

Научная статья
УДК 625.7/8

Экспресс-метод контроля степени уплотнения грунтов

Андрей Владимирович Илюхин¹, Сергей Вячеславович Борисов²,
Яков Васильевич Лазукин³

^{1,2,3} Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Россия

¹aviluhin@mail.ru

²sv-brisov@mail.ru

³jackerneet@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрен экспресс-метод контроля степени уплотнения грунта, который основан на определении энергии, затрачиваемой на уплотнение грунта. В случае применения уплотняющего агрегата ДЭТ-250М – ПВК-70ЭА в основу метода может быть положено измерение электроэнергии, потребляемой электрическим вибротрамблером за определенный период времени. Сравнению подлежит текущее значение потребляемой электроэнергии, со значением за предыдущий период. Рассматриваемый метод может быть реализован при использовании челночной схемы движения уплотняющего агрегата, который позволяет снизить потери времени на перемещение уплотняющей техники с одной полосы на другую. Данный метод позволяет автоматизировать контроль степени уплотнения грунта, не требует остановки земляных работ на время выполнения измерений и тем самым позволяет сократить трудозатраты и время выполнения земляных работ.

Ключевые слова: экспресс-метод уплотнения грунта, сочлененный уплотняющий агрегат, челночная схема движения, курсовая устойчивость.

Для цитирования: Илюхин А.В., Борисов С.В., Лазукин Я.В. Экспресс-метод контроля степени уплотнения грунтов // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2023. №2 (36).

Original article

Express method for control of soil compaction degree

Andrey V. Ilyukhin¹, Sergey V. Borisov², Yakov V. Lazukin³

^{1,2,3} Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia,
Moscow, Russia

¹aviluhin@mail.ru

²sv-brisov@mail.ru

³jackerneet@gmail.com

Abstract. The article considers an express method for controlling the degree of soil compaction based on the amount of energy expended on compaction by an articulated compacting unit DET-250M - PVK-70EA. The compacting unit itself, the schemes of its movement along the working site and their features were studied, the most suitable scheme of movement was chosen. Also, the possibility of fully automating the workflow for soil compaction due to the provision of directional stability and with the help of devices that measure the path and analyze the density of the soil is considered. The device and its functional scheme, which determines the degree of soil compaction, is studied, which is based on the considered express method.

Keywords: express soil compaction method, articulated sealing unit, shuttle movement scheme, stability of course.

For citation: Ilyukhin A.V., Borisov S.V., Lazukin Ya.V. Express method for control of soil compaction degree. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2023. №2 (36).

Введение

Долговечность автомобильных дорог напрямую зависит от качества земляных работ, выполненных при их строительстве. Для обеспечения должного качества земляных работ требуется строгий контроль уплотнения грунта, который реализуется путем организации контрольных постов и полевых лабораторий на рабочих площадках [1]. Этот контроль может проводиться с использованием различных методов. Существующие методы с одной стороны обеспечивают высокую точность измерения, а с другой стороны имеют ряд недостатков, включая высокую трудоёмкость и длительность измерений, использование источника радиации (радиационный гаммаскопический метод и метод рассеянного гамма-излучения), необходимость остановки выполнения работ на время измерения [2]. В данной статье рассматривается метод контроля, который лишен вышеуказанных недостатков. Этот метод может быть реализован путем применения сочленённого уплотняющего агрегата, который описан ниже.

Сочленённый уплотняющий агрегат ДЭТ-250М – ПВК-70ЭА

Сочленённый уплотняющий агрегат ДЭТ-250М – ПВК-70ЭА, используемый для уплотнения грунта, состоит из виброкатка ПВК-70ЭА,

трактора ДЭТ-250М и сцепного устройства, которое обеспечивает курсовую устойчивость во время движения.

Виброкаток ПВК-70ЭА представляет собой прицепное устройство, на раме которого установлен гладкий вальц диаметром 180 см и длиной 240 см. В передней части катка расположены электродвигатель мощностью 120 кВт и редуктор [3]. Трактор ДЭТ-250М используется в качестве тягача. Тягач и каток соединены уникальным сцепным устройством, разработанным кафедрой «Автоматизация производственных процессов» МАДИ, что обеспечивает курсовую устойчивость уплотняющего агрегата. Это повышает эффективность уплотнения, позволяет автоматизировать работу агрегата и обеспечивает возможность применения рассмотренного ниже метода контроля степени уплотнения грунта [4].

