

Научная статья

УДК 626.823.91

Обоснование выбора конструктивно-технологических решений при реконструкции оросительных каналов

Александр Юрьевич Гарбуз

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, a.y.garbuz@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1503-7300>

Аннотация. **Цель:** обоснование наиболее рациональных конструктивно-технологических решений противofильтрационных устройств бетонных облицовок и деформационных швов, применяемых при реконструкции оросительных каналов мелиоративных систем. **Материалы и методы.** Материалами к исследованию послужили труды российских ученых в области ремонта и реконструкции сооружений на мелиоративных системах различного назначения. В процессе проведения исследований использовались методы критического анализа. **Результаты.** Выявлены основные критерии выбора противofильтрационной защиты при реконструкции оросительных каналов, а также предложены технологические схемы производства работ по восстановлению деформационных швов с целью уменьшения потерь воды. Предложен алгоритм контроля и проведения ремонтно-восстановительных работ при реконструкции каналов (объектов) оросительных систем, который включает в себя определение объема выполняемых работ, а также вида необходимой реконструкции. **Выводы.** Рассмотрены рациональные конструктивно-технологические решения противofильтрационных устройств бетонных облицовок и деформационных швов (технических, технологических и эксплуатационных). Показаны технологические схемы производства работ по восстановлению деформационных швов с целью исключения непроизводительных потерь. Наряду с этим представлен алгоритм контроля и проведения ремонтно-восстановительных работ при реконструкции каналов (объектов) оросительных систем.

Ключевые слова: реконструкция, бетонная облицовка, деформационный шов, противofильтрационная защита, водонепроницаемость, канал, ремонт

Original article

Substantiation for the choice of structural and technological solutions for irrigation canals reconstruction

Aleksandr Yu. Garbuz

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, a.y.garbuz@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1503-7300>

Abstract. **Purpose:** substantiation of the most rational constructive and technological solutions for impervious devices of concrete lining and expansion joints used in the reconstruction of irrigation canals in reclamation networks. **Materials and methods.** The materials for the study were the works of Russian scientists in the field of repair and reconstruction of reclamation systems structures for various purposes. In the process of conducting research, the methods of critical analysis were used. **Results.** The main criteria for the selection of anti-seepage protection during the reconstruction of irrigation canals are identified, and technological schemes for the production work on the restoration of expansion joints in order to reduce water losses are proposed. An algorithm for monitoring and carrying out repair and restoration work during the reconstruction of canals (objects) of irrigation systems which includes determining the scope of work performed, as well as the type of reconstruction required, is

proposed. **Conclusions.** Rational constructive and technological solutions for impervious devices of concrete linings and expansion joints (technical, technological and operational) are considered. Technological schemes for the production of works on restoration of expansion joints are shown in order to exclude non-production losses. Along with this, an algorithm for monitoring and carrying out repair and restoration work during the reconstruction of canals (objects) of irrigation systems is presented.

Keywords: reconstruction, concrete lining, expansion joint, seepage protection, water resistance, canal, repair

Введение. Выбор противофильтрационной защиты при проведении реконструкции каналов оросительных систем осуществляют путем определения основных технических параметров и оценки технического состояния сооружения (канала). Оценку выполняют методом линейного замера и визуального осмотра технического состояния сооружения (канала), на котором планируется проведение реконструкции, систематизируя при обследовании наиболее выраженные области по его поперечному сечению, выделяя участки и пикетаж.

Посредством анализа выполненного обследования участков сооружения структурируются данные повреждений (линейные размеры) и их изображения, после чего принимается решение о проведении текущего (частичного) или капитального ремонта [1, 2].

Для определения основных линейных и объемных технических характеристик параметров каналов используют лазерные дальномеры, которые позволяют выполнять измерения наиболее точно и фиксировать их в памяти устройства. Наряду с этим для получения данных о расходе сооружения используют зависимость $Q = f(V, h)$ как при работе каналов (под водой), так и при их опорожнении в процессе эксплуатации. Впервые определение эффективности работы канала и его несущей и пропускной способности следует выполнять при полной его нагрузке (заполнении водой), далее при полном либо частичном опорожнении сооружения.

