

Научная статья

УДК 621.3.07

URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=181891>

УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВАКУУМНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ЗАТВОРОМ

**Виктор Васильевич Мартынов¹, Николай Александрович Шуневич²,
Эдуард Геннадьевич Синельников³✉, Михаил Владимирович Житный⁴**

^{1,2,3,4}Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского,

Санкт-Петербург, Россия

³yka@mil.ru✉

Аннотация. В статье обоснована необходимость создания пульта дистанционного управления для вакуумной системы ВС-1. Разработана электрическая схема управления вакуумными технологическими затворами. Обозначены преимущества внедрения передовой технологии.

Основной задачей автоматизации является управление электроприводами технологического затвора, обеспечивающего закрытие или открытие вакуумной затвора. Для выполнения этих операций затвор оснащён приводом, включающим трёхфазный асинхронный электродвигатель и редуктор.

Одной из важных задач, решенных в ходе модернизации, являлась задача использования в цепях пульта управления напряжения малой величины и развязки цепей пульта от силовых цепей управления электродвигателями вакуумного затвора.

В качестве основных элементов схемы управления были применены RS-триггеры и модуль, содержащий восемь релейных блоков, обеспечивающих надежное включение и отключение электроприводов затвора.

Предлагаемая конструкция была апробирована в ходе экспериментальных исследований, проводимых для проверки функционирования в вакууме прототипа экспериментального электрического ракетного двигателя.

Ключевые слова: вакуумная установка, автоматизированная система, вакуумный технологический затвор, схема

Для цитирования: Мартынов В.В., Шуневич Н.А., Синельников Э.Г., Житный М.В.

Устройство автоматизированного управления вакуумным технологическим затвором // Труды МАИ. 2024. № 137. URL:

<https://trudymai.ru/published.php?ID=181891>

Original article

AUTOMATED CONTROL DEVICE FOR VACUUM PROCESS VALVE

Victor V. Martynov¹, Nikolai A. Shunevich², Eduard G. Sinelnikov³✉,

Mikhail V. Zhitny⁴

Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky,

Saint Petersburg, Russia

³yka@mil.ru✉

Abstract. The article analyzes experimental studies of the functioning of spacecraft elements in a vacuum at the experimental installation of the Military Space Academy

named after. A.F. Mozhaisky, which is part of the VS-1 vacuum system. Based on the results of the analysis, as well as a study of the operating experience of such systems, an approach to organizing experimental research was proposed, based on the use of a single automated control panel to control the experimental installation. For the purpose of practical implementation of this technical solution in the control circuit of vacuum gates of an experimental vacuum installation, a modernized electrical circuit was developed, which is based on modern control principles and element base.

The basis for modernizing the electrical circuit of the vacuum valve drive is the technical solutions implemented in the control circuit of the vacuum process valve. An important task solved during the modernization was the task of using low voltage in the control panel circuits and decoupling the remote control circuits from the power control circuits of the vacuum shutter motors. The main elements of the control circuit were RS flip-flops and a module containing eight relay blocks that ensure reliable switching on and off of the gate electric drives.

The proposed technical solution was tested during experimental studies conducted to test the functioning of special structures in vacuum conditions. The main feature of this experiment was that the prototype was located in a separate volume (instrumental compartment), separated from the main vacuum chamber by a technological vacuum shutter with an electric drive.

The implementation of this scheme allows: – reduce personnel labor costs for operations during plant startup and inspections during its operation; – increase the safety of work on a vacuum installation by isolating the control loop of the power elements of the installation;

– increase the reliability of the installation by organizing control over critical parameters of equipment operation and its automatic disconnection from the system.

This solution makes it possible to manipulate the sample under study without losing the required vacuum level in the main vacuum chamber, which ensures that when the vacuum shutter is opened, the required vacuum in the instrument compartment is quickly achieved.

