Оригинальная статья
https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-63-68
УДК 626/627:624.078:624.15

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ АНКЕРОВ И ВАРИАНТЫ ИХ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

З.Г. Ламердонов[1], И.А. Жирикова[1], Т.Ю. Хаширова[2]✉

[1] Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова; 360030, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, пр. Ленина, 1в, Россия

[2] Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова; 360004, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, Россия

Аннотация. Авторами статьи впервые предложены комбинированные анкерные сооружения, которые могут быть эффективными и как проволочные анкеры, работающие на выдергивающую нагрузку, и как свайные анкеры, работающие на вдавливающее усилие. Такие сооружения эффективно применять как противооползневые сооружения, опорно-анкерные фундаменты, которые также запатентованы авторами и конструкции которые приводятся в статье. На практике такие сооружения необходимы в качестве фундамента, для столбов линий электропередач, высоких башен, подверженных большой ветровой нагрузке, и для других сооружений. Опора может работать как на вдавливающую нагрузку, так и на выдергивание, в зависимости от конкретных условий. В статье описана методика проведения экспериментальных исследований и представлены их результаты. При проведении исследований в качестве основных факторов были приняты диаметр сваи и конического наконечника, длина свайной части комбинированного анкера, расстояние от конца сваи до конического наконечника. В качестве параметра оптимизации было принято выдергивающее усилие.

Ключевые слова: комбинированный анкер, композитный материал, конусный наконечник, опорно-анкерный фундамент

Формат цитирования: Ламердонов З.Г., Жирикова И.А., Хаширова Т.Ю. Экспериментальные исследования комбинированных анкеров и варианты их практического применения // Природообустройство. 2024. № 2. С. 63-68. https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-63-68.

Original article

EXPERIMENTAL STUDIES OF COMBINED ANCHORS AND OPTIONS FOR THEIR PRACTICAL APPLICATION

Z.G. Lamerdonov[1], I.A. Zhirikova, T.Y. Khashirova

[1] Kabardino-Balkarian state agrarian university named after V.M. Kokov; 360030, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Lenin Ave., 1v, Russia

[2] Kabardino-Balkarian state university named after H.M. Berbekov; 360004, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Chernyshevskogo str., 173, Russia

Abstract. In the article, the authors for the first time proposed combined anchor structures that can work effectively as wire anchors working on a pulling load, as well as pile anchors working on a pressing force. Such structures can be effectively used as anti-landslide structures, support and anchor foundations, which are also patented by the authors and their designs are given in the article. In practice, such structures are necessary as foundations, for poles of power lines, high towers exposed to high wind loads and other structures. The support can work both on a pressing load and on pulling out, depending on the specific conditions. The research methodology is described and the results of experimental studies are presented. During the research, the following factors were taken as the main factors: the diameter of the pile and the conical tip, the length of the pile part of the combined anchor, the distance from the end of the pile to the conical tip. The pulling force was adopted as an optimization parameter.

Keywords: combined anchor, composite material, cone tip, support and anchor foundation

Format of citation: Lamerdonov Z.G., Zhirikova I.A., Khashirova T.Y. Experimental studies of combined anchors and options for their practical application // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 2. P. 63-68. https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-63-68

© Ламердонов З.Г., Жирикова И.А., Хаширова Т.Ю., 2024

Введение. Многие инженерные сооружения подвержены ветровой нагрузке, и фундаменты работают как на сжимающую, так и на выдергивающую нагрузку. Для таких сооружений более эффективным является использование опорно-анкерных фундаментов [1-3]. К инженерным сооружениям, которые могут работать как на сжимающую, так и на выдергивающую нагрузку, относятся опоры линий высоковольтных передач, высоконапорные башни, рекламные щиты и другие сооружения. Комбинированные анкеры находят широкое применение и для анкеровки противооползневых и противоэрозионных гидротехнических сооружений. Гидротехнические сооружения, укрепленные комбинированными анкерами, значительно более устойчивы против оползания и водной эрозии. Устойчивость откосов дамб против оползания с проволочными анкерами повышается в 2-3 раза.

Цель исследований: обоснование актуальности проблемы, связанной с необходимостью разработки фундаментов с двухсторонним действием, то есть сооружений, работающих одновременно и в качестве анкерных, и в качестве свай.