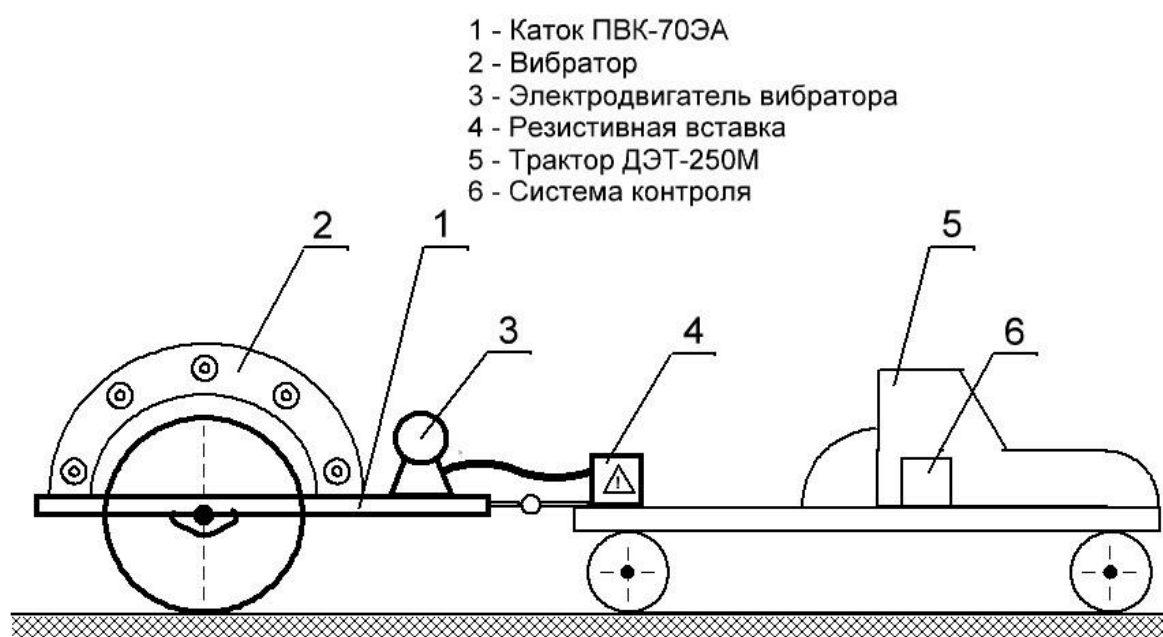


Рис. 1. Схема сочленённого уплотняющего агрегата ДЭТ-250М – ПВК-70ЭА

Схема движения агрегата

Уплотняющие агрегаты обеспечивают заданную плотность грунта непрерывно передвигаясь по рабочей площадке по специальным схемам движения. Наиболее распространёнными в транспортном и

гидроэнергетическом видах строительства являются эллиптическая и челночная схемы непрерывного уплотнения грунтов.

Эллиптическая схема уплотнения грунтов представляет собой круговое движение уплотняющего агрегата по рабочей площадке. В случае транспортного строительства во время проведения земляных работ уплотнение производится по кругу от обочин к оси. При этом число проходов уплотняющих агрегатов по одному кольцу определяется при помощи экспериментального уплотнения, а конечная плотность может не соответствовать расчётным показателям после реализации заданного числа проходов по одному кольцу. Также следует учитывать ограничения на скорость движения, которые определяются конструктивными особенностями используемой техники.

Опытным путем установлено, что время движения уплотняющей техники на разворотах достигает 20 % от общего времени работы агрегата на карте уплотнения, а в этом режиме движения существует риск недостаточного уплотнения грунта, что приводит к необходимости выполнения дополнительных проходов[5].

Перечисленные недостатки снижают эффективность применения эллиптической схемы уплотнения грунта и не дают возможности полноценно автоматизировать весь процесс уплотнения грунта.