Keywords: vacuum installation, automated system, vacuum process valve, diagram

For citation: Martynov V.V., Shunevich N.A., Sinelnikov E.G., Zhitny M.V. Automated control device for vacuum process valve. *Trudy MAI*, 2024, no. 137. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=181891>

Введение

В процессе активного существования космического аппарата (КА) на него воздействуют различные факторы внешней среды, непосредственно влияющие на его способность выполнять задачи в соответствии с целевым предназначением. Некоторые из этих факторов обусловлены нахождением КА в вакууме. Прогнозирование результатов воздействия данных факторов основывается на результатах экспериментальных исследований, проводимых в лабораторных условиях. Такие исследования являются обязательным условием для проведения валидации моделей функционирования КА в вакууме.

Основным средством проведения экспериментальных исследований функционирования элементов КА в вакууме являются вакуумные установки. В

Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского в качестве такой экспериментальной установки применяется вакуумная система ВС-1[1].

В состав вакуумной системы ВС-1 входят следующие основные элементы:

- вакуумная установка ВК-М;
- вакуумная установка ВК-Б;
- централизованная форвакуумная система (ЦФС);
- система трубопроводов с запорными вентилями и затворами;
- манометрические преобразователи контроля вакуума.

Проведение экспериментов с использованием вакуумных установок требует значительных затрат, связанных с потреблением материальных, энергетических ресурсов. Кроме того, особенности работы оборудования приводят к значительным трудозатратам на выполнение операций в процессе запуска, останова системы и контроля функционирования узлов в ходе проведения испытаний.

Проводимые в течении ряда лет экспериментальные исследования на вакуумной установке сформировали ряд необходимых изменений в ее конструкции, одним из которых является создание автоматизированной системы контроля за ее параметрами, с возможностью выведения контролируемых параметров на пульт управления оператора и возможностью дистанционного управления работой основного оборудования.

Управление вакуумным технологическим затвором

На основе анализа опыта эксплуатации подобных систем и возможностей модернизации конкретного оборудования был предложен подход, который основан

на организации централизованного автоматизированного пульта управления. На него, в режиме реального времени, выводятся параметры вакуума в различных точках системы. Кроме того, оператор с помощью данного пульта может осуществлять управление вакуумными технологическими затворами в системе.

Основной задачей автоматизации является управление электроприводами технологического затвора, обеспечивающего закрытие или открытие вакуумной затвора. Для выполнения этих операций затвор оснащён приводом, включающим трёхфазный асинхронный электродвигатель и редуктор. Электрическая схема используемого варианта управления электродвигателем затвора представлена на рис. 1.

