

## МЕХАНИКА

Научная статья  
УДК 531.51  
DOI: [10.34759/trd-2023-130-01](https://doi.org/10.34759/trd-2023-130-01)

# АДДИТИВНАЯ ПОСТОЯННАЯ ЭНЕРГИИ ГРАВИТАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

**Игорь Павлович Попов**

Курганский государственный университет,

Курган, Россия

[ip.popov@yandex.ru](mailto:ip.popov@yandex.ru)

*Аннотация.* Рассматриваются следующие величины:  $E_e$  – максимально возможная гравитационная энергия;  $E_c$  – ограниченная гравитационная энергия.  $E_e = 0$  при совпадении центров масс гравитирующих объектов (в частности, при их проникновении друг в друга подобно электрическим разъемам). При  $E_e = 0$  гравитационное поле работу совершить не может. Установлена формула для ограниченной гравитационной энергии двух сплошных твердых круглых тел. Максимально возможная гравитационная энергия и ограниченная гравитационная энергия неотрицательны. Установлена формула для максимально возможной гравитационной энергии двух круглых тел. Полученные результаты могут применяться для оценки энергетического ресурса гравитационного поля, в том числе, для вычисления энергии слияния космических объектов, в частности, газо-,

пылеобразных и плазменных и т.д., а также для баллистических расчетов космических полетов.

**Ключевые слова:** гравитация, масса, запасаемая энергия, работа, шар, центр

**Для цитирования:** Попов И.П. Аддитивная постоянная энергии гравитационного взаимодействия // Труды МАИ. 2023. № 130. DOI: [10.34759/trd-2023-130-01](https://doi.org/10.34759/trd-2023-130-01)

Original article

## **MECHANICS**

# **ADDITIVE ENERGY CONSTANT OF GRAVITATIONAL INTERACTION**

**Igor P. Popov**

Kurgan State University,

Kurgan, Russia

[ip.popov@yandex.ru](mailto:ip.popov@yandex.ru)

**Abstract.** The article presents definitions of the total stored energy, conditional stored energy, conditional realizable stored energy, and conditional unrealizable stored one. The total stored gravitational energy is the energy of a system or object equal to the maximum work that the system or object can perform if offered the opportunity to do so. A system or an object with zero total stored gravitational energy cannot perform any work. A system of two massive balls has zero total stored gravitational energy when their centers are aligned. The latter is possible if the balls are mutually penetrating, for example, discontinuous, particularly, accomplished in the form of layered joints. Conditional stored gravitational

energy is a part of the total stored gravitational energy of a system or object, limited by the condition, which excludes the possibility of the system or object to perform maximum work that the system or object can hypothetically perform. Conditional realizable stored gravitational energy is a part of the total stored gravitational energy of a system or object, equal to the work that the system or object can perform, limited by the condition that excludes the possibility of the system or object performing the maximum work that the system or object can hypothetically perform. Conditional unrealizable stored gravitational energy is a part of the total stored gravitational energy of a system or object, equal to the work that the system or object cannot perform, limited by the condition that excludes the possibility of the system or object performing the maximum work that the system or object can hypothetically perform.

**Keywords:** gravity, mass, stored energy, work, ball, center

**For citation:** Popov I.P. Additive energy constant of gravitational interaction. *Trudy MAI*, 2023, no. 130. DOI: [10.34759/trd-2023-130-01](https://doi.org/10.34759/trd-2023-130-01)

Целью работы является установление энергии, равной максимально возможной работе, которую гипотетически может совершить гравитационное поле.

Потенциальная энергия гравитационного поля для этого не подходит, поскольку для гравитирующих объектов, расположенных друг от друга на дистанции, равной бесконечности, она равна нулю [1], в то время как возможная работа поля по сближению объектов отлична от нуля.

Результаты работы могут использоваться при баллистических расчетах космических полетов [2-7].

