



РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 612.322(045)

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.001



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЛИПИДОВ НА ВРЕМЯ ПЕРЕВАРИВАНИЯ БЕЛКОВ И УГЛЕВОДОВ ПИЩИ

Юрий Игнатьевич Матвеев ¹, Елена Витальевна Аверьянова ²

¹ ФГБУН «Институт биохимической физики им. Н.М. Эммануэля» РАН, Москва, Россия

² Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Бийск, Россия

¹ yu.matveev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4670-9846>

² averianova.ev@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2144-1238>

Аннотация. В связи с тем, что основные процессы пищеварения – протеолиз молекул белков и гидролиз углеводов – под действием ферментов протекают в условиях присутствия других компонентов пищи (липидов, минеральных добавок и др.), некоторые из которых существенно влияют на время переваривания, в статье рассмотрено действие одного из таких факторов – влияние липидов на время переваривания белков и углеводов. Аналитическое описание таких процессов представляет существенный интерес, например, при разработке диет, позволяя оптимизировать работу желудочно-кишечного тракта и принести максимальную пользу организму человека при усвоении определенного набора пищевых веществ. Поэтому проблема управления продолжительностью переваривания пищи в желудочно-кишечном тракте в зависимости от ее состава и соотношения компонентов приобретает все более актуальное значение. Материалом исследования послужили аналитические данные по содержанию белков, жиров и углеводов в основных группах продуктов питания и их времени переваривания в желудочно-кишечном тракте, а также данные о механизме влияния липидов на скорость гидролиза белков и углеводов. Показано, что повышенное содержание жиров приводит к резкому росту времени переваривания белка, содержащегося в продукте, и к соответствующим последствиям, связанным с их метаболизмом в организме человека. В то время как для углеводов, содержащихся в растительной пище, влияние липидов на их время переваривания менее выражено и его увеличение несущественно. На основании оптимума по содержанию жира, который приходится на крупы, предложено условно разделить продукты питания на две категории по времени усвоения круп в желудочно-кишечном тракте. Предлагаемый подход показывает, что жиры оказывают существенное влияние на процесс переваривания макронутриентов и учет их содержания в соответствующих пищевых продуктах может быть использован как один из критериев при разработке диет для разных групп населения с учетом возраста, физической нагрузки и других факторов, а также при реализации различных пищевых технологий.

Ключевые слова: белки, углеводы, жиры, время переваривания, температура перехода, функции пластификации, порядок агрегации, диета.

Для цитирования: Матвеев Ю. И., Аверьянова Е. В. Использование аналитических подходов для оценки влияния липидов на время переваривания белков и углеводов пищи // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 7–12. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.001. EDN: <https://elibrary.ru/RYPJSR>.

USING ANALYTICAL APPROACHES TO ASSESS EFFECT OF LIPIDS ON DIGESTION TIME OF PROTEINS AND CARBOHYDRATES IN FOOD

Yuri I. Matveev ¹, Elena V. Averyanova ²

¹ Emanuel Institute of Biochemical Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Biysk Technological Institute (branch) of the Polzunov Altai State Technical University, Biysk, Russia