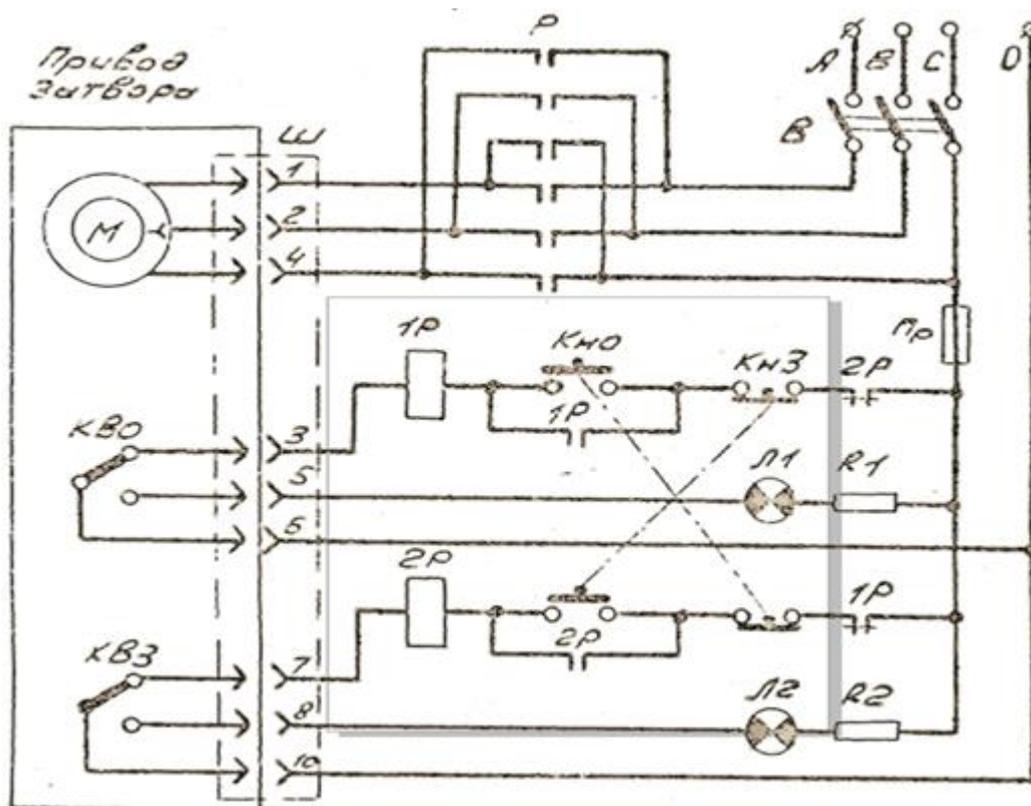


Рис. 1 Электрическая схема управления затвором

Открытие заслонки затвора производится вращением вала электродвигателя по часовой стрелке, закрытие – против часовой стрелки.

Схема управления состоит из цепей питания электродвигателя и цепей управления. Напряжение на обмотку статора электродвигателя поступает через контакты автоматического выключателя В и контакты реверсивного магнитного пускателя Р. Открытие затвора производится путём нажатия на кнопку КнО. При этом срабатывает пускатель 1Р и включает электродвигатель (вращение ротора по часовой стрелке) – затвор открывается. Закрытие затвора производится путём нажатия на кнопку КнЗ. При этом срабатывает пускатель 2Р и включает электродвигатель (вращение ротора против часовой стрелки) – затвор закрывается. Выключение электродвигателя при отработке обеих операций осуществляется автоматически при срабатывании конечных выключателей КвО, либо КвЗ. Фактическое положение заслонки затвора отображается соответствующей контрольной лампой.

Основными недостатками существующей схемы являются следующие:

1. Устаревшая элементная база, связанные с этим естественный износ отдельных элементов и трудности их возможной замены.
2. Повышенное энергопотребление схемы управления.
3. Присутствие в цепях управления напряжения 220 В, что влияет на безопасность эксплуатации оборудования и накладывает соответствующие требования к квалификации эксплуатирующего персонала.

Электрическая схема с новыми принципами управления и с современной элементной базой

В результате проведенного анализа существующей схемы управления вакуумным затвором была разработана модернизированная электрическая схема (рис. 2), в основу которой положены современные принципы управления и элементная база. С целью минимизации вмешательства в конструкцию изделия элементы привода затвора, входящие в его состав, см. рис. 1 (электродвигатель, конечные выключатели и штепсельный разъём) не подверглись замене. Основу модернизации электрической схемы привода вакуумной затвора составили технические решения, реализованные в цепи управления вакуумным технологическим затвором.

Одной из важных задач, решенных в ходе модернизации, являлась задача использования в цепях пульта управления напряжения малой величины и развязки цепей пульта от силовых цепей управления электродвигателями вакуумного затвора.

В качестве основных элементов схемы управления были применены RS-триггеры и модуль, содержащий восемь релейных блоков, обеспечивающих надежное включение и отключение электроприводов затвора.

Питание электродвигателя осуществляется через автоматический выключатель В, выполняющий, кроме того, защиту цепей от перегрузки, а также короткого замыкания. Цепи управления питаются через предохранитель Пр1 низковольтным напряжением (5 В). С учетом низкого энергопотребления

целесообразно организовать питание через USB-разъём компьютера, используемого в системе управления всей вакуумной установкой.