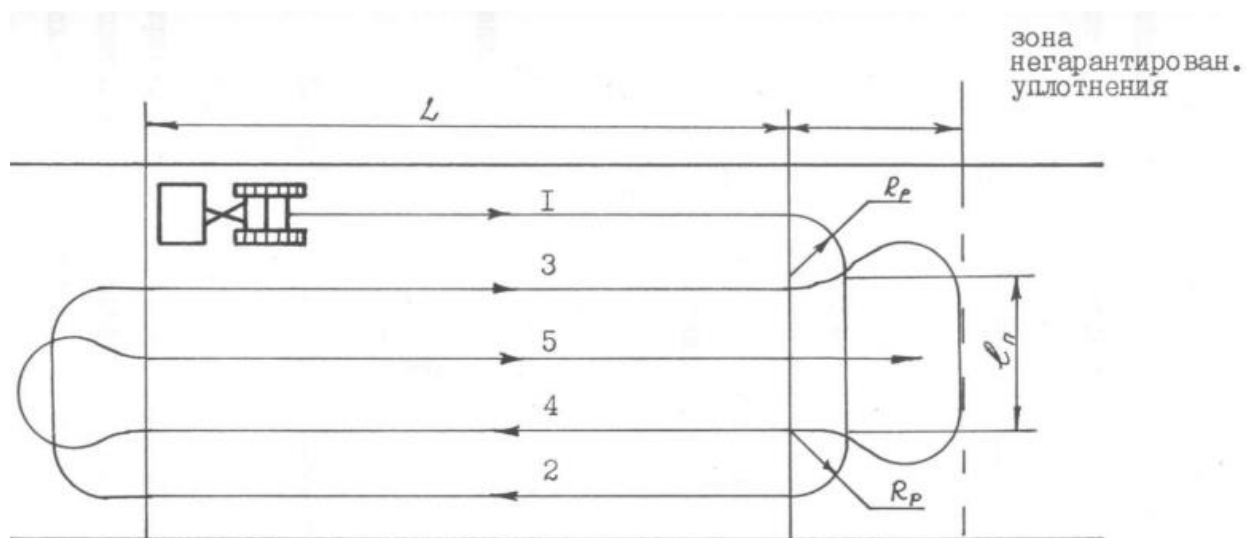


Рис. 2. Эллиптическая схема непрерывного уплотнения грунта

Челночная схема уплотнения грунта отличается тем, что меньше зависит от топографии рабочих площадок. При челночной схеме уплотняющий агрегат совершает возвратно-поступательные движения по одной полосе до тех пор, пока не будут достигнуты заданные параметры плотности грунта, после чего производится боковое смещение агрегата на соседнюю полосу. При этом потери времени на перемещение уплотняющей техники с одной полосы на другую минимальны и составляют не более 2 % от общего времени работы агрегата на карте уплотнения.

