

Тип статьи: научная
УДК 631.171
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-2-47-54

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СХЕМ ПЛАВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ГАЗОГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА

*Анатолий Михайлович Шувалов*¹, *Алексей Николаевич Машков*²,
*Дмитрий Анатольевич Тихомиров*³

^{1,2} *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Российская Федерация*

¹ *vniitin@mail.ru*

³ *Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Российская Федерация*
³ *Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина, г. Москва, Российская Федерация*

³ *tihda@mail.ru*

Автор, ответственный за переписку: Анатолий Михайлович Шувалов, vniitin@mail.ru
Corresponding author: Anatoliy Shuvalov, vniitin@mail.ru

Реферат. Широкомасштабная газификация сельхозпредприятий, личных подсобных и фермерских хозяйств, для которых наиболее энергоёмкими процессами являются приготовление кормов, пищи, отопление домов, выявила необходимость автоматизации варочных котлов. Особенность работы варочных котлов связана с тем, что по мере нагрева содержимого варочной емкости до температуры кипения расход тепла уменьшается, а при закипании продукта расход тепла падает ниже 10%. Установлено, что отсутствие автоматической регулировки газа приводит к избыточному выделению тепла в атмосферу при сгорании газообразного топлива. Ранее был разработан газогорелочный блок на основе частично автоматического промышленно выпускаемого газогорелочного устройства типа АГУ-Т-М для варочных котлов, позволяющий регулировать расход газа пропорционально потребляемому тепловому потоку. Была поставлена задача разработать перспективную схему, которая позволит регулировать расход газа в варочном котле пропорционально потребляемому тепловому потоку. В данной статье приведено описание двух вариантов схем пропорционального регулирования расхода газа в варочном котле: первая – это усовершенствованная схема на базе автоматизированного газогорелочного устройства типа АГУ-Т-М; вторая – схема, разработанная на базе полупроводниковых модулей Пельтье, регулирующего соленоида с подвижкой. Дается оценка с указанием преимуществ и недостатков этих схем. Показано, что первая схема работоспособна и энергонезависима, её применение наиболее эффективно в отдалённых населенных пунктах, где наблюдаются частые перерывы в централизованном электроснабжении. Вторая схема соответствует последним достижениям научно-технического прогресса.

Ключевые слова: пропорциональное регулирование, газ, варочный котёл, потребляемый тепловой поток, теплота, полупроводниковые модули Пельтье.

COMPARATIVE EVALUATION OF SMOOTH POWER CONTROL SCHEME OF GAS BURNER DEVICE

*Anatoliy Shuvalov*¹, *Alexey Mashkov*², *Dmitriy Tikhomirov*³

^{1,2} *All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russian Federation*

¹ *vniitin@mail.ru*

³ *Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation*

³Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA named after K.I. Skryabin, Moscow, Russian Federation
³tihda@mail.ru

Abstract. Large-scale gasification of agricultural enterprises, personal subsidiary plots and farms, for which the most energy-intensive processes are the preparation of feed, food, and home heating, has revealed the need to automate digesters. The peculiarity of the operation of digesters is due to the fact that as the contents of the cooking container are heated to boiling temperature, the heat consumption decreases, and when the product boils, the heat consumption drops below 10%. It has been established that the lack of automatic gas control leads to excessive heat release into the atmosphere during the combustion of gaseous fuel. Previously, a gas burner unit was developed based on a partially automatic industrially produced gas burner device of the AGU-T-M type for digesters, which makes it possible to regulate gas flow in proportion to the consumed heat flow. The task was set to develop a promising scheme that would make it possible to regulate the gas flow in the digester in proportion to the consumed heat flow. This article describes two variants of schemes for proportional control of gas flow in a digester: the first is an improved scheme based on an automated gas burner device of the AGU-T-M type; the second is a circuit developed on the basis of Peltier semiconductor modules, a control solenoid with a gate valve. An assessment is given indicating the advantages and disadvantages of these schemes. It is shown that the first scheme is efficient and energy-independent; its use is most effective in remote settlements where there are frequent interruptions in the centralized power supply. The second scheme corresponds to the latest achievements of scientific and technological progress.