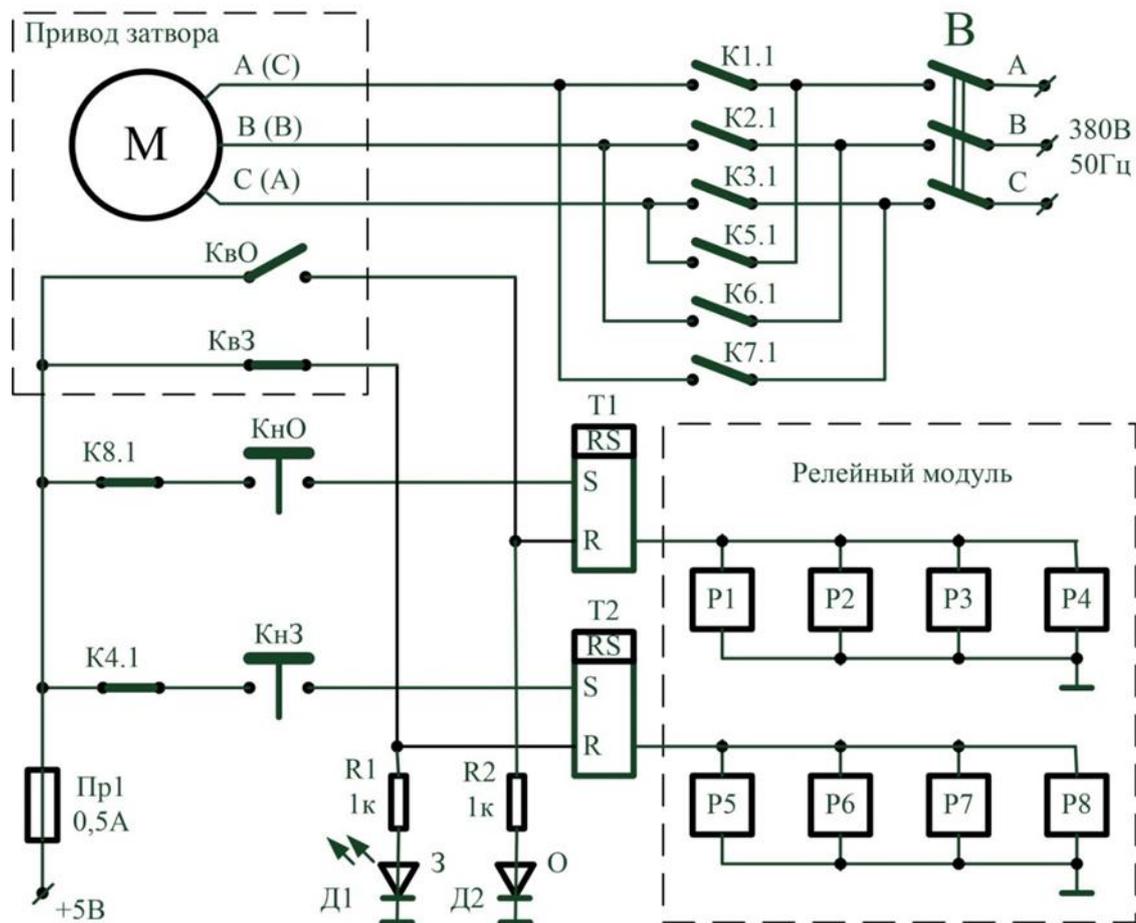


Рис. 2 Электрическая схема управления вакуумным технологическим затвором

В исходном состоянии, например заслонка закрыта, выключатель КВО – разомкнут, КВЗ – замкнут и горит светодиод З, на выходах триггеров присутствует уровень логического 0 – все релейные блоки выключены. Для открытия затвора нажимают кнопку КН0. На входе S триггера Т1 появляется уровень логической 1, а на входе R – 0. При этом на выходе триггера Q появляется управляющий сигнал с уровнем логической 1 (таблица), который включает релейные блоки Р1-Р4. Силовые

контакты релейных блоков Р1-Р3 замыкаются и коммутируют цепи питания электродвигателя, а блока Р4 – размыкаются, нейтрализуя использование кнопки КнЗ.

Таблица

Таблица истинности работы RS-триггера

№	Вход триггера (S)	Вход триггера (R)	Выход триггера (Q)	Режим
1	0	0	Предыдущее	Хранение
2	0	1	0	Сброс
3	1	0	1	Установка 1
4	1	1	0	Запрещён

С началом задействования привода размыкается конечный выключатель КвЗ, светодиод З выключается. В процессе открытия затвора на входах триггера Т2 присутствует сочетание логических 0 и 0. В соответствии с табл. 1 на его выходе Q сохранится предыдущее состояние – уровень логического 0, а значит релейные блоки Р5-Р8 – не включены.