В [8, 9] даны определения запасаемой энергии. В качестве их обобщения на гравитационное поле далее рассматриваются следующие величины:

1.  $E_e$  – максимально возможная гравитационная энергия;
2.  $E_c$  – ограниченная гравитационная энергия.

$E_e = 0$  при совпадении центров масс гравитирующих объектов (в частности, при их проникновении друг в друга подобно электрическим разрядам).

При  $E_e = 0$  гравитационное поле работу совершить не может.

Энергия

$$\Pi = mgh$$

соответствует величине  $E_c$ .

Энергия

$$\Pi = -\gamma \frac{m_1 m_2}{r} \quad (1)$$

не соответствует ни  $E_c$ , ни  $E_e$ .

### **Нахождение максимально возможной и ограниченной гравитационных энергий**

**Теорема-(определение) 1.** Формула для ограниченной гравитационной энергии двух сплошных твердых круглых тел имеет вид:

$$E_c = \gamma m_1 m_2 \frac{r - (r_1 + r_2)}{r(r_1 + r_2)}. \quad (2)$$

Здесь  $\gamma$  – гравитационная постоянная,  $m_1, m_2$  – массы тел,  $r_1, r_2$  – их размеры,  $r$  – расстояние между телами.

*Доказательство.*

Гравитационное поле не в состоянии произвести работу большую, чем при перемещении тел до дистанции  $r_1 + r_2$  между ними. Поэтому

$$A_c = E_c = \Pi_1 - \Pi_2 = -\gamma \frac{m_1 m_2}{r} - \left( -\gamma \frac{m_1 m_2}{r_1 + r_2} \right) = \gamma m_1 m_2 \left( \frac{1}{r_1 + r_2} - \frac{1}{r} \right) = \gamma m_1 m_2 \frac{r - (r_1 + r_2)}{r(r_1 + r_2)}.$$

Теорема доказана.

**Следствие.**

$$r = r_1 + r_2 \Rightarrow E_c = 0.$$

**Теорема 2.** Максимально возможная гравитационная энергия и ограниченная гравитационная энергия неотрицательны.

$$E_e, E_c \geq 0.$$

*Доказательство.*

$$A = E_1 - E_2.$$

Здесь  $E$  – какая угодно энергия.

$$E_1 \geq E_2 \Rightarrow E_1 - E_2 \geq E_2 - E_2 \Rightarrow A = E \geq 0.$$

Теорема доказана.

Далее, если не оговаривается иное,  $r \geq r_1 + r_2, r_2 \geq r_1$ .

**Теорема-(определение) 3.** Формула для максимально возможной гравитационной энергии двух круглых тел имеет вид:

$$E_e = \frac{\gamma m_1 m_2}{r_2} \left( 1,5 - 0,3 \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) - \frac{\gamma m_1 m_2}{r} \quad (3)$$

*Доказательство.* Для интегрального формирования круглых массивных тел из бесконечно малых элементов требуется работа

$$A_1 = \frac{3}{5} \frac{\gamma m_1^2}{r_1}, \quad (4)$$

$$A_2 = \frac{3}{5} \frac{\gamma m_2^2}{r_2}. \quad (5)$$

Для привнесения тел с бесконечно большой дистанции до дистанции  $r$  требуется работа

$$A_r = \frac{\gamma m_1 m_2}{r}.$$

При взаимном проникновении два концентрических тела образуют ядро размером  $r_1$  с суммарной плотностью обоих тел и периферию с внешним размером  $r_2$ , внутренним размером  $r_1$  и с плотностью второго тела.