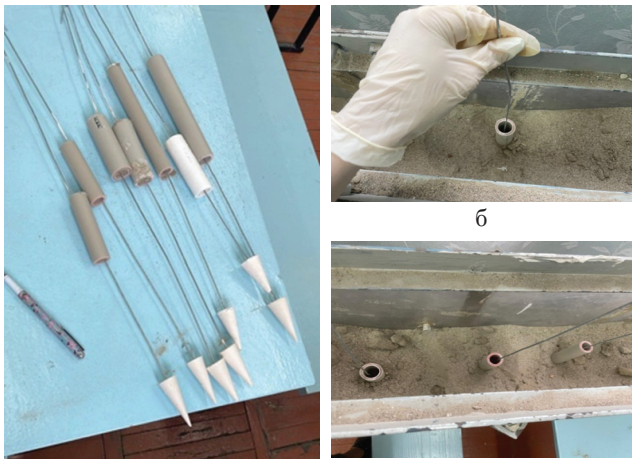
Материалы и методы исследований. Экспериментальные исследования проводились с применением математической теории планирования. Были определены основные факторы и параметры оптимизации. Основными факторами при проведении исследований являются: диаметр сваи и конического наконечника, X_1; длина свайной части комбинированного анкера, X_2; расстояние от конца сваи до конического наконечника, X_3.

Уровни варьирования основных факторов комбинированного анкера приведены в таблице 1. В качестве параметра оптимизации принята сила выдергивания.

Исследования проводились на лабораторной модели на песчано-пылеватом грунте (рис. 1). Однако следует отметить, что представленное техническое решение предлагается использовать для наскальных грунтов, причем эффективность использования проволочных анкеров возрастает на песчаном грунте. Схема лабораторных испытаний показана на рисунке 2.

Матрица плана проведения и результаты исследований комбинированных анкеров представлены в таблице 2.

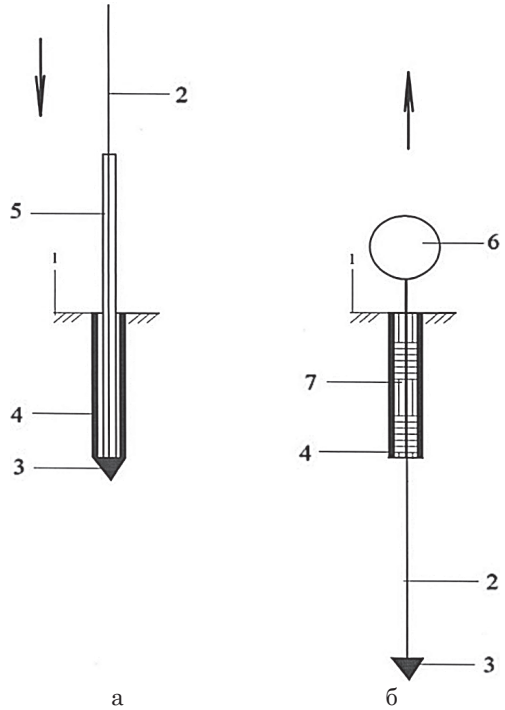
Модели комбинированных анкеров с коническим наконечником представлены на рисунке 3, схема – на рисунке 4.



а б в

Рис. 1. **Экспериментальные исследования комбинированных анкеров:**
а – общий вид комбинированных анкеров;
б – установка комбинированных анкеров;
в – испытание комбинированных анкеров

Fig. 1. **Experimental studies of combined anchors:**
а – general view of combined anchors;
б – installation of combined anchors;
в – testing of combined anchors



а б

Рис. 2. **Схема лабораторных испытаний:**
а – схема установки комбинированного анкера;
б – схема испытания на выдергивание комбинированного анкера;
1 – грунт; 2 – проволока; 3 – конический наконечник;
4 – модель сваи; 5 – направляющая штанга;
6 – динамометр; 7 – заливка гипсом

Fig. 2. **Laboratory test scheme:**
а – combined anchor installation diagram;
б – combined anchor pull-out test scheme;
1 – soil; 2 – wire; 3 – conical tip; 4 – pile model;
5 – guide rod; 6 – dynamometer; 7 – gypsum pouring