На заключительной стадии отработки привода происходит замыкание конечного выключателя КвО, включение светодиода О. На входе R триггера Т1 появляется сигнал сброса. При сочетании на входах триггера логических уровней 0 и 1 (см. табл. 1) происходит выключение релейных блоков Р1-Р4, прекращение работы электродвигателя и разблокирование кнопки КнЗ. Схема переходит во второе исходное состояние – открыто. При осуществлении операции закрытия схема работает аналогичным образом.

Экспериментальная апробация предлагаемого решения и направления дальнейшей модернизации

Предлагаемая конструкция была апробирована в ходе экспериментальных исследований, проводимых для проверки функционирования в вакууме прототипа экспериментального электрического ракетного двигателя. Основной особенностью реализации данного эксперимента, являлось нахождение прототипа в отдельном объеме (инструментальном отсеке), отделенном от основной вакуумной камеры технологическим вакуумным затвором с электрическим приводом. Такое решение позволяет проводить манипуляции с исследуемым образцом без потери требуемого уровня вакуума в основной вакуумной камере, что обеспечивает при открытии вакуумного затвора быстрое достижения требуемого разряжения в инструментальном отсеке. Управление электроприводом вакуумного затвора, осуществлялось на основе модернизированной схемы управления. Анализ контролируемых в ходе эксперимента параметров показал, что предложенная техническая реализация задачи автоматизации управления вакуумным затвором работоспособна и способна обеспечить требуемые эксплуатационные значения.

В качестве направления дальнейшей модернизации вакуумной системы ВС-1, реализуемой на основе принципа автоматизации управления процессом вакуумирования, целесообразно рассматривать объединение в единую цепь контроля и управления всех электроприводов вакуумных затворов вакуумной

системы, с целью синхронизации их работы, обеспечения выведения вакуумной системы в безопасный режим в случае возникновения аварийных ситуаций и вывода контролируемой информации о состоянии системы на единый пульт.

Заключение

Таким образом, реализация данной схемы позволяет:

– уменьшить трудозатраты персонала на проведение операций при пуске установки и проведении осмотров в процессе ее работы;

– повысить безопасность работы на вакуумной установке за счет изоляции контура управления силовыми элементами установки;

– повысить надежность установки за счет организации контроля за критическими параметрами работы оборудования и его автоматического отключения от системы.

Список источников

1. Попов И.П. Механический аккумулятор энергии с характеристиками конденсатора // Труды МАИ. 2024. № 134. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=178458>

2. Седельников А.В., Сердакова В.В., Николаева А.С. Проверка адекватности приближённых аналитических зависимостей для прогиба тонкой однородной пластины при температурном ударе // Труды МАИ. 2024. № 134. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=178459>

3. Добрышкин А.Ю., Сысоев О.Е., Сысоев Е.О. Экспериментальная проверка характеристик колебаний композитной цилиндрической тонкостенной оболочки с

- ребром жесткости // Труды МАИ. 2024. № 134. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=178460>
4. Шарунов А.В. Численное моделирование процесса предварительного деформирования толстостенной муфты из сплава с памятью формы // Труды МАИ. 2024. № 134. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=178461>
5. Хоа В.Д., Зверьев Е.М., Пыхтин А.В. Напряженно-деформированное состояние тонкой прямоугольной полосы при температурном воздействии // Труды МАИ. 2024. № 134. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=178880>
6. Гончарова В.И. Параметрический синтез нелинейной системы автоматического управления с распределенными параметрами // Труды МАИ. 2024. № 134. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=178476>
7. Ватаева Е.Ю. Параметрический синтез маломощной потенциометрической следящей системы // Труды МАИ. 2024. № 134. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=178477>
8. Макеев П.А., Чермошенцев С.Ф. Апробация методики автоматизированного размещения элементов на гибко-жесткой печатной плате на практических примерах // Труды МАИ. 2024. № 134. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=178481>
9. Барановский А.М., Мусиенко А.С., Шулика Н.Р. Алгоритм поиска дефектов типа «короткое замыкание» в электрических цепях кабельной сети сложной автоматизированной системы // Труды МАИ. 2023. № 133. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=177670>