Keywords: proportional control, gas, digester, consumed heat flow, heat, Peltier semiconductor modules.

Для цитирования: Шувалов А.М., Машков А.Н., Тихомиров Д.А. Сравнительная оценка схем плавного регулирования мощности газогорелочного устройства // Наука в Центральной России. 2024. Т. 68, № 2. С. 47-54. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-2-47-54>.

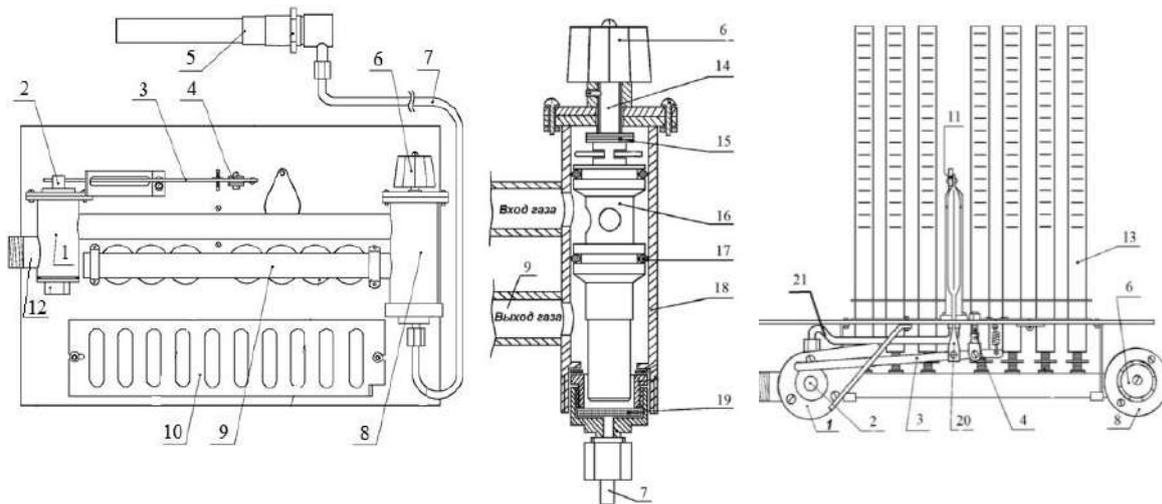
For citation: Shuvalov A., Mashkov A., Tikhomirov D. Comparative evaluation of smooth power control scheme of gas burner device. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2024; 68(2): 47-54. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-2-47-54>.

Введение. В серийно выпускаемых газоиспользующих варочных котлах предусмотрено ручное или двухступенчатое регулирование подачи газа [1]. В этом случае нельзя угадать подано теплоты много или мало. Если много подается газа, то перерасход теплоты, мало — увеличивается время разогрева. Если предусмотреть регулирование подачи газа пропорционально потребляемому тепловому потоку на разогрев продукции или воды (в дальнейшем содержимого), то эти недостатки исключаются [2].

Информационно-патентные исследования показали, что с учетом последних достижений науки и техники из существующих разработок можно извлечь множество автоматизированных средств для выполнения функций розжига, контроля пламени, продувки дымохода и обеспечения безопасности газовых горелок [3]. В то же время следует отметить, что пока не найдено новых, простых и совершенных решений автоматизации для регулирования теплового потока, потребляемого в варочном котле, пропорционально изменению температурного напора.

В связи с этим поставлена задача разработать простую, надежную и эффективную систему энергообеспечения варочного котла, способную пропорционально регулировать газовый поток.

Материалы методы исследований. В качестве основы для разработки котлов автоматического газоснабжения, реализующих принцип регулирования расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку, нами принято частично автоматическое газогорелочное устройство типа АГУ-Т-М, которое используется для отопительных котлов малой мощности и постоянно выпускается на заводе "МИМАКС". После частичной доработки АГУ-Т-М был разработан газогорелочный блок для варочных котлов [4-5], позволяющий регулировать расход газа пропорционально потребляемому тепловому потоку (рисунок 1).