¹ yu.matveev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4670-9846>

² averianova.ev@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2144-1238>

Abstract. Due to the fact that the main processes of digestion – proteolysis of protein molecules and hydrolysis of carbohydrates under the action of enzymes occur in the presence of other food components (lipids, mineral additives, etc.), some of which significantly affect the digestion time, the article considers the effect of one of these factors – the effect of lipids on the time digestion of proteins and carbohydrates. The analytical description of such processes is of significant interest, for example, in the development of diets, allowing to optimize the work of the gastrointestinal tract and bring maximum benefit to the human body when assimilating a certain set of nutrients. Therefore, the problem of managing the duration of digestion of food in the gastrointestinal tract, depending on its composition and the ratio of components, is becoming increasingly relevant. The research material was analytical data on the content of proteins, fats and carbohydrates in the main food groups and their digestion time in the gastrointestinal tract, as well as data on the mechanism of action of lipids on the rate of hydrolysis of proteins and carbohydrates. Based on the results of the review of the mechanism of action of food lipids on the rate of hydrolysis of proteins and carbohydrates in the gastrointestinal tract, it is shown that an increased fat content leads to a sharp increase in the digestion time of the protein contained in the product and to the corresponding consequences associated with their metabolism in the human body. While for carbohydrates contained in plant foods, the effect of lipids on their digestion time is less pronounced and its increase is insignificant. Based on the optimum fat content, which falls on cereals, it is proposed to conditionally divide food into two categories according to the time of assimilation of cereals in the gastrointestinal tract. The proposed approach shows that fats have a significant impact on the process of digestion of food substances and taking into account their content in the relevant products can be used as one of the criteria in the development of food diets for different population groups, taking into account age, physical activity, etc. and in the implementation of various food technologies.

Keywords: proteins, carbohydrates, fats, digestion time, transition temperature, plasticization functions, aggregation order, diet.

For citation: Matveev, Yu. I. & Averyanova, E. V. (2023). Using analytical approaches to assess effect of lipids on digestion time of proteins and carbohydrates in food. Polzunovskiy vestnik, (3), 7-12. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.001. EDN: <https://elibrary.ru/RYPJSR>.

ВВЕДЕНИЕ

Процессы, протекающие в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ), на протяжении многих лет являются предметом исследования не только медицины, но и ряда естественных наук: биологии, физики, химии, а также технических наук: пищевых технологий и пищевой инженерии.

Так как процесс пищеварения (протеолиз молекул белков и гидролиз углеводов под действием ферментов) протекает в условиях

присутствия других компонентов пищи (липидов, минеральных добавок и др.), некоторые из которых существенно влияют на $T_{пер}$, рассмотрим действие одного из таких факторов – влияние липидов на $T_{пер}$ белков и углеводов.

Как известно, различные виды пищи имеют разное время переваривания, начиная от 30 мин и заканчивая 360 мин. При этом время переваривания пищи в желудке $T_{пер}$ зависит от конкретного вида продуктов питания (табл. 1), содержания в них жиров и способов их приготовления [1, 2].

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЛИПИДОВ НА ВРЕМЯ ПЕРЕВАРИВАНИЯ БЕЛКОВ И УГЛЕВОДОВ ПИЩИ

Белки, взаимодействуя с липидами, способны влиять на липолиз триглицеридов [3, 4] и ингибировать липазу поджелудочной железы, в том числе за счет проявления эмульгирующих свойств [5, 6]. При этом белки с большой молекулярной массой обладают более выраженной склонностью к абсорбции в ЖКТ, чем белки с меньшей молекулярной массой [3]. Аналогичным образом липиды влияют на ферменты белков и углеводов пищи, а также способны блокировать аминокислотные остатки белков и углеводов пищи, на которые воздействуют ферменты. В результате гидролиза белков в ЖКТ и расщепления их до полипептидов, белковые молекулы теряют способность к ингибированию пищеварительных ферментов.

Рассмотрим механизм действия липидов на скорость гидролиза белков и углеводов. В качестве исходных данных используем результаты экспериментальных исследований, приведенных в [3–6].

Таблица 1 – Содержание белков, жиров и углеводов в пищевых веществах и их время переваривания $T_{пер}$ [8, 9]

Table 1 – Proteins, fats and carbohydrates content and their digestion time T_{dis} [8, 9]

Наименование продукта	Белки, %	Жиры, %	Углеводы, %	Время переваривания $T_{пер}$, мин
Свинина	14,6–16,4	27,8–33,0	0	360
Говядина, баранина	16,3–18,9	12,4–15,3	0	240
Курица	24,7	12,6	0	180
Крупы	10,1–12,5	1,6–3,8	57,8–70,9	120
Молочные продукты	2,5–4,0	3,0–5,0	4,8–19,6	120
Филе рыбы	7,0–23,0	2,0–34,0*	0	60
Яйца	12,7	11,5	0	45
Овощи, фрукты	0,3–5,0	0,1–0,65	2,3–19,7	30–40