Таблица 1. **Уровни варьирования основных факторов комбинированного анкера**
Table 1. **Levels of variation of the main factors of the combined anchor**

Факторы *Factors*	**Уровни факторов** *Levels of factors*			**Интервал варьирования** *Interval of variation*
	–1	0	+1	
Диаметр сваи и конического наконечника, X_1, мм *Diameter of the pile and conical tip, X_1, mm*	10	20	30	10
Длина свайной части комбинированного анкера, X_2, мм *Length of the pile part of the combined anchor, X_2, mm*	10	20	30	10
Расстояние от конца сваи до конического наконечника, X_3, мм *Distance from the pile end to the conical tip, X_3, mm*	20	30	40	10

Таблица 2. **Матрица плана проведения и результаты исследований комбинированных анкеров**
Table 2. **Matrix of the implementation plan and results of combined anchor studies**

№ п/п	**Уровни варьирования факторов** *Levels of factors variation*				**Критерий оптимизации** *Criterion of optimization*
	X_0	X_1	X_2	X_3	**Сила выдергивания *P*, Н** *Pulling force P, H*
1	1	–1	–1	0	20
2	1	0	–1	1	65
3	1	0	–1	–1	50
4	1	1	–1	1	110
5	1	1	–1	1	100
6	1	–1	0	–1	80
7	1	1	0	1	118
8	1	1	0	1	115
9	1	–1	1	–1	70
10	1	–1	1	–1	75
11	1	1	1	1	125
12	1	0	1	1	95
13	1	0	0	0	83
14	1	0	0	0	80
15	1	0	0	0	85

Рис. 3. **Модели комбинированных анкеров с коническим наконечником**
Fig. 3. **Models of combined anchors with a conical tip**

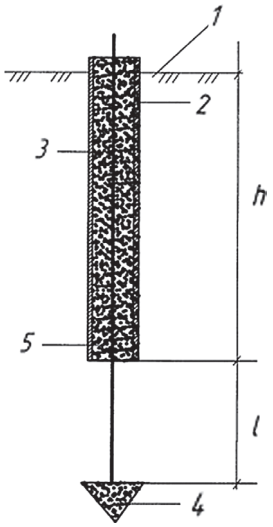


Рис. 4. **Поперечный разрез комбинированного анкера в рабочем положении, установленного на требуемую глубину:**
1 – грунт основания; 2 – свая длиной h;
3 – проволока с коническим наконечником 4;
5 – композиционный материал
Fig. 4. **Cross-section of the combined anchor in the working condition installed on the required depth:**
1 – soil of the foundation; 2 – pile of the length h;
3 – wire with a conical tip; 4;5 – composite material

Результаты и их обсуждение. Разработаны и запатентованы конструктивные решения комбинированного анкера и опорно-анкерного фундамента [5-13]. Опорно-анкерный фундамент показан на рисунках 5, 6.

В результате проведения эксперимента и математической обработки его результатов с использованием современных цифровых технологий были получены уравнения множественной регрессии, устанавливающие связь параметра оптимизации с основными выбранными факторами, влияющими на усилия. Уравнение связи имеет вид:

$$P = 82,67 - 2,25X_1 + 2,00X_2 + 20,50X_3 - \\ -5,00X_1X_2 + 93,67X_1X_3 + 13,00X_2X_3 - \\ -56,42X_1^2 - 1,50X_2^2 - 21,67X_3^2, \quad (1)$$

где X_1, X_2, X_3 – безразмерные значения факторов в кодированном виде; P – сила выдергивания (в безразмерных единицах).

Оценка адекватности полученной модели осуществлялась по критерию Фишера. Число Фишера, полученное по результатам экспериментальных исследований, меньше табличного значения, что свидетельствует об адекватности модели [3, 4].