Для интегрального синтеза ядра из бесконечно малых элементов требуется работа

$$A_{01} = \frac{3}{5} \frac{\gamma}{r_1} \left( m_1 + m_2 \frac{r_1^3}{r_2^3} \right)^2.$$

Перед определением синтеза периферии следует иметь в виду, что

$$dm = \frac{3m_2}{4\pi r_2^3} 4\pi r^2 dr = \frac{3m_2}{r_2^3} r^2 dr,$$

$$m_r = m_1 + m_2 \frac{r^3}{r_2^3},$$

$$dA = -\gamma \frac{m_r dm}{\rho^2} d\rho.$$

Для интегрального синтеза периферии из бесконечно малых элементов требуется работа

$$\begin{aligned}
 A_{02} &= -\int_{r_1}^{r_2} dr \int_{\infty}^r \gamma \frac{m_r dm}{dr \rho^2} d\rho = -\gamma \int_{r_1}^{r_2} \left( m_1 \frac{3m_2}{r_2^3} r^2 + m_2 \frac{r^3}{r_2^3} \frac{3m_2}{r_2^3} r^2 \right) dr \int_{\infty}^r \frac{d\rho}{\rho^2} = \\
 &= \gamma \int_{r_1}^{r_2} \left( \frac{3m_1 m_2}{r_2^3} r^2 + \frac{3m_2^2}{r_2^6} r^5 \right) \frac{1}{r} dr = \gamma \int_{r_1}^{r_2} \left( \frac{3m_1 m_2}{r_2^3} r + \frac{3m_2^2}{r_2^6} r^4 \right) dr = \\
 &= \gamma \left( \frac{3m_1 m_2}{2r_2^3} r_2^2 + \frac{3m_2^2}{5r_2^6} r_2^5 - \frac{3m_1 m_2}{2r_2^3} r_1^2 - \frac{3m_2^2}{5r_2^6} r_1^5 \right) = \gamma \left( \frac{3m_1 m_2}{2r_2} + \frac{3m_2^2}{5r_2} - \frac{3m_1 m_2}{2r_2^3} r_1^2 - \frac{3m_2^2}{5r_2^6} r_1^5 \right).
 \end{aligned}$$

Для интегрального синтеза двух концентрических тел целиком требуется работа

$$\begin{aligned}
 A_0 &= A_{01} + A_{02} = \frac{3}{5} \gamma \left( m_1 + m_2 \frac{r_1^3}{r_2^3} \right)^2 + \gamma \left( \frac{3m_1 m_2}{2r_2} + \frac{3m_2^2}{5r_2} - \frac{3m_1 m_2}{2r_2^3} r_1^2 - \frac{3m_2^2}{5r_2^6} r_1^5 \right) = \\
 &= \gamma \left( \frac{3m_1^2}{5r_1} + \frac{6m_1 m_2 r_1^2}{5r_2^3} + \frac{3m_2^2 r_1^5}{5r_2^6} + \frac{3m_1 m_2}{2r_2} + \frac{3m_2^2}{5r_2} - \frac{3m_1 m_2}{2r_2^3} r_1^2 - \frac{3m_2^2}{5r_2^6} r_1^5 \right) = \\
 &+ \frac{3m_1 m_2}{2r_2} + \frac{3m_2^2}{5r_2} - \frac{3m_1 m_2}{2r_2^3} r_1^2 - \frac{3m_2^2}{5r_2^6} r_1^5 = \frac{3}{5} \gamma \left[ \frac{m_1^2}{r_1} + \frac{m_2^2}{r_2} + \frac{1}{2} \frac{m_1 m_2}{r_2} \left( 5 - \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) \right].
 \end{aligned}$$

**N.B. 1.**

$$r_1 = r_2 \Rightarrow A_0 = \frac{3}{5} \gamma \left[ \frac{m_1^2}{r_1} + \frac{m_2^2}{r_1} + \frac{1}{2} \frac{m_1 m_2}{r_1} \left( 5 - \frac{r_1^2}{r_1^2} \right) \right] = \frac{3}{5} \frac{\gamma (m_1 + m_2)^2}{r_1}.$$

Это соответствует выражениям (4) и (5).

**N.B. 2.**

$$r_1 = r_2, m_1 = m_2 \Rightarrow A_0 = \frac{3}{5} \frac{\gamma (m_1 + m_1)^2}{r_1} = 4 \frac{3}{5} \frac{\gamma m_1^2}{r_1}.$$

Эта величина в 4 раза больше величины (4).