1 – газовый клапан, 2 – кнопка газового клапана, 3 – рычаг, 4 – регулировочный винт,
 5 – термобаллон,
 6 – ручка управления, 7 – термодатчик, 8 – блок-кран, 9 – газораспределитель, 10 – воздушная заслонка, 11 – запальник, 12 – питающий газовый патрубок, 13 – основная горелка, 14 – винт, 15 – регулировочные шайбы, 16 – снаряд, 17 – уплотнительные резинки, 18 – корпус, 19 – мембрана термодатчика, 20 – термопластина запальника, 21 – газовый патрубок.

Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема плавного регулирования расхода газа с использованием реконструированного устройства АГУ-Т-М.

Система энергообеспечения, показанная на рисунке 1 работает следующим образом. Чтобы включить газовую горелку, нажимаем кнопку на газовом клапане. В этот момент газ из патрубка поступает в систему розжига через газовый клапан и газовый патрубок. Одновременно газ из газовой магистрали проходит через блок-кран. Перемещая регулировочный винт на блокирующем клапане с помощью ручки управления, газ проходит через газораспределитель основной горелки и поджигается запальником. На внутренней стенке варочной емкости находится термобаллон, заполненный технологической жидкостью. Когда температура внутри варочной емкости повышается, жидкость в термобаллоне расширяется, увеличивается в объеме и оказывает давление на мембрану через соединительную трубку, соединяющую термобаллон с блок-краном. В этом случае мембрана перемещается вверх, зазор уменьшается, скорость потока газа снижается пропорционально повышению температуры содержимого емкости для приготовления пищи, и зазор полностью закрывается. Если температура продукта снижается, например, если в варочный сосуд добавляется холодная вода или замороженное мясо, температура рабочей жидкости в термобаллоне снижается, давление в мембране уменьшается, мембрана смещается вниз, зазор увеличивается, и скорость потока газа в горелке, таким образом, увеличивается. Расход газа автоматически регулируется в зависимости от температуры в емкости для приготовления пищи.

Конструктивно – технологическая схема и вместе с ней само газогорелочное устройство АГУ-Т-М имеет следующие достоинства:

- может обеспечиваться работа котла без наличия электрической сети, так как конструкция газового клапана 1, кнопки газового клапана 2, рычага 3 и термопластина запальника 20 являются механическими частями и не требуют наличия датчиков контроля пламени, электродов розжига, электронных блоков управления.

- Расход газа может автоматически регулироваться в зависимости от потребляемого теплового потока.

Недостатки данного конструктивно-технического подхода заключаются в следующем:

- розжиг газогорелочного устройства осуществляется вручную.

- возможна аварийная ситуация утечки газа при поломке рычажных сочленений, что снижает надёжность работы.

Для устранения указанных недостатков в результате натурных испытаний было выявлено, что работоспособную, полностью автоматизированную и перспективную схему пропорционального регулирования расхода газа в варочном котле можно выполнить на базе полупроводниковых термоэлементов Пельтье [6, 7].

Известно, что термопары на основе полупроводниковых материалов используются в широком спектре по всему миру для измерения температуры в различных средах, а также в автоматических схемах для теплотехнических изделий.

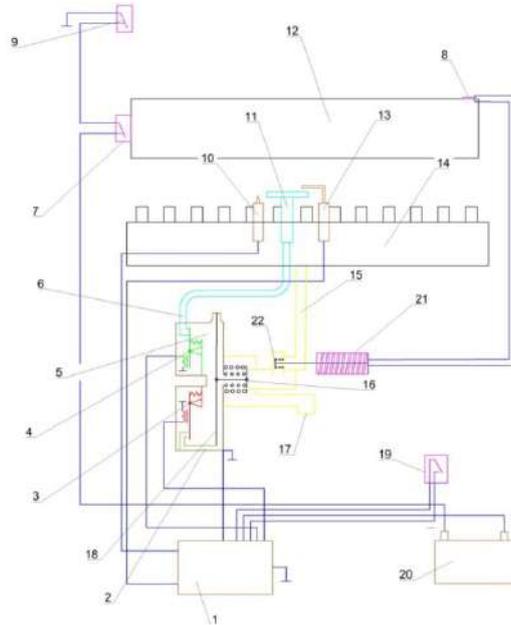
Однако из-за крайне низких значений тока термопары не подходят для управления потоком газа с помощью приводов прямого действия. В настоящее время доступны относительно недорогие и компактные модули с большим количеством полупроводниковых термопар: модуль типа ТЕС1-12706 содержит 127 термопар (рисунок 2). Они производятся в основном в Китае и частично в России [6].



