

Труды МАИ. 2022. № 124
Trudy MAI, 2022, no. 124

Научная статья
УДК 531.18, 531.653
DOI: [10.34759/trd-2022-124-02](https://doi.org/10.34759/trd-2022-124-02)

АБСОЛЮТНЫЕ СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА ПРИ ОТНОСИТЕЛЬНОМ ДВИЖЕНИИ

Игорь Павлович Попов

Курганский государственный университет,
Курган, Россия

ip.popov@yandex.ru

Аннотация. Отмечено, что задача выбора системы отсчета при относительном движении объектов сопоставимой массы особенно актуальна при межпланетных перелетах на значительном удалении от планет. Для одних и тех же движущихся друг относительно друга инертных объектов различные системы координат дают совершенно различные совокупные кинетические энергии объектов. Очевидно, что ни одна из этих систем координат не может рассматриваться в качестве абсолютной. Абсолютной системой координат следует считать такую систему, при выборе которой полностью исключен произвол. Этому требованию удовлетворяет система, в которой совокупная кинетическая энергия объектов является минимальной. Абсолютная система координат совпадает с центром масс объектов и с эпицентром их гипотетического отталкивания из состояния (также гипотетического) взаимной неподвижности.

Ключевые слова: координаты, объект, масса, скорость, экстремум, импульс, центр масс, отталкивание.

Для цитирования: Попов И.П. Абсолютные системы отсчета при относительном движении // Труды МАИ. 2022. № 124. [10.34759/trd-2022-124-02](https://trd.mai.ru/2022/124-02)

ABSOLUTE REFERENCE SYSTEMS IN RELATIVE MOTION

Igor P. Popov

Kurgan State University,

Kurgan, Russia

ip.popov@yandex.ru

Abstract. It was noted that the problem of reference system selection at relative motion of the objects of commensurable mass is of particular relevance while interplanetary flights at a considerable distance from the planets. For the same inert objects moving relative to each other, different coordinate systems give completely different total kinetic energies of objects. In this sense, it is impossible to recognize them as equivalent. It is obvious that none of these coordinate systems can be considered as absolute. Only the system which selection completely eliminates arbitrariness, can be considered as the absolute system of coordinates. This requirement is met by a system in which the total kinetic energy of objects is minimal. The absolute coordinate system coincides with the center of mass of the objects and with the epicenter of their hypothetical repulsion from the state (hypothetical as well) of mutual immobility. After a hypothetical repulsion, the velocities of objects relative to the center of mass acquire the same values as in the absolute coordinate system.

Along with a wide variety of reference systems at the mutual motion of unaccelerated objects, including those associated with these objects (these reference systems can be considered relative), there is one absolute reference system associated with the center of mass of the objects under consideration. The considered repulsions of objects are calculated and may have nothing to do with reality. The number of objects while the absolute coordinate system definition is not limited by anything. It may be both two objects and a star system.

Keywords: coordinates, object, mass, speed, extremum, momentum, center of mass, repulsion.

For citation: Popov I.P. Absolute Reference Systems in Relative Motion. *Trudy MAI*, 2022, no. 124. DOI: [10.34759/trd-2022-124-02](https://doi.org/10.34759/trd-2022-124-02)

Задача выбора системы отсчета при относительном движении объектов сопоставимой массы особенно актуальна при межпланетных перелетах на значительном удалении от планет [1–10].

Существует точка зрения, что все инерциальные системы отсчета равноправны и выбор между ними определяется исключительно удобством вычислений.

Работа посвящена исследованию этого вопроса.

Движение двух неускоренных объектов в \mathbb{R}^1

Пусть относительная скорость двух неускоренных объектов, имеющих массы m_1 и m_2 , равна v .

Системы отсчета, связанные с каждым объектом, являются инерциальными.

В системе координат, связанной с первым объектом, совокупная кинетическая энергия объектов [11] определяется как

$$E_{112} = E_{11} + E_{12} = 0 + \frac{m_2 v^2}{2}.$$

В системе координат, связанной со вторым объектом, совокупная кинетическая энергия объектов имеет вид:

$$E_{212} = E_{21} + E_{22} = \frac{m_1 v^2}{2} + 0.$$

В любой другой системе координат первый объект имеет скорость v_1 , а второй объект –

$$v_2 = v_1 - v.$$

В указанной системе координат совокупная кинетическая энергия объектов определяется как

$$E_{312} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 (v_1 - v)^2}{2}.$$

Первая, вторая и третья системы координат дают совершенно различные совокупные кинетические энергии объектов. В этом смысле признать их равноправными не представляется возможным. Очевидно, что ни одна из этих систем координат не может рассматриваться в качестве абсолютной.