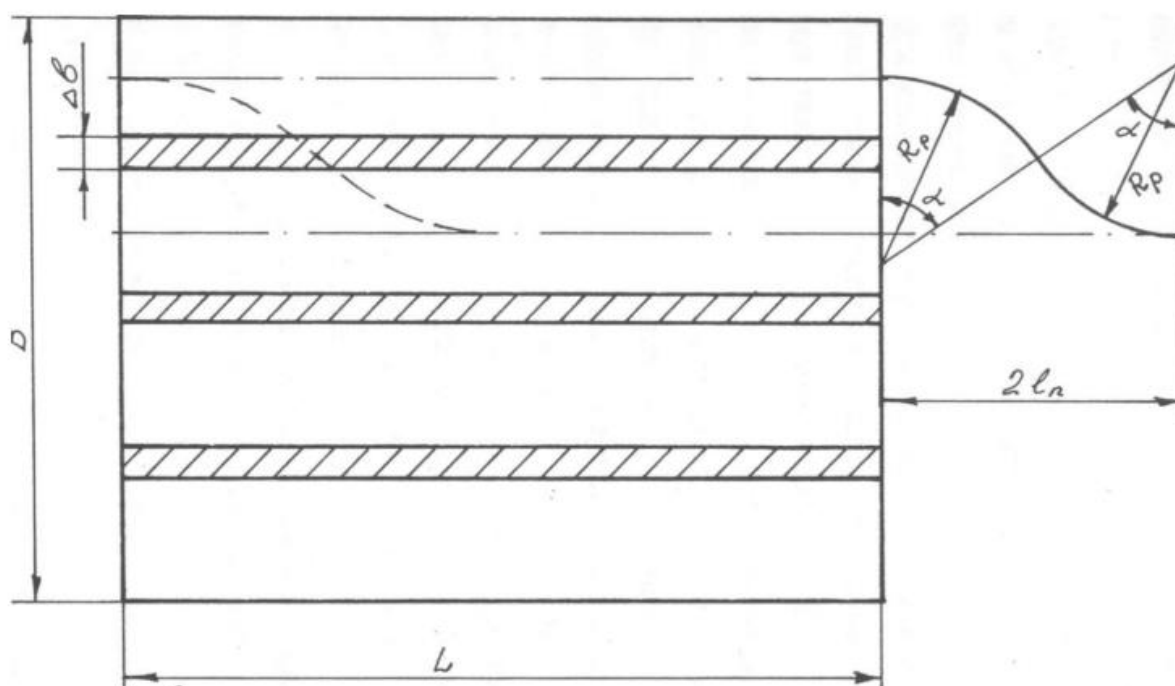


Рис. 3. Челночная схема непрерывного уплотнения грунта

Скорость движения уплотняющего агрегата устанавливается строительными нормами, но реальная скорость может оказаться ниже вследствие влияния уплотняемого грунта на движущие части и органы уплотнения. Это также приводит к отклонению уплотняющей техники от заданного курса движения, что вынуждает оператора компенсировать эти отклонения путем маневрирования. Дополнительное маневрирование снижает реальную скорость движения уплотняющего агрегата.

Проблему корректировки курса можно решить путем использования сцепного устройства, которое бы обеспечивало курсовую устойчивость при реализации челночной схемы.

Обеспечение курсовой устойчивости снижает затраты времени на маневрирование и позволяет автоматизировать процесс уплотнения грунта, давая возможность реализовать движение уплотняющего агрегата по заданной программе. Для реализации такого подхода было разработано несколько устройств, включая датчик пути и устройство контроля степени уплотнения грунта. Датчик пути обеспечивает постоянный размер полос уплотнения и корректное смещение на соседние полосы. Устройство контроля степени уплотнения грунта помимо своей основной функции позволяет оперативно вносить изменения в программу движения, учитывая текущую плотность грунта. В этом устройстве реализован рассматриваемый в данной статье оперативный метод контроля степени уплотнения грунта.

Экспресс-метод контроля степени уплотнения грунта

Необходимая техника, а также методы проведения контроля земляных работ задаются на этапе технического проектирования. Для подобного проектирования в расчетные данные вносятся как технические характеристики применяемого парка строительной техники, так и состав и структура самого грунта. На основе этих данных определяется плотность грунта, которую необходимо достичь [6]. Максимальная плотность, которую можно достичь при уплотнении грунта, зависит от используемой техники. Исходя из того, что рыхлый грунт требует больше энергии на уплотнение по сравнению с уже уплотнённым грунтом, предлагается косвенный метод контроля степени уплотнения грунта, основанный на определении энергии, затрачиваемой на уплотнение [7]. Для уплотняющего агрегата ДЭТ-250М – ПВК-70ЭА таким косвенным контролируемым параметром может быть электроэнергия, потребляемая катком ПВК-70ЭА. Метод основан на сравнении электроэнергии, потребленной за последний проход, с

электроэнергией, потребленной за предыдущий проход. Незначительная разница этих значений свидетельствует о достижении степени уплотнения грунта, близкой к максимальной при использовании техники данного типа [8].

Данный метод контроля положен в основу автоматического устройства контроля степени уплотнения грунта. Это устройство в реальном времени контролирует степень уплотнения грунта и не требует остановки земляных работ, что является преимуществом по сравнению с традиционными методами. При использовании челночной схемы при каждом проходе катка по уплотняемой полосе измеряется количество потреблённой энергии и сравнивается с предыдущим значением.