Рисунок 2 – Термоэлектрические модули

Благодаря использованию этих модулей для выработки электроэнергии, а не тепла и холода, было разработано системное решение, которое регулирует поток газа пропорционально количеству тепла, потребляемого в газоиспользующем котле (рисунок 3). В этом случае модули электрически соединены друг с другом, образуя термоэлектрическую батарею. Разница температур между внутренней и внешней стенками каждого термоэлектрического модуля генерирует электрический сигнал, величина которого изменяется пропорционально температуре и давлению (разнице температур между паром и содержимым варочной емкости).

Таким образом, получается полностью автоматизированная система энергоснабжения варочного котла, энергетически независимая от центральной системы энергоснабжения, с пропорциональным потреблением газа и использованием нетрадиционных источников энергии (рисунок 3). Таким образом, варочный котел продолжает работать независимо от аварийных или периодических отключений центральной системы энергоснабжения.



1 – блок управления; 2 – газовый канал в замембранную область к управляющим клапанам; 3 – управляющий газовый клапан; 4 – управляющий газовый клапан к запальной горелке; 5 – замембранная область; 6 – газовый патрубок к запальной горелке; 7 – датчик перегрева воды; 8 - термоэлектрический элемент; 9 – датчик контроля тяги; 10 – электрод розжига; 11 – запальная горелка; 12 – теплообменник газ-жидкость; 13 – датчик контроля наличия пламени; 14 – основная горелка; 15 – газовый патрубок к основной горелке; 16 – газовый клапан к основной горелке; 17 – питающий газовый патрубок; 18 – эластичная мембрана; 19 – микровыключатель; 20 – аккумулятор; 21 – соленоид управляющего клапана; 22 – задвижка.

Рисунок 3 – Схема автоматизированного газогорелочного устройства с пропорциональным регулированием расхода газа.

Для подтверждения пропорциональности изменения напряжения на выходе полупроводниковых модулей от разности температуры был проведен опыт в лабораторных условиях. Результаты экспериментов представлены на графике (рисунок 4).

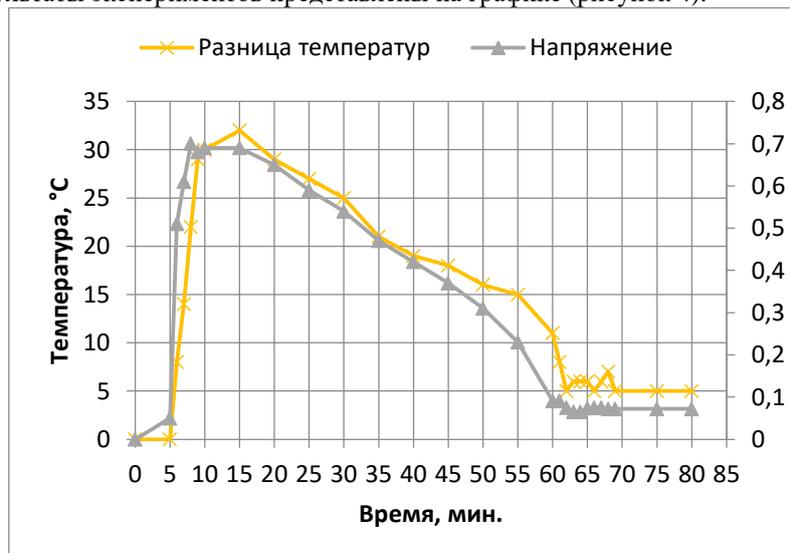


Рисунок 4 – Взаимосвязь напряжения модуля Пельтье и температуры на его поверхности.

Как видно из графика (рисунок 4), эта зависимость пропорциональна, поэтому разработка и применение системы энергообеспечения варочного котла с пропорциональным регулированием расхода газа вполне оправдана.