Абсолютной системой координат следует считать такую систему, при выборе которой полностью исключен произвол. Этому требованию удовлетворяет система, в которой совокупная кинетическая энергия объектов является минимальной. Она находится из условия

$$\frac{d(E_{312})}{dv_1} = m_1 v_1 + m_2 v_1 - m_2 v = 0. \quad (1)$$

Исходя из этого условия скорости объектов в абсолютной системе координат определяются следующим образом

$$v_1 = \frac{m_2}{m_2 + m_1} v, \quad (2)$$

$$v_2 = -\frac{m_1}{m_2 + m_1} v. \quad (3)$$

Гипотетическое отталкивание двух объектов в \mathbb{R}^1

Пусть имеется два неподвижных объекта. В системе координат, связанной с их центром масс, их суммарный импульс равен нулю. Следовательно, он будет равен нулю и после отталкивания объектов друг от друга, т.к. система замкнутая.

Поэтому

$$m_1 v_1 = -m_2 v_2 = -m_2 (v_1 - v).$$

Эта формула совпадает с (1).

Следовательно, абсолютная система координат совпадает с центром масс объектов и с эпицентром их гипотетического отталкивания из состояния (также гипотетического) взаимной неподвижности.

После гипотетического отталкивания скорости объектов относительно центра масс (в абсолютной системе координат) приобретают значения (2) и (3).

Движение трех неускоренных объектов в \mathbb{R}^1

Пусть относительные скорости трех неускоренных объектов, имеющих массы m_1 , m_2 и m_3 , равны v_{12} , v_{13} и v_{23} . Очевидно, что

$$v_{23} = v_{13} - v_{12}.$$

В системе координат, не связанной ни с одним из трех объектов, скорость первого объекта равна v_1 , скорость второго – $v_2 = v_1 - v_{12}$, скорость третьего – $v_3 = v_1 - v_{13}$.

В указанной системе координат совокупная кинетическая энергия объектов определяется как

$$E_{4123} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 (v_1 - v_{12})^2}{2} + \frac{m_3 (v_1 - v_{13})^2}{2}.$$

Экстремум функции $E_{4123}(v_1)$ находится из условия

$$\frac{d(E_{4123})}{dv_1} = m_1 v_1 + m_2 v_1 - m_2 v_{12} + m_3 v_1 - m_3 v_{13} = 0. \quad (4)$$

Исходя из этого условия скорости объектов в абсолютной системе координат определяются следующим образом

$$v_1 = \frac{m_2 v_{12} + m_3 v_{13}}{m_1 + m_2 + m_3}, \quad (5)$$

$$v_2 = \frac{m_3 v_{13} - m_1 v_{12} - m_3 v_{12}}{m_1 + m_2 + m_3} = \frac{m_3 v_{23} - m_1 v_{12}}{m_1 + m_2 + m_3}, \quad (6)$$

$$v_3 = \frac{m_2 v_{12} - m_1 v_{13} - m_2 v_{13}}{m_1 + m_2 + m_3} = \frac{-m_1 v_{13} - m_2 v_{23}}{m_1 + m_2 + m_3}. \quad (7)$$

Гипотетическое отталкивание трех объектов в \mathbb{R}^1

Пусть имеется три неподвижных объекта. В системе координат, связанной с их центром масс, их суммарный импульс равен нулю. Следовательно, он будет равен нулю и после отталкивания объектов друг от друга, т.к. система замкнутая.

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 + m_3 v_3 = m_1 v_1 + m_2 (v_1 - v_{12}) + m_3 (v_1 - v_{13}) = 0.$$

Эта формула совпадает с (4).

Следовательно, абсолютная система координат в \mathbb{R}^1 совпадает с центром масс трех объектов и с эпицентром их гипотетического отталкивания из состояния (также гипотетического) взаимной неподвижности.

После гипотетического отталкивания скорости объектов относительно центра масс (в абсолютной системе координат) приобретают значения (5)–(7).

Движение трех неускоренных объектов в \mathbb{R}^3

Пусть относительные скорости трех неускоренных объектов, имеющих массы m_1 , m_2 и m_3 , равны \mathbf{v}_{12} , \mathbf{v}_{13} и \mathbf{v}_{23} . Очевидно, что

$$\mathbf{v}_{23} = \mathbf{v}_{13} - \mathbf{v}_{12}.$$

В системе координат, не связанной ни с одним из трех объектов, скорость первого объекта равна \mathbf{v}_1 , скорость второго — $\mathbf{v}_2 = \mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{12}$, скорость третьего — $\mathbf{v}_3 = \mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{13}$.