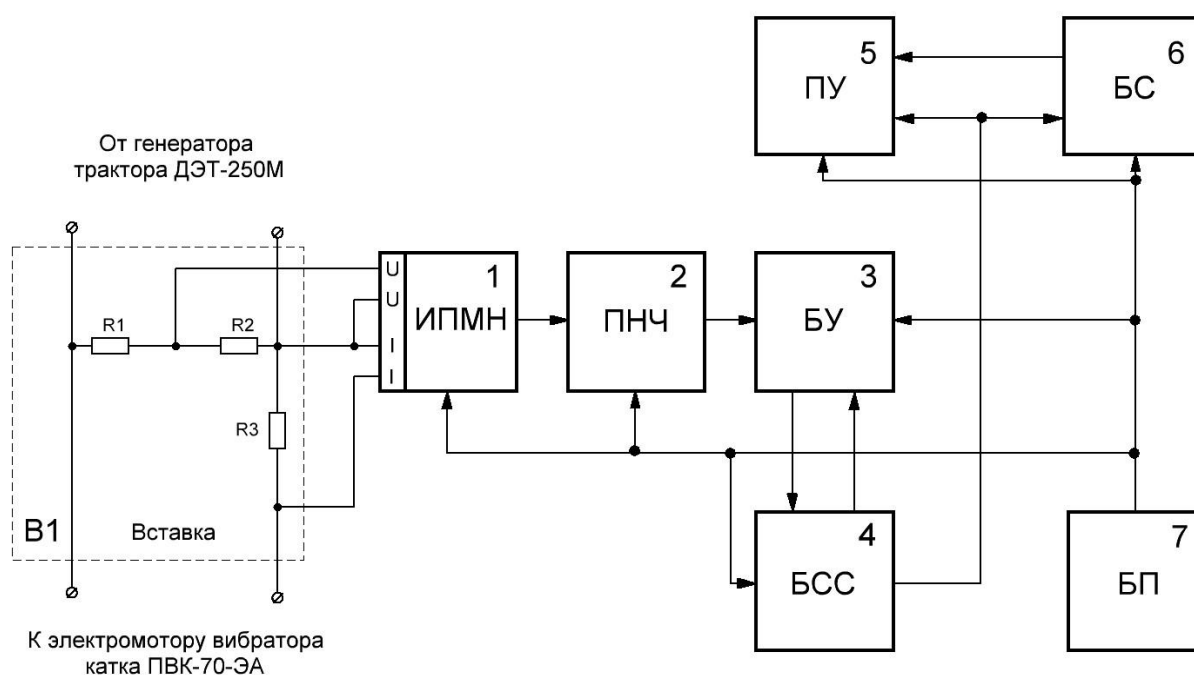


Рис. 4. Функциональная схема устройства контроля степени уплотнения грунта

Автоматическое устройство контроля степени уплотнения грунта состоит из блока измерительного преобразователя мощности в напряжение 1, преобразователя напряжение-частота 2, блока управления 3, блока счётчиков и элементов сравнения 4, пульта управления 5, блока сигнализации 6 и блока питания 7.

Устройство работает по следующему принципу. В электрической линии, что соединяющей каток ПВК-70ЭА и тягач ДЭТ-250М, находится вставка из трёх резисторов R1 R2 и R3. Первые два являются делителем напряжения, а на третьем резисторе создаётся падение напряжения, пропорциональное току, что потребляемому катком. В результате формируется сигнал, пропорциональный напряжению, подающемуся на виброкаток, и сигнал, пропорциональный потребляемому им току. Оба сигнала поступают в измерительный преобразователь мощности в напряжение 1, на выходе которого получается сигнал в виде напряжения, которое пропорционально произведению силы тока и напряжения на входе, то есть электрической мощности.

Сигнал, сформированный на выходе преобразователя 1, поступает в преобразователь напряжения в частоту 2. На выходе преобразователя 2 из которого выходит в форме формируется последовательность электрических импульсов, частота которых пропорциональна напряжению на входе. Эти электрические импульсы через блок управления 3 поступают в блок счетчиков и элементов сравнения 4, в котором в результате интегрирования мощности получается сигнал, пропорциональный энергии, потребленной электродвигателем виброкатка.

В одном из счетчиков блока 4 сохраняется информация о предыдущем проходе техники, а в другом счетчике записывается актуальная информация. Когда разность между значениями счетчиков достигает заданной величины, блок управления 3 через пульт управления 5 сигнализирует блоку сигнализации 6, который генерирует сигнал, информирующий оператора о достижении максимальной степени уплотнения грунта.

Выводы

Рассмотренный в статье экспресс-метод контроля степени уплотнения грунта имеет ряд очевидных преимуществ по сравнению с традиционными методами контроля. К таким преимуществам прежде всего относятся автоматизация контроля, снижение трудозатрат и затрат времени при

выполнении земляных работ. Рассмотренное устройство контроля степени уплотнения грунта, выполненное на базе сочленённого уплотняющего агрегата ДЭТ-250М – ПВК-70ЭА, позволяет существенно облегчить контроль уплотнения грунта и ускорить выполнение земляных работ.