Регрессионный факторный анализ результатов экспериментальных исследований комбинированных анкеров. Используя пошаговый метод, определяем наибольшие значения функции (1):

$$P_{kmax} = 124,249 \ (X_1 = 0,950, \ X_2 = 0,800, \ X_3 = 0,750).$$

Расчет в зоне максимума однофакторных моделей дает следующие уравнения:

$$P_{k\,max} = 50,447 + 82,436X_1; \quad (2)$$

$$P_{k\,max} = 88,468 + 89,862X_2; \quad (3)$$

$$P_{k\,max} = 112,700 + 31,650X_3. \quad (4)$$

Уравнения параметра оптимизации в зонах максимум относительно двух факторов имеют вид:

$$P_{k,max} = 85,856 + 7,500X_1 + 0,875X_2 + 93,670X_1X_2; \quad (5)$$

$$P_{k,max} = 48,161 + 72,686X_1 + 19,300X_3 + 13,000X_1X_3; \quad (6)$$

$$P_{k,max} = 76,020 + 90,987X_2 + 32,850X_3 - 1,500X_2X_3. \quad (7)$$

Наиболее значимыми факторами в результате ранжирования являются: диаметр сваи и конического наконечника, X_1; длина свайной части комбинированного анкера, X_2. Относительно этих двух факторов строятся поверхности отклика.

В формулах (2)-(7) значения $P_{k,max}$, максимальная сила выдергивания, а также факторов X_1, X_2, X_3 – безразмерные.

Формула для определения выдергивающего усилия P (кН) в зависимости от диаметра свай, длины свайной будет разработана на последующих этапах работы.

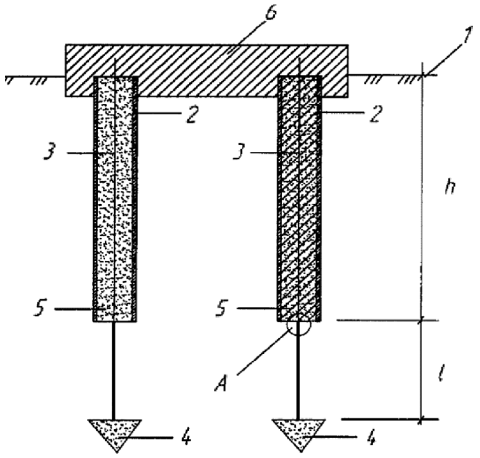


Рис. 5. **Поперечный разрез опорно-анкерного фундамента в рабочем положении:**
1 – грунт основания; 2 – свая длиной *h*;
3 – проволока; 4 – конический наконечник;
5 – композиционный материал;
6 – ростверк; 7 – изолятор

Fig. 5. **Cross-section of the support-anchor foundation in the working condition:**
1 – soil of the foundation; 2 – pile of the length h,
3 – wire; 4 – conical tip; 5 – composite material;
6 – grill; 7 – isolator

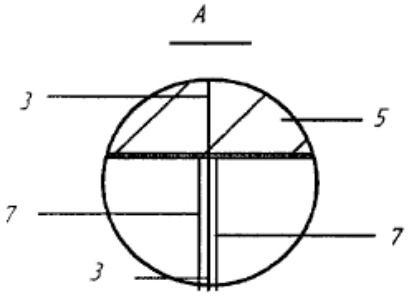


Рис. 6. **Узел А**
Fig. 6. **Unit A**

Таблица 3. **Ранжирование факторов в зоне max**
Table 3. **Ranking of factors in the max zone**

Значение ΔP_k X(3) / *Value ΔP_k X(3)*			**Степень влияния факторов при их ранжировании** *The degree of influence of factors in their ranking*
X_1	X_2	X_3	
164,872	179,723	63,300	$\Delta P_{k\{X_1\}} > \Delta P_{k\{X2\}} > \Delta P_{k\{X_3\}}$, max

Выводы

Обоснована актуальность проблемы, связанной с необходимостью разработки фундаментов с двухсторонним действием, то есть сооружений, работающих одновременно и как анкерные, и в качестве сваи. Такими сооружениями, для которых разработаны подобные фундаменты, являются высокие башни, рекламные щиты и другие сооружения, подверженные большой ветровой нагрузке. Представлено конструктивное решение комбинированного анкера и опорно-анкерного фундамента. Проведены экспериментальные исследования моделей сооружений с использованием математической теории планирования эксперимента, получено уравнение регрессии. Описана методика экспериментальных исследований и приведены их результаты. При проведении исследований в качестве основных факторов приняты диаметр сваи и конического наконечника, длина свайной части комбинированного анкера, расстояние от конца сваи до конического наконечника. В качестве параметра оптимизации принято выдергивающее усилие. Получена адекватная модель, адекватность проверена по критерию Фишер, осуществлен факторный анализ в зоне максимума. Наиболее значимыми факторами в результате ранжирования являются диаметр сваи и конического наконечника, длина свайной части комбинированного анкера. Комбинированные анкеры могут найти широкое применение в охране земель от водной эрозии, от оползней, в закреплении верховых откосов берегозащитных дамб и т.д.