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Об агрегации в бинарных биополимерных системах. В природе широко распространены бинарные биополимерные системы на основе белок-белковых и белок-углеводных взаимодействий. При этом протекающие в них процессы (например, гидролиза, когда один из белков является ферментом) под действием различных внешних факторов или веществ, представляют практический интерес не только для самих биологических систем как пример саморегулирования, но и для процессов пищеварения.

Как показывают данные по содержанию основных макронутриентов (табл. 1), повышенное содержание жиров в пищевом продукте приводит к росту его $T_{пер}$.

Рассматривая систему белок-фермент

МЕТОДОЛГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом исследования послужили доступные аналитические данные по содержанию белков, жиров и углеводов в основных группах продуктов питания и их времени переваривания в ЖКТ, представленные в таблице 1, а также данные о механизме действия липидов на скорость гидролиза белков и углеводов.

Аналитическое описание таких процессов представляет существенный интерес как в случае медицины (например, при разработке лекарств для замедления развития катаракты [7]), так и в случае пищевых наук – при разработке диет, которые позволяют оптимизировать работу ЖКТ и принести максимальную пользу организму человека при усвоении определенного набора пищевых веществ.

и/или углевод-фермент как элемент бинарной системы, образованной ею и молекулами жира, оценим, какое влияние на скорость гидролиза оказывает агрегация подобных систем с молекулами жира. Для определения начальной скорости агрегации (в данном случае скорости гидролиза) v как функции x (соотношение концентраций компонентов бинарной системы) предложено [7] выражение:

$$\left(\frac{v}{v_0}\right)^{1/n} = 1 - 24,85(1 - 0,9525(1 + 0,113x - 0,27x^2)) \times \frac{x}{1+x}, \quad (1)$$

где v_0 – начальная скорость агрегации (гидролиза) при $x = 0$, n – порядок агрегации, который, согласно [2], равен $n = 5,5$; $x = [\text{жир}]/[\text{белок(углевод)} + \text{фермент}]$; $[\text{жир}]$ и $[\text{белок(углевод)} + \text{фермент}]$ – концентрации жира и (белка (или углевода) + фермента) в

соответствующем продукте; v_0 – скорость агрегации белков (углеводов) и ферментов при отсутствии жиров.

Для продуктов питания, предложенных в таблице 1, рассчитаем их время пребывания в ЖКТ, используя уравнение (1).

О влиянии липидов на эффективность воздействия ферментов на белки и углеводы. Как показывают исследования по определению времени переваривания продуктов $T_{пер}$ (*digestion time of food*), представленных в таблице 1, по мере возрастания содержания жиров в исходном продукте происходит рост $T_{пер}$. Этот факт обусловлен связыванием липидов с молекулами белков и частичным блокированием действия протеаз [3–6, 10]. Таким образом, взаимодействие между белками и липидами

меняет картину гидролиза и должно учитываться в любой модели пищеварения.

Выполним ряд оценок влияния липидов на скорость агрегации v белков (углеводов) и ферментов с помощью выражения (1). При оценках будем полагать, что концентрация [белка (углевода) + фермента] ~ 5 [белка (углевода)]. Принятое соотношение обеспечивает более или менее разумные значения эффекта, и при необходимости его можно уточнить.