10. Пронина П.Ф. Аналитическое моделирование теплопереноса в элементах экранно-вакуумной теплоизоляции // Труды МАИ. 2023. № 130. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=174599>. DOI: [10.34759/trd-2023-130-04](https://doi.org/10.34759/trd-2023-130-04)
11. Дорожко И.В., Мусиенко А.С., Сундиев Д.С. Имитационная модель, связывающая показатели надежности с показателями тестового и функционального контроля технических систем // Труды МАИ. 2023. № 130. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=174618>. DOI: [10.34759/trd-2023-130-19](https://doi.org/10.34759/trd-2023-130-19)
12. Касатиков Н.Н., Фадеева А.Д., Брехов О.М. Мультиагентная система для контроля объектов энергетического комплекса // Труды МАИ, 2023, № 130, URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=174622>. DOI: [10.34759/trd-2023-130-23](https://doi.org/10.34759/trd-2023-130-23)
13. Письмаров А.В. К вопросу прогнозирования предела выносливости резьбовых деталей с поверхностным упрочнением // Труды МАИ. 2023. № 129. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=173003>. DOI: [10.34759/trd-2023-129-03](https://doi.org/10.34759/trd-2023-129-03)
14. Абдали Л.М., Якимович Б.А., Сяктерева В.В., Кувшинов В.В., Морозова Н.В. Оптимизация системы автоматического управления точкой максимальной мощности для ветро-солнечной генерирующей установки с накопителями энергии // Труды МАИ. 2023. № 129. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=173037>. DOI: [10.34759/trd-2023-129-24](https://doi.org/10.34759/trd-2023-129-24)
15. Кулешов А.С. О приведении некоторых систем классической механики к системам Лиувилля // Труды МАИ. 2023. № 128. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=171383>. DOI: [10.34759/trd-2023-128-02](https://doi.org/10.34759/trd-2023-128-02)

16. Елисеев А.В., Кузнецов Н.К., Миронов А.С. Карты динамических инвариантов в оценке режимов движений механических колебательных систем // Труды МАИ. 2023. № 128. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=171386>. DOI: [10.34759/trd-2023-128-05](https://doi.org/10.34759/trd-2023-128-05)
17. Копейка Е.А., Вербин А.В. Методический подход оценивания вероятности безотказной работы сложных технических систем с учетом характеристик системы контроля на основе байесовской сети доверия // Труды МАИ. 2023. № 128. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=171411>. DOI: [10.34759/trd-2023-128-22](https://doi.org/10.34759/trd-2023-128-22)
18. Лебедев Е.Л., Репин А.О. Метод акустико-эмиссионного контроля контактного взаимодействия элементов подшипников качения при оценивании правильности ресурсной сборки шарикоподшипниковых опор как трибологической системы роторов силовых гироскопов // Труды МАИ. 2022. № 126. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=168994>. DOI: [10.34759/trd-2022-126-08](https://doi.org/10.34759/trd-2022-126-08)
19. Гончаров П.С., Копейка А.Л., Бабин А.М. Методика экспериментального моделирования воздействия излучения плазмы электрического ракетного двигателя на солнечные элементы // Труды МАИ. 2022. № 126. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=168995>. DOI: [10.34759/trd-2022-126-09](https://doi.org/10.34759/trd-2022-126-09)
20. Поляков П.О., Шестеркин П.С. Численное моделирование демпфирующих покрытий // Труды МАИ. 2022. № 126. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=168998>. DOI: [10.34759/trd-2022-126-12](https://doi.org/10.34759/trd-2022-126-12)
21. Гончаров П.С., Кулешов Ю.В., Мартынов В.В., Цыбин О.Ю., Шуневич Н.А. Вакуумная установка для огневых испытаний электрических ракетных двигателей //

Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. 2019. Вып. 668. С. 216–223.