С учетом полученных выражений максимально возможная гравитационная энергия равна

$$\begin{aligned} E_e = A_e = A_0 - A_1 - A_2 - A_r = \\ = \frac{3}{5} \gamma \left[ \frac{m_1^2}{r_1} + \frac{m_2^2}{r_2} + \frac{1}{2} \frac{m_1 m_2}{r_2} \left( 5 - \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) \right] - \frac{3}{5} \frac{\gamma m_1^2}{r_1} - \frac{3}{5} \frac{\gamma m_2^2}{r_2} - \frac{\gamma m_1 m_2}{r} = \\ = \frac{\gamma m_1 m_2}{r_2} \left( 1,5 - 0,3 \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) - \frac{\gamma m_1 m_2}{r}. \end{aligned}$$

Теорема доказана.

**Следствие 3.1.**

$$r = r_1 + r_2 \Rightarrow E_{e1-2} = \frac{\gamma m_1 m_2}{r_2} \left( 1,5 - 0,3 \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) - \gamma \frac{m_1 m_2}{r_1 + r_2}.$$

(Тела касаются друг друга).

**Следствие 3.2.**

$$E_e - E_{e1-2} = E_c.$$

В самом деле,

$$\frac{\gamma m_1 m_2}{r_2} \left( 1,5 - 0,3 \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) - \frac{\gamma m_1 m_2}{r} - \frac{\gamma m_1 m_2}{r_2} \left( 1,5 - 0,3 \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) + \gamma \frac{m_1 m_2}{r_1 + r_2} = \gamma m_1 m_2 \frac{r - (r_1 + r_2)}{r(r_1 + r_2)}$$

(ср. с (2)).

**Следствие 3.3.**

$$r_1 = r_2, r = 2r_1 \Rightarrow E_{e1-1} = \frac{\gamma m_1 m_2}{r_1} \left( 1,5 - 0,3 \frac{r_1^2}{r_1^2} \right) - \gamma \frac{m_1 m_2}{r_1 + r_1} = 0,7 \frac{\gamma m_1 m_2}{r_1}.$$

**Следствие 3.4.**



$$r_1 = r_2, r = \infty \Rightarrow E_{e\infty} = 1,2 \frac{\gamma m_1 m_2}{r_1}.$$

**Следствие 3.5.**

$$A_{\infty 1-1} = E_{e\infty} - E_{e1-1} = 1,2 \frac{\gamma m_1 m_2}{r_1} - 0,7 \frac{\gamma m_1 m_2}{r_1} = 0,5 \frac{\gamma m_1 m_2}{r_1}.$$

**Следствие 3.6.**

$$r_1 = r_2, m_1 = m_2 \Rightarrow A_{\infty 1-1} = \frac{5}{6} A_1.$$

### Заключение

В общем виде формула для потенциальной энергии поля тяготения имеет следующее представление:

$$\Pi = C - \gamma \frac{m_1 m_2}{r}. \quad (6)$$

Здесь  $C$  – постоянная интегрирования. В математике эта величина может быть какой угодно. Поэтому главным образом из математических соображений она была произвольно приравнена нулю. Это обстоятельство сразу исключило возможность оценки максимального энергетического ресурса гравитационного поля.

В механике не должно быть произвольно установленных величин. Другими словами, постоянная интегрирования должна иметь детерминированное значение. В настоящей работе эта величина однозначно установлена

$$C = \frac{\gamma m_1 m_2}{r_2} \left( 1,5 - 0,3 \frac{r_1^2}{r_2^2} \right).$$

В результате потенциальная энергия поля тяготения (6) наполнилась физическим смыслом и стала равна максимально возможной энергии, сконцентрированной в гравитационном поле (3).

$$\Pi = \frac{\gamma m_1 m_2}{r_2} \left( 1,5 - 0,3 \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) - \frac{\gamma m_1 m_2}{r} = E_e. \quad (7)$$

**Н.В.** Полученный результат имеет еще один (метафизический) смысл.

Не существует отрицательной массы, и скорость света – величина не комплексная. В этой связи энергия в соответствии со знаменитой формулой

$$E = mc^2 \quad (8)$$

в принципе не может быть отрицательной, чего не скажешь о (1).