Список источников

1. Дудаев, Д.З. Основы существующих методов контроля плотности грунтов / Д. З. Дудаев // *Chronos: естественные и технические науки*. – 2019. – № 4(26). – С. 30-32.
2. Илюхин, А.В. Основные методы контроля степени уплотнения грунтов / А.В. Илюхин, С.В. Борисов, Я.В. Лазукин // *Автомобиль. Дорога. Инфраструктура*. – 2023. – № 1(35).
3. Форсблад, Л. Вибрационное уплотнение грунтов и оснований / Л. Форсблад; Пер. с англ. И. В. Гагариной. - Москва: Транспорт, 1987. - 190 с.
4. Особенности использования сочлененных уплотняющих машин при строительстве насыпных инженерных сооружений / Г.В. Кустарев, Е.В. Марсова, Ю.Э. Васильев, Ю.В. Борисов // *Автомобиль. Дорога. Инфраструктура*. – 2017. – № 3(13). – С. 4.
5. Сравнительный анализ схем послойного уплотнения грунта при выполнении строительных работ / Т.А. Суэтина, Е.В. Марсова, Г.В. Кустарев, Ю.В. Борисов // *Academia. Архитектура и строительство*. – 2018. – № 1. – С. 73-77. – DOI 10.22337/2077-9038-2018-1-73-77.
6. Александрова, Н.П. Совершенствование методов экспресс оценки качества уплотнения грунтов земляного полотна строительства автомобильных дорог / Н.П. Александрова, Т.В. Семенова, К.Ю. Стригун // *Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии*. – 2015. – № 4(44). – С. 46-57.
7. Сазонова, С.А. Применение экспресс-методов для определения характеристик насыпных грунтов / С.А. Сазонова, С.Д. Румянцев // *Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура*. – 2017. – Т. 8. – № 3. – С. 113-120.
8. Авторское свидетельство № 1761864 А1 СССР, МПК E02D 1/00. Способ контроля степени уплотнения грунтов: № 4821157; заявл. 27.03.1990; опубл. 15.09.1992 / А.В. Илюхин, С.А. Шахворостов; заявитель МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ.

References

1. Dudayev. D.Z. *Chronos: yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki*, 2019, no. 4, pp. 30-32.
2. Ilyukhin V.A., Borisov V.S., Lazukin V.Y. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2023, №1(35).

3. Forsblad L. *Vibratsionnoe uplotnenie gruntov i osnovaniy* (Vibratory compaction of soils and foundations), Moscow, Transport, 1987, 190 p.
4. Kustarev G.V., Marsova E.V., Vasilev Yu.E., Borisov Yu.V. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2017, №3(13), pp. 4
5. Suetina T.A., Marsova E.V., Kustarev G.V., Borisov Yu.V. *Academia. Arhitektura i stroitelstvo*, 2018, no. 1, pp. 73-77.
6. Aleksandrova N. P., Semenova T. V., Strigun K. Yu. *Vestnik SibADI*, 2015, no. 4, pp. 46-57.
7. Sazonova S.A., Rumyantsev S.D. *Vestnik of PNRPU. Stroitelstvo i Arhitektura*, 2017, no. 3, pp. 113-120.
8. Ilyukhin V.A., Shahvorostov S.A. *Sposob kontrolya stepeni uplotneniya gruntov* [Method for controlling the degree of soil compaction]. author's certificate USSR, no. 1761864, 1992.

Рецензент Г.М. Розенблат, д-р. физ.-мат. наук, проф. МАДИ

Информация об авторах

Илюхин Андрей Владимирович, д-р техн. наук, проф., МАДИ.

Борисов Сергей Вячеславович, канд. техн. наук, доц., МАДИ.

Лазукин Яков Васильевич, инженер, МАДИ.

Information about the authors

Ilyukhin Andrey V., Dr. Sc., professor, MADI.

Borisov Sergey V., Ph.D., associate professor, MADI.

Lazukin Yakov V., engineer, MADI.

Статья поступила в редакцию 29.05.2023; одобрена после рецензирования 06.06.2023; принята к публикации 08.06.2023.

The article was submitted 29.05.2023; approved after reviewing 06.06.2023; accepted for publication 08.06.2023.