В таблице 2 представлены результаты расчета времени переваривания продуктов в отсутствии жиров – $(T_{пер})_0$ в соответствии с формулой (2).

$$(v \times T_{пер}) / (v_0 \times T_{пер,0}) \sim 1. \quad (2)$$

Таблица 2 – Влияние жиров на время переваривания $T_{пер}$ продукта

Table 2 – Effect of fats on the digestion time of the product T_{dis}

Наименование продукта	Белки, %	Жиры, %	Углеводы, %	v/v_0	$T_{пер}$, мин	$(T_{пер})_0$, мин
Овощи, фрукты	0,3–5,0	0,1–0,65	2,3–19,7	0,43	40	13
Яйца	12,7	11,5	0,0	0,45	45	20
Крупы (пшеница твердая)	12,5	1,9	6,0–7,5	0,84	120	100
Свинина	14,6–16,4	27,8–33,0	0,0	0,14	360	50

Примечание. В случае изменения содержания белков, жиров и углеводов в определенных пределах при оценке $(T_{пер})_0$, были использованы средние значения

Согласно данным таблицы 2, повышенное содержание жиров (например, в мясе свинины) приводит к резкому росту времени переваривания белков, содержащихся в продукте, и к соответствующим последствиям, связанным с их метаболизмом в организме человека.

Для углеводов, содержащихся в растительной пище (пшеничная крупа, овощи и фрукты), влияние липидов на их время переваривания менее выражено, и увеличение составляет 4–5 мин. Кроме того доказано, что белки, адсорбируясь на поверхности жировых капель, препятствуют гидролизу жиров липазой поджелудочной железы [3, 4].

Приведенные в таблице 2 значения $(T_{пер})_0$ показывают, что у рассмотренных продуктов имеется оптимум по содержанию жира, который приходится на крупы, т.е. крупы по времени их усвоения в ЖКТ условно делят продукты питания на две категории. Если обратиться к принятым в настоящее время диетам (Западной и Средиземноморской), то рассчитанное значение $(T_{пер})_0$ позволяет определить количественную базу под отбор

тех продуктов, которые могут быть отнесены к Средиземноморской диете (*Mediterranean diet*) и которая, по мнению медиков и диетологов, является наиболее «здоровой» для ЖКТ человека, обеспечивая хорошее самочувствие и оптимальный вес тела, существенно уменьшая образование токсичных веществ в организме, предотвращая воспалительные процессы и онкологические заболевания [11, 12].

Если допустить, что распределение $T_{пер}$ подчиняется нормальному закону, то можно определить границы отбора продуктов по среднему квадратичному отклонению σ . При $\langle T_{пер} \rangle = 120$ мин нижний предел $(T_{пер})_{min}$ составит 30 мин, из выражения $(T_{пер})_{min} = \langle T_{пер} \rangle - 3\sigma$ получим $\sigma = 30$ мин, а верхний предел $(T_{пер})_{max} = \langle T_{пер} \rangle + 3\sigma = 210$ мин, т.е. мясо птицы попадает в доверительный интервал Средиземноморской диеты.

Особо следует обратить внимание на мясо свинины, у которого $(T_{пер})_0$ составляет 50 мин. Это означает, что при соответствующей подготовке мяса и кулинарной обработке

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЛИПИДОВ НА ВРЕМЯ ПЕРЕВАРИВАНИЯ БЕЛКОВ И УГЛЕВОДОВ ПИЩИ

(например, удалении определенного количества жира) оно также может быть использовано в составлении рационов Средиземноморской диеты.

Относительно полученного доверительного интервала и соответствующему ему набору продуктов следует отметить, что Средиземноморская диета не исключает использование мясных продуктов. Например, для растущего организма и людей, занятых физическим трудом, необходимо использовать продукты с $\langle T_{пер} \rangle \leq T_{пер} \leq \langle T_{пер} \rangle + 3\sigma$, то для геродиетического питания рекомендуются продукты с $\langle T_{пер} \rangle \geq T_{пер} \geq \langle T_{пер} \rangle - 3\sigma$.