В полном соответствии со здравым смыслом и формулой (8) полученные величины (2) и (3), включая потенциальную энергию (7), являются неотрицательными.

Полученные результаты могут применяться для оценки энергетического ресурса гравитационного поля, в том числе, для вычисления энергии слияния космических объектов, в частности, газо-, пылеобразных и плазменных и т.д. [10-20], а также для баллистических расчетов космических полетов.

### Список источников

1. Скоробогатых И.В. О плоских движениях деформируемого спутника в центральном гравитационном поле относительно центра масс // Труды МАИ. 2016. № 89. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=72509>

2. Михайлин Д.А., Аллилуева Н.В., Руденко Э.М. Сравнительный анализ эффективности генетических алгоритмов маршрутизации полета с учетом их различной вычислительной трудоемкости и многокритериальности решаемых задач // Труды МАИ. 2018. № 98. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=90386>
3. Глушков А.В., Улыбышев С.Ю. Применение режима тактовой работы к двигательной установке для высокоточного орбитального маневрирования и переориентации космического аппарата // Труды МАИ. 2018. № 101. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=96960>
4. Виноградов А.В., Борукаева А.О., Бердигов П.Г. Математическая модель движения баллистического летательного аппарата и алгоритмов расчета номинальных и возмущенных параметров движения баллистического летательного аппарата // Труды МАИ. 2019. № 109. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=111430>. DOI: 10.34759/trd-2019-109-25
5. Урюпин И.В. Синтез оптимальных кусочно-гладких аппроксимаций траекторий движения летательных аппаратов // Труды МАИ. 2018. № 100. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=93440>
6. Буслаев С.П., Воронцов В.А., Графодатский О.А. Проблемы моделирования посадок венерианских космических аппаратов для различных грунтов-аналогов // Труды МАИ. 2017. № 96. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=85909>
7. Попов И.П. К расчетам параметров пассивных гравитационных маневров межпланетных космических аппаратов // Труды МАИ. 2021. № 118. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=158210>. DOI: [10.34759/trd-2021-118-01](https://doi.org/10.34759/trd-2021-118-01)

8. Попов И.П. Расчет полной энергии электростатического поля // Труды Крыловского государственного научного центра. 2020. Т. 2. № 392. С. 107-114. DOI: [10.24937/2542-2324-2020-2-392-107-114](https://doi.org/10.24937/2542-2324-2020-2-392-107-114)
9. Попов И.П. О некоторых расчетах энергии электростатического поля // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2020. Т. 8. № 1. С. 2-9. DOI: [10.18503/2306-2053-2020-8-1-2-9](https://doi.org/10.18503/2306-2053-2020-8-1-2-9)
10. Константинов С.Г. Численное моделирование свободного падения твёрдого шара в воду // Труды МАИ. 2018. № 101. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=96562>
11. Тимофеев П.М. Сравнение методов возвращения первой ступени многоразовой ракеты // Труды МАИ. 2020. № 113. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=118079>. DOI: 10.34759/trd-2020-113-06
12. Глущенко А.А., Хохлов В.П. Метод обнаружения маневра космического аппарата на основе текущих траекторных измерений // Труды МАИ. 2019. № 109. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=111402>. DOI: 10.34759/trd-2019-109-17
13. Вовасов В.Е., Бетанов В.В., Турлыков П.Ю. Комплексование навигационного приемника и акселерометров для оценки координат и ориентации высокодинамичных объектов // Труды МАИ. 2017. № 96. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=85834>
14. Баранов Н.А., Таипова Д.Р. Устройство для измерения параметров космических частиц и оценки их влияния на материалы спутникостроения // Труды МАИ. 2019. № 105. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=104270>