В указанной системе координат совокупная кинетическая энергия объектов определяется как

$$E_{4123} = \frac{m_1 \mathbf{v}_1^2}{2} + \frac{m_2 (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{12})^2}{2} + \frac{m_3 (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{13})^2}{2} =$$

$$= \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 (v_1^2 - 2v_1 v_{12} \cos \varphi_{112} + v_{12}^2)}{2} + \frac{m_3 (v_1^2 - 2v_1 v_{13} \cos \varphi_{113} + v_{13}^2)}{2}.$$

φ_{ij} – угол между \mathbf{v}_i и \mathbf{v}_{ij} .

Экстремум функции $E_{4123}(v_1)$ находится из условия

$$\frac{d(E_{4123})}{dv_1} = m_1 v_1 + m_2 v_1 - m_2 v_{12} \cos \varphi_{112} + m_3 v_1 - m_3 v_{13} \cos \varphi_{113} = 0. \quad (8)$$

Гипотетическое отталкивание трех объектов в \mathbb{R}^3

Пусть имеется три неподвижных объекта. В системе координат, связанной с их центром масс, их суммарный импульс равен нулю. Следовательно, он будет равен нулю и после отталкивания объектов друг от друга, т.к. система замкнутая.

$$m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2 + m_3 \mathbf{v}_3 = m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{12}) + m_3 (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{13}) = 0.$$

$$m_1 \mathbf{v}_1 \cdot \frac{\mathbf{v}_1}{v_1} + m_2 (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{12}) \cdot \frac{\mathbf{v}_1}{v_1} + m_3 (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{13}) \cdot \frac{\mathbf{v}_1}{v_1} = 0.$$

Эта формула совпадает с (8).

Следовательно, абсолютная система координат в \mathbb{R}^3 совпадает с центром масс трех объектов и с эпицентром их гипотетического отталкивания из состояния (также гипотетического) взаимной неподвижности.

После гипотетического отталкивания скорости объектов относительно центра масс (в абсолютной системе координат) приобретают следующие значения.

$$\mathbf{v}_1 = \frac{m_2 \mathbf{v}_{12} + m_3 \mathbf{v}_{13}}{m_1 + m_2 + m_3},$$

$$\mathbf{v}_2 = \frac{m_3 \mathbf{v}_{23} - m_1 \mathbf{v}_{12}}{m_1 + m_2 + m_3},$$

$$\mathbf{v}_3 = \frac{-m_1 \mathbf{v}_{13} - m_2 \mathbf{v}_{23}}{m_1 + m_2 + m_3}.$$

Движение произвольного числа неускоренных объектов в \mathbb{R}^3

Пусть относительные скорости n неускоренных объектов, имеющих массы $m_1, \dots, m_i, \dots, m_n$, равны $\mathbf{v}_{12}, \dots, \mathbf{v}_{ij}, \dots, \mathbf{v}_{(n-1)n}$. Очевидно, что

$$\mathbf{v}_{ij} = \mathbf{v}_{1j} - \mathbf{v}_{1i}.$$

В системе координат, не связанной ни с одним из n объектов, скорость первого объекта равна \mathbf{v}_1 , скорость i -го — $\mathbf{v}_i = \mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{1i}$, скорость n -го — $\mathbf{v}_n = \mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{1n}$.

В указанной системе координат совокупная кинетическая энергия объектов определяется как

$$\begin{aligned} E_{(n+1)1:n} &= \frac{m_1 \mathbf{v}_1^2}{2} + \sum_{i=2}^n \frac{m_i (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{1i})^2}{2} = \\ &= \frac{m_1 v_1^2}{2} + \sum_{i=2}^n \frac{m_i (v_1^2 - 2v_1 v_{1i} \cos \varphi_{11i} + v_{1i}^2)}{2}. \end{aligned}$$

Экстремум функции $E_{(n+1)1:n}(v_1)$ находится из условия

$$\frac{d(E_{(n+1)1:n})}{dv_1} = m_1 v_1 + \sum_{i=2}^n (m_i v_1 - m_i v_{1i} \cos \varphi_{11i}) = 0. \quad (9)$$

Гипотетическое отталкивание произвольного числа объектов в \mathbb{R}^3

Пусть имеется n неподвижных объектов. В системе координат, связанной с их центром масс, их суммарный импульс равен нулю. Следовательно, он будет равен нулю и после отталкивания объектов друг от друга, т.к. система замкнутая.

$$\sum_{i=1}^n m_i \mathbf{v}_i = m_1 \mathbf{v}_1 + \sum_{i=2}^n m_i (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{1i}) = 0.$$

$$m_1 \mathbf{v}_1 \cdot \frac{\mathbf{v}_1}{v_1} + \sum_{i=2}^n m_i (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{1i}) \cdot \frac{\mathbf{v}_1}{v_1} = 0.$$

Эта формула совпадает с (9).

