневматическая система – газораспределительные элементы – временной алгоритм».

Преимуществом временного управления является простота реализации на стандартных промышленных компонентах. Одновременно фиксированный алгоритм имеет ограничение: он не адаптируется автоматически к изменению давления, расхода газа, температуры или свойств субстрата. Для дальнейшего развития системы целесообразно дополнить управление датчиками технологических параметров и оценить энергетические затраты на компримирование биогаза. Подобный подход соответствует современным работам, в которых оптимизация перемешивания рассматривается совместно с энергетическим балансом установки.

**Выводы**

В работе представлена инженерная схема автоматического управления пневматическим перемешиванием субстрата в биогазовой установке. В качестве рабочего газа используется биогаз, образующийся в процессе анаэробного сбраживания. Его подача к барботерам осуществляется через газовую магистраль с компрессором, ресивером, коллектором и электромагнитным клапаном, управляемым реле времени. Сравнение двух экспериментальных серий показало, что переход от ручного включения

к автоматическому временному режиму сопровождался увеличением среднего удельного выхода биогаза с 99,35 до 125,63 м³/т. Автоматизация также обеспечивает повторяемость циклов и снижает зависимость процесса от присутствия оператора. Результаты относятся к условиям установки БЭМ-100 и требуют дальнейшей проверки на других составах сырья и режимах эксплуатации.

**Выводы**

1. Реализован способ автоматического управления пневматическим перемешиванием, основанный на электромагнитном клапане 2W-250-25 и реле времени DH-48S-S.

2. При ручном режиме средний удельный выход биогаза по восьми наблюдениям составил 99,35 м³/т; при автоматическом режиме – 125,63 м³/т.

3. Абсолютное увеличение среднего удельного выхода составило 26,28 м³/т. При расчете относительно ручного режима относительное увеличение составило 26,45 %.

4. Применение временного управления обеспечивает воспроизводимую периодичность барботажа и может быть использовано как технически простое решение для малых и средних биогазовых установок. Перспективой дальнейших исследований является переход к управлению с обратной связью и прямое измерение энергозатрат на перемешивание.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Веденев А. Г., Веденева Т. А.** Биогазовые технологии. – г. Бишкек, 2017. – 97 с.

2 **Лаврентьев А. В.** Влияние выхода биогаза в различных режимах включения системы перемешивания субстанции в биогазовых установках // Евразийское научное объединение. – М., 2021. – № 1(71). – С. 112–114.

3 **Лаврентьев А. В., Веденев А. Г.** Автоматизация и управление процессом перемешивания сырья в реакторе биогазовой установки // Научный и информационный журнал «Материаловедение». – Бишкек, 2013. – № 2(3). – С. 261–263.

4 **Обозов А. Дж., Лаврентьев А. В.** Алгоритм программного управления режимом перемешивания сырья в метатенке биогазовой установки // Проблемы автоматики и управления. – 2021. – № 2(41). – С. 56–60.

5 **Веденев А. Г., Лаврентьев А. В.** Биогазовая установка: патент Кыргызской Республики № 1624; заявка № 20130081.1; заявл. 03.09.2013; опубл. 30.04.2014.

6 **Лаврентьев А. В.** Автоматизация пневматической системы перемешивания субстанции на биогазовой установке: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.08. – Бишкек : Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, 2021. – 134 с.

7 **Singh B., Szamosi Z., Siménfalvi Z.** Impact of mixing intensity and duration on biogas production in an anaerobic digester: a review. Critical Reviews in Biotechnology // Critical Reviews in Biotechnology. – 2020. – Vol. 40, No. 4. – P. 508–521. – https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1731413

8 **Zhang J., Mao L., Nithya K., Loh K.C., Dai Y., He Y., Tong Y.W.** Optimizing mixing strategy to improve the performance of an anaerobic digestion waste-to-energy system for energy recovery from food waste // Applied Energy. – 2019. – Vol. 249. – P. 28–36. – https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.142

9 **Bergamo U., Viccione G., Coppola S., Landi A., Meda A., Gualtieri C.** Analysis of anaerobic digester mixing: Comparison of long-shafted paddle mixing vs gas mixing // Water Science and Technology. – 2020. – Vol. 81, No. 7. – P. 1406–1419. – https://doi.org/10.2166/wst.2020.248

10 **Kujawiak S., Makowska M., Mazurkiewicz J.** The effect of hydraulic conditions in barbotage reactors on aeration efficiency // Water. – 2020. – Vol. 12, No. 3. – Art. 724. – https://doi.org/10.3390/w12030724

11 **Dabiri S., Noorpoor A., Arfaee M., Kumar P., Rauch W.** CFD modeling of a stirred anaerobic digestion tank for evaluating energy consumption through mixing // Water. – 2021. – Vol. 13, No. 12. – Art. 1629. – https://doi.org/10.3390/w13121629

12 **Wei P., Uijttewaal W., Spanjers H., van Lier J.B., de Kreuk M.** Optimising flow and mixing in a full-scale gas-mixed anaerobic digester by integrating sludge rheological data using computational fluid dynamics // Chemical Engineering Journal. – 2023. – Vol. 468. – Art. 143647. – https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.143647

## REFERENCES

1 **Vedenev A. G., Vedeneva T. A.** Biogazovyye tekhnologii [Biogas technologies]. – Bishkek, 2017. – 97 p.