References

1. Popov I.P. *Trudy MAI*, 2024, no. 134. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=178458>
2. Sedel'nikov A.V., Serdakova V.V., Nikolaeva A.S. *Trudy MAI*, 2024, no. 134. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=178459>
3. Dobryshkin A.Yu., Sysoev O.E., Sysoev E.O. *Trudy MAI*, 2024, no. 134. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=178460>
4. Sharunov A.V. *Trudy MAI*, 2024, no. 134. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=178461>
5. Khoa V.D., Zveryaev E.M., Pykhtin A.V. *Trudy MAI*, 2024, no. 134. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=178880>
6. Goncharova V.I. *Trudy MAI*, 2024, № 134. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=178476>
7. Vataeva E.Yu. *Trudy MAI*, 2024, no. 134. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=178477>
8. Makeev P.A., Chermoshentsev S.F. *Trudy MAI*, 2024, no. 134. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=178481>
9. Baranovskii A.M., Musienko A.S., Shulika N.R. *Trudy MAI*, 2023, no. 133. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=177670>

10. Pronina P.F. *Trudy MAI*, 2023, no. 130. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=174599>. DOI: [10.34759/trd-2023-130-04](https://doi.org/10.34759/trd-2023-130-04)
11. Dorozhko I.V., Musienko A.S., Sundiev D.S. *Trudy MAI*, 2023, no. 130. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=174618>. DOI: [10.34759/trd-2023-130-19](https://doi.org/10.34759/trd-2023-130-19)
12. Kasatikov N.N., Fadeeva A.D., Brekhov O.M. *Trudy MAI*, 2023, no. 130, URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=174622>. DOI: [10.34759/trd-2023-130-23](https://doi.org/10.34759/trd-2023-130-23)
13. Pis'marov A.V. *Trudy MAI*, 2023, no. 129. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=173003>. DOI: [10.34759/trd-2023-129-03](https://doi.org/10.34759/trd-2023-129-03)
14. Abdali L.M., Yakimovich B.A., Syaktereva V.V., Kuvshinov V.V., Morozova N.V. *Trudy MAI*, 2023, no. 129. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=173037>. DOI: [10.34759/trd-2023-129-24](https://doi.org/10.34759/trd-2023-129-24)
15. Kuleshov A.S. *Trudy MAI*. 2023. № 128. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=171383>. DOI: [10.34759/trd-2023-128-02](https://doi.org/10.34759/trd-2023-128-02)
16. Eliseev A.V., Kuznetsov N.K., Mironov A.S. *Trudy MAI*, 2023, no. 128. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=171386>. DOI: [10.34759/trd-2023-128-0517](https://doi.org/10.34759/trd-2023-128-0517)
17. Kopeika E.A., Verbin A.V. *Trudy MAI*, 2023, no. 128. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=171411>. DOI: [10.34759/trd-2023-128-22](https://doi.org/10.34759/trd-2023-128-22)
18. Lebedev E.L., Repin A.O. *Trudy MAI*, 2022, no. 126. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=168994>. DOI: [10.34759/trd-2022-126-08](https://doi.org/10.34759/trd-2022-126-08)
19. Goncharov P.S., Kopeika A.L., Babin A.M. *Trudy MAI*, 2022, no. 126. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=168995>. DOI: [10.34759/trd-2022-126-09](https://doi.org/10.34759/trd-2022-126-09)

20. Polyakov P.O., Shesterkin P.S. *Trudy MAI*, 2022, no. 126. URL: <https://trudymai.ru/eng/epublished.php?ID=168998>. DOI: [10.34759/trd-2022-126-12](https://doi.org/10.34759/trd-2022-126-12)
21. Goncharov P.S., Kuleshov Yu.V., Martynov V.V., Tsybin O.Yu., Shunevich N.A. *Trudy Voенно-kosmicheskoi akademii imeni A.F.Mozhaiskogo*, 2019, no. 668, pp. 216–223.

Статья поступила в редакцию 24.05.2024

Одобрена после рецензирования 28.05.2024

Принята к публикации 28.08.2024

The article was submitted on 24.05.2024; approved after reviewing on 28.05.2024; accepted for publication on 28.08.2024