Следовательно, абсолютная система координат в \mathbb{R}^3 совпадает с центром масс n объектов и с эпицентром их гипотетического отталкивания из состояния (также гипотетического) взаимной неподвижности.

После гипотетического отталкивания скорости объектов относительно центра масс (в абсолютной системе координат) приобретают следующие значения.

$$\mathbf{v}_1 = \frac{\sum_{i=2}^n m_i \mathbf{v}_{1i}}{\sum_{i=1}^n m_i}.$$

Заключение

Наряду с самыми разнообразными системами отсчета при взаимном движении неускоренных объектов [12–16], в том числе, связанными с этими объектами [17–20] (эти системы отсчета можно считать относительными), существует одна абсолютная

система отсчета, связанная с центром масс рассматриваемых объектов, характеризующаяся минимальным значением совокупной кинетической энергии объектов.

Рассмотренные отталкивания объектов являются расчетными и к действительности могут не иметь никакого отношения.

Количество объектов при определении абсолютной системы координат ничем не ограничено. Это могут быть и два объекта, и звездная система.

Список источников

1. Орлов Д.А., Сайтова А.Г. Оптимальное управление космическим аппаратом при формировании орбиты искусственного спутника Юпитера на участке предварительного аэродинамического торможения // Труды МАИ. 2018. № 100. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=93375>
2. Сеницын А.А. Расчет траектории межпланетного перелета Земля-Марс с малой тягой без использования метода грависфер // Труды МАИ. 2017. № 94. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=80987>
3. Буслаев С.П., Воронцов В.А., Графодатский О.А. Проблемы моделирования посадок венерианских космических аппаратов для различных грунтов-аналогов // Труды МАИ. 2017. № 96. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=85909>
4. Воронцов В.А., Карчаев Х.Ж., Мартынов М.Б., Примаков П.В. Программа исследования Венеры и международное сотрудничество // Труды МАИ. 2016. № 86. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=65702>

5. Константинов М.С., Нгуен Д.Н. Оптимизация траектории к Юпитеру с учетом возможного временного выключения двигателя // Труды МАИ. 2015. № 79. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=55799>
6. 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)
7. Глебов И.В., Курмазенко Э.А., Романов С.Ю., Железняков А.Г. Прогнозирование функционирования перспективной системы обеспечения газового состава для длительных автономных пилотируемых космических полетов // Труды МАИ. 2014. № 73. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=48477>
8. Ву С.В. Оптимизация гелиоцентрических траекторий космического аппарата с солнечной электроракетной двигательной установкой с кластером однотипных двигателей // Труды МАИ. 2017. № 93. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=80299>
9. Матюшин М.М., Луценко Ю.С., Гершман К.Э. Синтез структуры органа управления полетом космических группировок // Труды МАИ. 2016. № 89. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=72869>
10. Зарецкий Б.Ф., Курмазенко Э.А., Прошкин В.Ю. Управление жизнеобеспечением экипажей космических объектов: системный подход // Труды МАИ. 2020. № 113. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=118179>. DOI: [10.34759/trd-2020-113-13](https://doi.org/10.34759/trd-2020-113-13)

11. Попов И.П. Интегральный вектор Умова, обратный импульс и другие механические величины // Труды МАИ. 2021. № 121. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=162635>. DOI: [10.34759/trd-2021-121-01](https://doi.org/10.34759/trd-2021-121-01)
12. Колпин М.А., Проценко П.А., Слащев А.В. Методика оценивания эффективности функционирования наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами // Труды МАИ. 2017. № 92. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=77144>
13. Кишко Д.В. Анализ точности определения собственных координат при использовании радионавигационной системы с малыми базами между передатчиками // Труды МАИ. 2014. № 78. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=53755>
14. 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: <https://trudymai.ru/published.php?ID=111430>. DOI: [10.34759/trd-2019-109-25](https://doi.org/10.34759/trd-2019-109-25)
15. Маклашов В.А., Пиганов М.Н. Алгоритм для определения смещения оценок координат // Труды МАИ. 2022. № 122. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=164198>. DOI: [10.34759/trd-2022-122-10](https://doi.org/10.34759/trd-2022-122-10)
16. Васильева С.Н., Кан Ю.С. О линеаризации модели возмущенного движения в задаче вероятностного анализа рассеивания баллистических траекторий // Труды МАИ. 2018. № 99. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=92015>