2 **Lavrentyev A. V.** Vliyaniye vykhoda biogaza v razlichnykh rezhimakh vklyucheniya sistemy peremeshivaniya substantsii v biogazovykh ustanovkakh [Influence of biogas yield under different operating modes of the substrate mixing system in biogas plants] // Yevraziyskoye nauchnoye ob'yedineniye [Eurasian Scientific Association]. – Moscow, 2021. – № 1(71). – P. 112–114.

3 **Lavrentyev A. V., Vedenev A. G.** Avtomatizatsiya i upravleniye protsessom peremeshivaniya syr'ya v reaktore biogazovoy ustanovki [Automation and control of the feedstock mixing process in a biogas plant reactor] // Nauchnyy i informatsionnyy zhurnal «Materialovedeniye» [Scientific and Information Journal "Materials Science"]. – Bishkek, 2013. – № 2(3). – Pp. 261–263.

4 **Obozov A. Dzh., Lavrentyev A. V.** Algoritm programmnogo upravleniya rezhimom peremeshivaniya syr'ya v metatenke biogazovoy ustanovki [Algorithm of software control of the feedstock mixing mode in the methane tank of a biogas plant] // Problemy avtomatiki i upravleniya [Problems of Automation and Control]. – 2021. – № 2(41). – P. 56–60.

5 **Vedenev A. G., Lavrentyev A. V.** Biogazovaya ustanovka [Biogas plant]: Patent of the Kyrgyz Republic № 1624; application № 20130081.1; filed 03.09.2013; published 30.04.2014.

6 **Lavrentyev A. V.** Avtomatizatsiya pnevmaticheskoy sistemy peremeshivaniya substantsii na biogazovoy ustanovke [Automation of a pneumatic substrate mixing system in a biogas plant]. Candidate of Technical Sciences dissertation, specialty 05.14.08. – Bishkek : Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, 2021. – 134 p.

7 **Singh B., Szamosi Z., Siménfalvi Z.** Impact of mixing intensity and duration on biogas production in an anaerobic digester: a review. Critical Reviews in Biotechnology // Critical Reviews in Biotechnology. – 2020. – Vol. 40, No. 4. – P. 508–521. – https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1731413

8 **Zhang J., Mao L., Nithya K., Loh K.C., Dai Y., He Y., Tong Y.W.** Optimizing mixing strategy to improve the performance of an anaerobic digestion waste-to-energy system for energy recovery from food waste // Applied Energy. – 2019. – Vol. 249. – P. 28–36. – https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.142

9 **Bergamo U., Viccione G., Coppola S., Landi A., Meda A., Gualtieri C.** Analysis of anaerobic digester mixing: Comparison of long-shafted paddle mixing vs gas mixing // Water Science and Technology. – 2020. – Vol. 81, No. 7. – P. 1406–1419. – https://doi.org/10.2166/wst.2020.248

10 **Kujawiak S., Makowska M., Mazurkiewicz J.** The effect of hydraulic conditions in barbotage reactors on aeration efficiency // Water. – 2020. – Vol. 12, No. 3. – Art. 724. – https://doi.org/10.3390/w12030724

11 **Dabiri S., Noorpoor A., Arfaee M., Kumar P., Rauch W.** CFD modeling of a stirred anaerobic digestion tank for evaluating energy consumption through mixing // Water. – 2021. – Vol. 13, No. 12. – Art. 1629. – https://doi.org/10.3390/w13121629

12 **Wei P., Uijttewaal W., Spanjers H., van Lier J.B., de Kreuk M.** Optimising flow and mixing in a full-scale gas-mixed anaerobic digester by

integrating sludge rheological data using computational fluid dynamics // Chemical Engineering Journal. – 2023. – Vol. 468. – Art. 143647. – https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.143647

Поступило в редакцию 04.09.26.
Поступило с исправлениями 04.09.26.
Принято в печать 07.09.26.

**С. Ф. Починок[1], А. Дж. Обозов[2], А. В. Лаврентьев[3], А. Ю. Ромадин[4]*
[1]И. Раззаков атындағы Қырғыз мемлекеттік техникалық университеті,
Қырғыз Республикасы, Бішкек қ.;
[2,3]Қырғыз Республикасы Ұлттық ғылым академиясының
жаңартылатын энергия көздері зертханасы,
Қырғыз Республикасы, Бішкек қ.;
[4]«Ұлттық сараптау және сертификаттау орталығы»
АҚ Павлодар филиалы,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
04.09.26 ж. баспаға түсті.
04.09.26 ж. түзетулерімен түсті.
07.09.26 ж. басып шығаруға қабылданды.