ВЫВОДЫ

Таким образом, по результатам проведенных расчетов выявлено, что скорость движения пищи в ЖКТ влияет на протекающие в кишечнике метаболические процессы. В этом плане Западная диета (*Western diet*), которой придерживается большинство населения земного шара, предполагает потребление в больших количествах мяса, яиц, жареной и соленой пищи, хлеба, жирных молочных продуктов, сладких десертов и напитков, чипсов, что не способствует сохранению и укреплению здоровья, и в последние десятилетия привело к росту количества людей с избыточным весом (порядка двух миллиардов, и их число постоянно растет). Лишний вес является одной из причин роста воспалительных и функциональных заболеваний ЖКТ, сердечнососудистой системы, эндокринных и легочных патологий, увеличивает риск возникновения злокачественных новообразований.

Средиземноморская диета, построенная на принципах употребления сложных углеводов, клетчатки и растительных жиров, необработанных пищевых продуктов, напротив, снижает вероятность негативных последствий для здоровья, и является профилактикой хронических неинфекционных заболеваний. При этом средиземноморская диета предполагает определенную технологию приготовления пищи и налагает ряд требований к продукции пищевой промышленности.

И если ранее при исследовании процессов пищеварения в ЖКТ в основном ограничивались процессами гидролиза белков и углеводов пищеварительными ферментами, то предлагаемый подход показывает, что жиры оказывают существенное влияние на процесс переваривания пищевых веществ и учет их содержания в продуктах питания может быть использован как один из критериев при разработке пищевых диет и при реализации различных пищевых технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долматова И.А., Зайцева Т.Н., Рябова В.Ф. Физиологические эффекты пищевых веществ // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2019. Т. 10, №1. С. 139–142.
2. Current in vitro digestion systems for understanding food digestion in human upper gastrointestinal tract / C. Li [et al.] // Trends in Food Science and Technology. 2020. Vol. 96. P. 114–126. doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.015.
3. Influence of emulsifier structure on lipid bioaccessibility in oil-water nanoemulsions / A. Speranza [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2013. Vol. 61, № 26. P. 6505–6515. doi.org/10.1021/jf401548r.
4. Impact of different biopolymer networks on the digestion of gastric structured emulsions / T.J. Wooster [et al.] // Food Hydrocolloids. 2014. Vol. 36. P. 102–114. doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.09.009.
5. Inhibition of lipases by proteins. A kinetic study with dicaprin monolayers / Y. Gargouri [et al.] // Journal of Biological Chemistry. 1985. Vol. 260, № 4. P. 2268–2273. doi.org/10.1016/S0021-9258(18)89549-7.
6. Inhibition of lipases by proteins: a binding study using dicaprin monolayers / Y. Gargouri [et al.] // Biochemistry. 1986. Vol. 25, № 7. P. 1733–1738. doi.org/10.1021/bi00355a043.
7. Матвеев Ю.И., Аверьянова Е.В. Об агрегации в бинарных биополимерных системах // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. Т. 10, № 2. С. 223–231. doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-2-223-231.
8. Скурихин И.М., Нечаев А.П. Все о пище с точки зрения химика. Москва: Высшая школа, 1991. 288 с.
9. Омаров Р.С., Сычева О.В. Основы рационального питания. Москва-Берлин: Directmedia, 2015. 78 с.
10. Adamberg K., Adamberg S. Selection of fast and slow growing bacteria from fecal microbiota using continuous culture with changing dilution rate // Microbial Ecology in Health and Disease. 2018. Vol. 29, № 1. P. 1–12. doi.org/10.1080/16512235.2018.1549922.
11. Акашева Д.У., Драпкина О.М. Средиземноморская диета: история, основные компоненты, доказательства пользы и возможность применения в российской реальности // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2020. Т. 16, № 2. С. 307–316. doi:10.20996/1819-6446-2020-04-03.
12. Ткачева Н., Елисеева Т. Средиземноморская диета – научное обоснование, доказанная польза для здоровья, преимущества и недостатки // Журнал здорового питания и диетологии. 2020. № 14. С. 72–80.