Особенностью системы является то, что термоэлектрический элемент, электромагнитный управляющий клапан и задвижка расположены между газовым клапаном и газовым патрубком основной горелки в корпусе газового блока.

Последовательность работы схемы (рис. 4) следующая. Вначале газ из патрубка подачи газа свободно проходит через газовый патрубок и нормально открытый регулирующий клапан в мембранную область регулирующего клапана. Газовый клапан основной горелки закрыт. Напряжение термоэлектрического элемента не подается на соленоид управляющего клапана, а задвижка, соединенная с ним металлическим штоком, находится в открытом положении под действием пружины. Когда микровыключатель активирован, газовая горелка запускается. Когда микровыключатель активирован и удерживается в закрытом положении, напряжение от батареи подается на блок управления, датчик перегрева и датчик вентиляции. Если датчики выключены и датчик пламени не подает напряжение на блок управления, блок управления подает напряжение на газовый клапан запальной горелки, клапан открывается, и газ поступает в запальную горелку. В то же время блок управления подает импульсное высокое напряжение на запальный электрод. Газ поступает в запальную горелку через газовый клапан, и газоздушная смесь воспламеняется. Блок управления обнаруживает, что произошло воспламенение, поскольку датчик пламени нагревается и подает напряжение на блок управления. Затем блок управления активирует нормально открытый газовый клапан и закрывает его. Клапан управления подачей газа к запальной горелке открывается, и весь газ, оставшийся в герметичной зоне, выходит и сгорает через газовый патрубок к запальной горелке. В этот момент давление в герметичной зоне падает ниже давления газа в патрубке подачи газа. Эта разница давлений заставляет газовый клапан основной горелки открыться, и газ поступает в основную горелку. Когда газ в герметичной зоне исчерпан, запальная горелка отключается, и блок управления отсоединяет газовый клапан запальной горелки. Газовый клапан основной горелки остается открытым в максимальном положении. Во время работы основная горелка нагревает как газожидкостный теплообменник, так и термоэлектрический элемент, установленный на его поверхности. За счет разницы температур между верхней и нижней поверхностями термоэлектрического элемента на его выходных контактах возникает напряжение; чем больше разница температур, тем выше уровень напряжения между контактами. Термоэлектрический элемент соединен проводом с электромагнитной катушкой управляющего клапана. Когда напряжение между контактами соленоида управляющего клапана изменяется, его сердечник (он же шток задвижки) начинает двигаться, преодолевая сопротивление пружины и закрывая задвижку. Зазор между задвижкой и газовым патрубком уменьшается. Разница температур между верхней и нижней поверхностями термоэлектрического элемента больше не увеличивается, движение управляющего клапана и штока электромагнитного клапана задвижки прекращается, и поток газа фиксируется в постоянном положении. При увеличении или уменьшении разности температур положение задвижки и поток газа изменяются пропорционально разности температур. Физические параметры задвижки, пружины и электромагнитного клапана подбираются таким образом, чтобы разница температур между верхней и нижней поверхностями термоэлектрического элемента соответствовала напряжению на электромагнитном клапане управления, когда нагретый продукт достигает температуры кипения. Зазор между задвижкой и газовым патрубком основной горелки минимизируется таким образом, чтобы через него проходило достаточное количество газа для обеспечения спокойного кипения продуктов в варочной емкости. Если срабатывает датчик вентиляции, датчик перегрева или микровыключатель, блок управления обесточивается, и регулирующий клапан возвращается в свое нормальное состояние (открытое или закрытое). В этом случае, как и в исходном положении, газ заполняет закрытое пространство, давление в закрытом пространстве и в линии подачи газа выравнивается, и газовый клапан основной горелки закрывается под действием силы пружины двухходового клапана. При такой схеме блок управления и газовый клапан выполняют функции розжига и безопасности. Функция управления потоком газа осуществляется исключительно

системой термоэлектрический элемент - электромагнитный клапан управления - задвижка. Преимуществами данной конструктивно-технологической схемы являются:

- в разработанной схеме отсутствует промежуточный усилитель сигнала. Это означает, что тепловой элемент на основе полупроводникового термоэлектрического модуля обеспечивает достаточное количество энергии без промежуточного звена для непосредственного управления регулирующим газовым клапаном. Это также повышает эксплуатационную надежность.