## АНАЭРОБТЫ БИОРЕАКТОРДАҒЫ БАРБОТАЖДЫҚ АРАЛАСТЫРУ РЕЖИМДЕРІН БАСҚАРУ

*Жұмыста биогазды жұмыс ортасы ретінде пайдалана отырып, анаэробты биореактордағы субстратты барботаждық араластыру режимдерін автоматты басқару қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі анаэробты ашыту кезінде тұрақты және қайталанымды араластыру режимін қамтамасыз ету, сондай-ақ технологиялық процестің оператор әрекеттеріне тәуелділігін төмендету қажеттілігімен негізделген. Биогазды мерзімді түрде беруді автоматтандыру үшін пневматикалық жүйенің берілген уақыт бағдарламасы бойынша жұмыс істеуін қамтамасыз ететін 2W-250-25 электромагниттік клапаны және DH-48S-S уақыт релесі қолданылды.*

*Зерттеудің мақсаты субстратты пневматикалық араластыруды уақыт бойынша автоматты басқарудың тиімділігін бағалау және оның қолмен басқару режимімен салыстырғандағы биогаздың меншікті шығымына әсерін анықтау болып табылады.*

*Эксперименттік зерттеулер БЭМ-100 биогаз қондырғысында 51–56 °С температурада термофильді режимде жүргізілді.*

*Зерттеудің негізгі міндеттеріне барботаждық араластыру принципін талдау, биогаз беруді автоматты басқаруды іске асыру, жүйе жұмысының берілген мерзімділігін қамтамасыз ету және қолмен басқару мен автоматты режимдерді эксперименттік салыстыру кіреді. Автоматты режимде барботаж 4 сағ 30 мин аралықпен, биогазды беру ұзақтығы 30 с болған жағдайда жүзеге асырылды.*

*Сегіз бақылаудың нәтижелері бойынша қолмен басқару режиміндегі биогаздың орташа меншікті шығымы 99,35 м³/т, ал автоматты режимде 125,63 м³/т құрады. Абсолюттік өсім 26,28 м³/т, ал қолмен басқару режиміне қатысты салыстырмалы өсім 26,45 % болды. Алынған нәтижелер шағын және орта биогаз қондырғыларындағы пневматикалық араластыруды басқару жүйелерін әзірлеу және жаңғырту кезінде пайдаланылуы мүмкін.*

*Кілтті сөздер: анаэробты биореактор, биогаз қондырғысы, барботаждық араластыру, пневматикалық араластыру, автоматты басқару, электромагниттік клапан, уақыт релесі.*

**S. F. Pochinok[1], A. D. Obozov[2], A. V. Lavrentyev[3], A. Yu. Romadin[4]*
[1] I. Razzakov Kyrgyz State Technical University,
Kyrgyz Republic, Bishkek;
[2,3]Laboratory of Renewable Energy Sources,
National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic,
Kyrgyz Republic, Bishkek;
[4]Pavlodar Branch of JSC National Center
for Expertise and Certification,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar.
Received 04.09.26.
Received in revised form 04.09.26.
Accepted for publication 07.09.26.

## CONTROL OF GAS-SPARGING MIXING MODES IN AN ANAEROBIC BIOREACTOR

*The paper considers automatic control of barbotage mixing modes of the substrate in an anaerobic bioreactor using biogas as the working medium. The relevance of the study is determined by the need to ensure a stable and reproducible mixing regime during anaerobic digestion,*

*as well as to reduce the dependence of the technological process on operator actions. To automate the periodic supply of biogas, a 2W-250-25 solenoid valve and a DH-48S-S time relay were used, ensuring operation of the pneumatic system according to a preset timing program.*

*The purpose of the study is to evaluate the efficiency of automatic time-based control of pneumatic substrate mixing and to determine its effect on the specific biogas yield compared with the manual operating mode. Experimental studies were carried out on the BEM-100 biogas plant under thermophilic conditions at a temperature of 51–56 °C.*

*The main objectives of the study include analysis of the barbotage mixing principle, implementation of automatic biogas supply control, ensuring the specified periodicity of system operation, and experimental comparison of manual and automatic modes. In the automatic mode, barbotage was performed at intervals of 4 h 30 min with a biogas supply duration of 30 s.*

*According to the results of eight observations, the average specific biogas yield was 99.35 m³/t in the manual mode and 125.63 m³/t in the automatic mode. The absolute increase was 26.28 m³/t, while the relative increase compared with the manual mode was 26.45 %. The obtained results can be used in the development and modernization of pneumatic mixing control systems for small- and medium-scale biogas plants.*

*Keywords: anaerobic bioreactor, biogas plant, barbotage mixing, pneumatic mixing, automatic control, solenoid valve, time relay.*

Теруге 07.09.2026 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2026 ж. қол қойылды.
Электронды баспа
19,0 Mb RAM
Шартты баспа табағы 34,4. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген: Шукитова А. Б.
Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас
Тапсырыс № 4601

Сдано в набор 07.09.2026 г. Подписано в печать 30.09.2026 г.
Электронное издание
19,0 Mb RAM
Усл. печ. л. 34,4. Тираж 300 экз. Цена договорная.
Компьютерная верстка: Шукитова А. Б.
Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас
Заказ № 4601

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
67-36-69
E-mail: kereku@tou.edu.kz
www.vestnik-energy.tou.edu.kz