Информация об авторах

Ю. И. Матвеев – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник наук ФГБУН «Институт биохимической физики им. Н.М. Эммануэля» РАН.

Е. В. Аверьянова – кандидат химических наук, доцент кафедры биотехнологии

Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

REFERENCES

1. Dolmatova, I.A., Zaytseva, T.N. & Ryabova, V.F. (2019). Fiziologicheskie efekty pishchevykh veshchestv. *Aktual'nye problem sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya*, 10(1), 139-142. (In Russ.).
2. Li, C., Yu, W., Wu, P. & Chen, X.D. (2020). Current in vitro digestion systems for understanding food digestion in human upper gastrointestinal tract. *Trends in Food Science & Technology*, (96), 114-126. doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.015.
3. Speranza, A., Corradini, M.G., Hartman, T.G., Ribnický, D., Oren, A. & Rogers, M.A. (2013). Influence of emulsifier structure on lipid bioaccessibility in oil-water nanoemulsions. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(26), 6505-6515. doi.org/10.1021/jf401548r.
4. Wooster, T.J., Day, L., Xu, M., Golding, M., Oiseth, S., Keogh, J. & Clifton, P. (2014). Impact of different biopolymer networks on the digestion of gastric structured emulsions. *Food Hydrocolloids*, (36), 102-114. doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.09.009.
5. Gargouri, Y., Pieroni, G., Riviere, C., Sugihara, A., Sarda, L. & Verger, R. (1985). Inhibition of lipases by proteins. A kinetic study with dicaprin monolayers. *Journal of Biological Chemistry*, 260(4), 2268-2273. doi.org/10.1016/S0021-9258(18)89549-7.
6. Gargouri, Y., Pieroni, G., Riviere, C., Sarda, L. & Verger, R. (1986). Inhibition of lipases by proteins: a binding study using dicaprin monolayers. *Biochemistry*, 25(7), 1733-1738. doi.org/10.1021/bi00355a043.
7. Matveev, Yu.I. & Aver'yanova, E.V. (2020). Ob agregatsii v binarnykh biopolimernykh sistemakh. *Izv. vuzov. Prikl. khimiya i biotekhnologiya*, 10(2), 223-231. (In Russ.). doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-2-223-231.
8. Skurikhin, I.M. & Nechaev, A.P. (1991). Vse o pishche s toчки zreniya khimika: *Handbook*. Moscow: Vysshaya shkola, 288. (In Russ.).
9. Omarov, R.S. & Sycheva, O.V. (2015). *Osnovy ratsional'nogo pitaniya*. Moskva-Berlin: Directmedia, 78. (In Russ.).
10. Adamberg, K. & Adamberg, S. (2018). Selection of fast and slow growing bacteria from fecal microbiota using continuous culture with changing dilution rate. *Microbial ecology in health and disease*, 29(1), 1549922. doi.org/10.1080/16512235.2018.1549922.
11. Akasheva, D.U. & Drapkina, O.M. (2020). Sredizemnomorskaya dieta: istoriya, osnovnye komponenty, dokazatel'stva pol'zy i vozmozhnost' primeneniya v rossiyskoy real'nosti. *Ratsional'naya farmakoterapiya v kardiologii*, 16(2), 307-316. (In Russ.). doi:10.20996/1819-6446-2020-04-03.
12. Tkacheva, N. & Eliseeva, T. (2020). Sredizemnomorskaya dieta – nauchnoe obosnovanie, dokazannaya pol'za dlya zdorov'ya, preimushchestva i nedostatki. *Zhurnal zdorovogo pitaniya i dietologii*, (14), 72-80. (In Russ.).

Information about the authors

Yu. I. Matveev - Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Senior Researcher Emanuel Institute of Biochemical Physics, Russian Academy of Sciences.

E. V. Averyanova - Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor of the Department of Biotechnology of the Biysk Technological Institute (branch) of the Polzunov Altai State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.