- отсутствие дополнительного расхода газа запальной горелкой;
- экономия газа за счет пропорционального регулирования
- увеличение надежности в результате применения термоэлектрических элементов, так как они не имеют движущихся частей.

Выводы.

1. Конструктивно-технологическая схема, выполненная на базе автоматизированного газогорелочного устройства АГУ-Т-М работоспособная, энергонезависимая. Её применение эффективно в большей степени в отдалённых населенных пунктах, где наблюдаются частые перемены в централизованном электроснабжении.

2. Автоматизированная система энергообеспечения варочного котла, выполненная на базе полупроводниковых нагревательных модулей Пельтье, соответствует последним достижениям научно-технического прогресса по обеспечению пропорционального регулирования расхода газа.

Список источников

1. Антуфьев, В.Т. Концепция совершенствования газовых пищеварочных котлов / В.Т. Антуфьев, М.А. Амосова // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищеварочных производств», 2007.

2. studwood.ru/1836286/tovarovedenie/opisanie_avtomatiki_bezopasnosti_regulirovaniya

3. Литвина Л.С. Фролова З.С. Тепловое оборудование общественного питания. – М.: Экономика, 1987. – 272 с.

4. Патент на изобретение. №2802383 РФ. СПК А47J 27/06. Котёл кормоварочный /Шувалов А.М., Машков А.Н., Чернов Д.С.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИТиН. Опубл. 04.09.2023. Бюл. №34.

5. Шувалов А.М., Машков А.Н., Тихомиров Д.А. Анализ теплоэнергетических процессов в системе энергообеспечения газоиспользующего кормоварочного котла // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2020. Т. 67. № 1 (38). - С. 71-77

6. Трунов С.С., Тихомиров Д.А. Термоэлектрическое осушение воздуха в сельскохозяйственных помещениях // Наука в центральной России. - 2018. -№2 (32). - С. 51-59.

7. В.Н. Белозерцев, С.О Некрасова, Д.В. Сармин, Д.А.Угланов. Определение основных характеристик термоэлектрического генератора: учебное пособие. –Самара: изд-во СГАУ, 2015. - 88с.

References

1. Antufiev, V.T. The concept of improving gas digester boilers / V.T. Antufiev, M.A. Amosova // Scientific journal of NRU ITMO. Series "Processes and apparatus of digestive production", 2007.

2. studwood.ru/1836286/tovarovedenie/opisanie_avtomatiki_bezopasnosti_regulirovaniya

3. Litvina L.S. Frolova Z.S. Thermal equipment for public catering. – M.: Economics, 1987. – 272 p.

4. Patent for an invention. No. 2802383 RF. SPK A47J 27/06. Feed boiler / Shuvalov A.M., Mashkov A.N., Chernov D.S.; applicant and patent holder FGBNU VNIITiN. Publ. 09/04/2023. Bull. No. 34.

5. Shuvalov A.M., Mashkov A.N., Tikhomirov D.A. Analysis of heat and power processes in the energy supply system of a gas-using feed boiler // Electrical technologies and electrical equipment in the agro-industrial complex. 2020. T. 67. No. 1 (38). - pp. 71-77

6. Trunov S.S., Tikhomirov D.A. Thermoelectric dehumidification of air in agricultural premises // Science in Central Russia. - 2018. -№2 (32). - pp. 51-59.

7. V.N. Belozertsev, S.O Nekrasova, D.V. Sarmin, D.A. Uglanov. Determination of the main characteristics of a thermoelectric generator: a tutorial. –Samara: SSAU publishing house, 2015. -88 p.

Информация об авторах

А.М. Шувалов - доктор технических наук, профессор; А. Н. Машков - кандидат технических наук; Д.А. Тихомиров – доктор технических наук, член-корреспондент РАН.

Information about the authors

A.Shuvalov – Full Doctor of technical sciences, Professor; A. Mashkov - Candidate of Technical Sciences; D. Tikhomirov – Full Doctor of technical sciences, corresponding member of RAS.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 01.04.2024 Принята к публикации (Accepted): 23.04.2024