Список использованных источников

1. **Хаширова Т.Ю., Ламердонов З.Г., Кузнецов Е.В.** Системный подход в решении экологических проблем охраны горных и предгорных ландшафтов управлением твердого стока // Экологические системы и приборы. 2007. № 9. С. 29-33.

2. **Хаширова Т.Ю., Ламердонов З.Г., Кузнецов Е.В.** Концептуальная модель охраны горных и предгорных ландшафтов как природно-техногенного комплекса природообустройства // Мелиорация и водное хозяйство. 2007. № 6. С. 43-46.

3. **Хаширова Т.Ю.** Методические основы статистического планирования эксперимента при проведении неуправляемых натурных исследований // Природообустройство и рациональное природопользование – необходимое условие социально-экономического развития страны: Сборник научных трудов. М.: МГУП, 2005. Ч. 2. С. 176-181.

4. Таблицы планов эксперимента для факторных полиномиальных моделей: Справочное пособие / В.З. Бродский и др. М.: Металлургия, 1982. 752 с.

5. Проволочный анкер с коническим наконечником: Патент № 2486317 РФ, МПК E02D17/20 (2006.01). / З.Г. Ламердонов, М.А. Еналдиева. Заявитель и патентообладатель – Кабардино-Балкарская государственная сельскохозяйственная академия им. В.М. Кокова. № 2011117973/03. Заяв. 04.05.2011. Опубл. 27.06.2013. Бюл. № 6с.

6. Устройство для анкеровки противооползневых сооружений: Патент № 2486316 РФ, МПК E02D17/20 / З.Г. Ламердонов, М.А. Еналдиева. Заяв. 04.05.2011. Опубл. 27.06.2013. Бюл. № 31.

7. Комбинированный анкер: Патент № 188078 РФ, МПК E02D27/50 (2006.01) / З.Г. Ламердонов, И.А. Хамукова. Заявитель и патентообладатель – Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова. № 2018143764. Заяв. 10.12.2018. Опубл. 28.03.2019.

8. Опорно-анкерный фундамент: Патент № 190605 РФ, МПК E02D27/50 (2006.01) / З.Г. Ламердонов, И.А. Хамукова. Заявитель и патентообладатель – Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова. № 2019109790. Заяв. 02.04.2019. Опубл. 04.07.2019. Бюл. № 19.

References

1. **Khashirova T.Yu.** A systematic approach to solving environmental problems of protection of mountain and foothill landscapes by solid runoff management / T.Yu. Khashirova Z.G. Lamerdonov, E.V. Kuznetsov // Ecological systems and devices. 2007. No. 9. P. 29-33.

2. **Khashirova T.Yu.** Conceptual model of protection of mountain and pre-mountain landscapes as a natural and technogenic complex of environmental management / T.Yu. Khashirova Z.G. Lamerdonov, E.V. Kuznetsov // Melioration and water management. 2007. No. 6. P. 43-46.

3. **Khashirova T.Y.** Methodological foundations of statistical experiment planning during uncontrolled field studies // Environmental management and rational nature management – a necessary condition for the socio-economic development of the country: Collection of scientific papers. Part 2. M.: MGUP, 2005. P. 176-181.

4. Tables of experimental plans for factorial polynomial models. Reference manual / Brodsky V.Z. et al. M.: Metallurgy, 1982.752 p.

5. **Patent No.** 2486317 of the Russian Federation IPC E02D17/20 (2006.01). Wire anchor with a conical tip /Lamerdonov Z.G., Enaldieva M.A.; Applicant and patent holder Kabardino-Balkarian State Agricultural Academy named after V.M. Kokov. – No.2011117973/03; Application 04.05.2011; Publ. 06/27/2013. Byul. No. 6s.