15. Баркова М.Е. Переработка техногенного космического мусора в топливо на низких орбитах // Труды МАИ. 2020. № 110. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=112927>. DOI: 10.34759/trd-2020-110-17
16. Рязанов В.В. Управление движением космического аппарата при бесконтактном уводе космического мусора // Труды МАИ. 2019. № 107. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=107837>
17. Баркова М.Е. Космический аппарат для утилизации космического мусора в околоземном пространстве // Труды МАИ. 2018. № 103. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=100712>
18. Пикалов Р.С., Юдинцев В.В. Обзор и выбор средств увода крупногабаритного космического мусора // Труды МАИ. 2018. № 100. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=93299>
19. Асланов В.С., Сизов Д.А. Динамика захвата космического мусора гарпуном // Труды МАИ. 2018. № 100. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=93301>
20. Асланов В.С., Пикалов Р.С. Безударное сближение космического мусора с буксиром при использовании тросовой системы // Труды МАИ. 2017. № 92. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=76750>

## References

1. Skorobogatykh I.V. *Trudy MAI*, 2016, no. 89. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=72509>

2. Mikhailin D.A., Allilueva N.V., Rudenko E.M. *Trudy MAI*, 2018, no. 98. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=90386>
3. Glushkov A.V., Ulybyshev S.Yu. *Trudy MAI*, 2018, no. 101. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=96960>
4. Vinogradov A.V., Borukaeva A.O., Berdikov P.G. *Trudy MAI*, 2019, no. 109. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=111430>. DOI: 10.34759/trd-2019-109-25
5. Uryupin I.V. *Trudy MAI*, 2018, no. 100. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=93440>
6. Buslaev S.P., Vorontsov V.A., Grafodatskii O.A. *Trudy MAI*, 2017, no. 96. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=85909>
7. Popov I.P. *Trudy MAI*, 2021, no. 118. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=158210>. DOI: 10.34759/trd-2021-118-01
8. Popov I.P. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra*, 2020, vol. 2, no. 392, pp. 107-114. DOI: 10.24937/2542-2324-2020-2-392-107-114
9. Popov I.P. *Matematicheskoe i programmnoe obespechenie sistem v promyshlennoi i sotsial'noi sferakh*, 2020, vol. 8, no. 1, pp. 2-9. DOI: 10.18503/2306-2053-2020-8-1-2-9
10. Konstantinov S.G. *Trudy MAI*, 2018, no. 101. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=96562>
11. Timofeev P.M. *Trudy MAI*, 2020, no. 113. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=118079>. DOI: 10.34759/trd-2020-113-06
12. Glushchenko A.A., Khokhlov V.P. *Trudy MAI*, 2019, no. 109. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=111402>. DOI: 10.34759/trd-2019-109-17

13. Vovasov V.E., Betanov V.V., Turlykov P.Yu. *Trudy MAI*, 2017, no. 96. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=85834>
14. Baranov N.A., Taipova D.R. *Trudy MAI*, 2019, no. 105. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=104270>
15. Barkova M.E. *Trudy MAI*, 2020, no. 110. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=112927>. DOI: 10.34759/trd-2020-110-17
16. Ryazanov V.V. *Trudy MAI*, 2019, no. 107. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=107837>
17. Barkova M.E. *Trudy MAI*, 2018, no. 103. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=100712>
18. Pikalov R.S., Yudintsev V.V. *Trudy MAI*, 2018, no. 100. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=93299>
19. Aslanov V.S., Sizov D.A. *Trudy MAI*, 2018, no. 100. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=93301>
20. Aslanov V.S., Pikalov R.S. *Trudy MAI*, 2017, no. 92. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=76750>

Статья поступила в редакцию 12.05.2023

Одобрена после рецензирования 17.05.2023

Принята к публикации 27.06.2023

The article was submitted on 12.05.2023; approved after reviewing on 17.05.2023; accepted for publication on 27.06.2023