17. Рязанов В.В. Управление движением космического аппарата при бесконтактном уводе космического мусора // Труды МАИ. 2019. № 107. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=107837>
18. Улыбышев С.Ю. Математическое моделирование и сравнительный анализ схем применения аппарата-буксировщика для решения задачи увода объектов космического мусора на орбиту захоронения. Часть 1 // Труды МАИ. 2019. № 106. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=105746>
19. Баранов Н.А., Таипова Д.Р. Устройство для измерения параметров космических частиц и оценки их влияния на материалы спутникостроения // Труды МАИ. 2019. № 105. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=104270>
20. Пикалов Р.С., Юдинцев В.В. Обзор и выбор средств увода крупногабаритного космического мусора // Труды МАИ. 2018. № 100. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=93299>

References

1. Orlov D.A., Saitova A.G. *Trudy MAI*, 2018, no. 100. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=93375>
2. Sinitsyn A.A. *Trudy MAI*, 2017, no. 94. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=80987>
3. Buslaev S.P., Vorontsov V.A., Grafodatskii O.A. *Trudy MAI* 2017. № 96. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=85909>

4. Vorontsov V.A., Karchaev Kh.Zh., Martynov M.B., Primakov P.V. *Trudy MAI*, 2016, no. 86. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=65702>
5. Konstantinov M.S., Nguen D.N. *Trudy MAI*, 2015, no. 79. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=55799>
6. Popov I.P. *Trudy MAI*, 2021, no. 118. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=158210>. DOI: [10.34759/trd-2021-118-01](https://doi.org/10.34759/trd-2021-118-01)
7. Glebov I.V., Kurmazenko E.A., Romanov S.Yu., Zheleznyakov A.G. *Trudy MAI*, 2014, no. 73. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=48477>
8. Vu S.V. *Trudy MAI*, 2017, no. 93. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=80299>
9. Matyushin M.M., Lutsenko Yu.S., Gershman K.E. *Trudy MAI*, 2016, no. 89. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=72869>
10. Zaretskii B.F., Kurmazenko E.A., Proshkin V.Yu. *Trudy MAI*, 2020, no. 113. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=118179>. DOI: [10.34759/trd-2020-113-13](https://doi.org/10.34759/trd-2020-113-13)
11. Popov I.P. *Trudy MAI*, 2021, no. 121. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=162635>. DOI: [10.34759/trd-2021-121-01](https://doi.org/10.34759/trd-2021-121-01)
12. Kolpin M.A., Protsenko P.A., Slashchev A.V. *Trudy MAI*, 2017, no. 92. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=77144>
13. Kishko D.V. *Trudy MAI*, 2014, no. 78. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=53755>
14. Vinogradov A.V., Borukaeva A.O., Berdikov P.G. *Trudy MAI*, 2019, no. 109. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=111430>. DOI: [10.34759/trd-2019-109-25](https://doi.org/10.34759/trd-2019-109-25)

15. Maklashov V.A., Piganov M.N. *Trudy MAI*, 2022, no. 122. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=164198>. DOI: [10.34759/trd-2022-122-10](https://doi.org/10.34759/trd-2022-122-10)
16. Vasil'eva S.N., Kan Yu.S. *Trudy MAI*, 2018, no. 99. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=92015>
17. Ryazanov V.V. *Trudy MAI*, 2019, no. 107. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=107837>
18. Ulybyshev S.Yu. *Trudy MAI*, 2019, no. 106. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=105746>
19. Baranov N.A., Taipova D.R. *Trudy MAI*, 2019, no. 105. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=104270>
20. Pikalov R.S., Yudintsev V.V. *Trudy MAI*, 2018, no. 100. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=93299>

Статья поступила в редакцию 05.05.2022

Статья после доработки 07.05.2022

Одобрена после рецензирования 19.05.2022

Принята к публикации 21.06.2022

The article was submitted on 05.05.2022; approved after reviewing on 19.05.2022; accepted for publication on 21.06.2022.