6. Patent 2486316 RF, IPC E02D17/20. Device for anchoring anti-landslide structures / Z.G. Lamerdonov, M.A. Enaldieva; application 04.05.2011; publ. 27.06.2013. Byul. No. 31.

7. Patent No.188078 of the Russian Federation IPC E02D27/50 (2006.01). Combined anchor / Lamerdonov Z.G., Khamukova I.A.; Applicant and patent holder Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov. No.2018143764; Application dated 10.12.2018; publ.: 03/28/2019.

8. Patent No.190605 of the Russian Federation IPC E02D27/50 (2006.01). Support and anchor foundation / Lamerdonov Z.G., Khamukova I.A.; Applicant and patent holder Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov. No.2019109790; Application 02.04.2019; publ.: 04.07.2019. Byul. No. 19.

9. **Enaldieva M.A.** Protection of landslide sites with anti–landslide structures – wire anchors with conical

9. **Еналдиева М.А.** Охрана оползневых участков противооползневыми сооружениями – проволочными анкерами с коническими и поворотными наконечниками: Дис. … канд. техн. наук / ФГОУВПО «Кубанский государственный аграрный университет». Краснодар, 2016. 178 с.

10. Способ возведения противоэрозионной защиты склонов: Патент № 2318096 РФ, МПК E02D17/20 / Т.Ю. Хаширова. Заяв. 16.05.2006. Опубл. 27.02.2008. Бюл. № 6.

11. Способ закрепления откосных креплений дамб: Патент № 2579032 РФ, МПК E02D17/20. / З.Г. Ламердонов. Заяв. 11.02.2015. Опубл. 27.03.2016. Бюл. № 9.

12. Способ закрепления дамб на низовом откосе: Патент № 2579035 РФ, МПК E02D17/20 / З.Г. Ламердонов. Заяв. 13.02.2015. Опубл. 27.03.2016. Бюл. № 9.

13. **Ламердонов З.Г.** Гибкие откосные крепления // Гидротехническое строительство. 2003. № 1. С. 39-43.

and rotary tips / dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / FGOUVPO "Kuban State Agrarian University", Krasnodar, 2016. 178 p.

10. Patent 2318096 RF, IPC E02D17/20. Method of erecting anti-erosion protection of slopes / T.Y. Khashirova; application. 05/16/2006; publ. 02/27/2008. Byul. No. 6.

11. Patent 2579032 RF, IPC E02D17/20. The method of fixing the slope fastenings of dams/ Z.G. Lamerdonov; application 11.02.2015; publ. 27.03.2016. Byul. No. 9.

12. Patent 2579035 RF, IPC E02D17/20. The method of fixing dams on the lower slope / Z.G. Lamerdonov; application 13.02.2015; publ. 27.03.2016. Byul. No. 9.

13. **Lamerdonov Z.G.** Flexible slope fasteners // Hydraulic engineering construction. 2003. No. 1. P. 39-43.

Об авторах

Замир Галимович Ламердонов, д-р техн. наук, профессор; SPIN-код 7975-9520, AuthorID: 360004; lamerdonov-zamir@rambler.ru

Инна Аликовна Жирикова, аспирант; SPIN-код 4171-6483, AuthorID: 360004; innazh94@mail.ru

Татьяна Юрьевна Хаширова, д-р техн. наук, профессор; SPIN-код 5948-9742, AuthorID: 360004; khashirova@mail.ru

Author information

Zamir G. Lamerdonov, DSC (Eng), professor; SPIN- код 7975-9520, AuthorID: 360004; lamerdonov-zamir@rambler.ru

Inna A. Zhirikova, post graduate student; SPIN 4171-6483, AuthorID: 360004; innazh94@mail.ru

Tatjana Yu. Khashirova, DSc (Eng), professor; SPIN 5948-9742, AuthorID: 360004; Khashirova@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Ламердонов З.Г., Жирикова И.А., Хаширова Т.Ю. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Lamerdonov Z.G., Zhirikova I.A., Khashirova T.Y. performed practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Конфликт интересов / Criteria of authorship

The authors declare no conflict of interests / Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / The authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 18.08.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 06.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 06.02.2024