Перед проведением реконструкции после полного опорожнения канала от воды осуществляется отбор проб грунта, залегающих в основании и по сечению канала, для уточнения его физико-механических свойств. После оценки фактического технического состояния и изучения физико-механических свойств грунтов принимается решение о частичной либо полной реконструкции канала оросительной системы. При полной замене бетонной облицовки разрабатывается проект с учетом данных, полученных по результатам натурных обследований сооружения.

В этой связи целью настоящих исследований являлось обоснование наиболее рациональных конструктивно-технологических решений противофильтрационных устройств бетонных облицовок и деформационных швов, применяемых при реконструкции оросительных каналов мелиоративных систем.

Материалы и методы. Материалами к исследованию послужили труды российских ученых в области ремонта и реконструкции сооружений на мелиоративных системах различного назначения. В процессе проведения исследований использовались методы анализа и синтеза, дедукции и индукции.

Результаты и обсуждение. Основным и оптимальным критерием выбора и обеспечения противофильтрационной защиты русел открытых оросительных каналов является надежность, гарантирующая работу сооружения при его постоянной эксплуатации [2–6]. В целом под термином «эффективность» применительно к оросительным системам понимается оценка работы сооружения по коэффициенту полезного действия (КПД), который в первую очередь зависит от выбранной конструкции, технического состояния канала, грунтовых и гидрогеологических условий основания и качества выполняемых ремонтно-восстановительных работ:

$$\eta_{\text{кан}} = f(k'_{\text{обл}}, Q, q_{\text{ф}}, P_3, k_{\text{ф.гр}}, h_{\text{ТВ}}, W_{\text{исп}}, L_{\text{к}}),$$

где $\eta_{\text{кан}}$ – КПД канала;

$k'_{\text{обл}}$ – осредненный коэффициент фильтрации, зависящий от конструкции облицовки, м/сут;

Q – общий расход канала, м³/с;

$q_{\text{ф}}$ – фильтрационные потери из канала, м³/сут;

P_3 – показатель технического состояния:

$$P_3 = \frac{\eta}{\eta_{\text{тр}}},$$

где η – фактический КПД;

$\eta_{\text{тр}}$ – требуемый КПД;

$k_{\text{ф.гр}}$ – коэффициент фильтрации грунта основания, м/с;

$h_{\text{ТВ}}$ – глубина залегания уровня грунтовых вод, м;

$W_{\text{исп}}$ – потери воды в канале на испарение, мм;

$L_{\text{к}}$ – общая протяженность канала, м.

Отмечено, что эксплуатируемые конструкции противофильтрационных облицовок оросительных каналов имеют различную эксплуатационную надежность и эффективность, это обусловлено множеством факторов. Среди них следует выделить те, которые влияют на надежность всей конструкции, а именно:

- конструктивные;
- технологические;
- эксплуатационные.

Для наиболее рационального применения противофильтрационных покрытий необходим оптимальный уровень надежности, который обеспечивается минимальными затратами с учетом гидрологических условий трассы оросительного канала, а также мелиоративных и экологических требований [5].

Под надежностью противофильтрационных облицовок понимается способность за время эксплуатации сооружения в течение прогнозируемого срока службы сохранять свои качества на требуемом уровне с допустимой степенью повреждаемости отдельных их элементов [3, 4].

На основании анализа причин отказов работы противофильтрационных облицовок надежность их работы следует оценивать по следующим основным показателям:

- а) техническому – осредненному коэффициенту фильтрации облицовки $k'_{\text{обл}}$;
- б) технологическому – поврежденности противофильтрационного элемента и нарушению герметичности деформационных швов в период строительства и за время эксплуатации P ;
- в) эксплуатационному – долговечности (сроку службы) противофильтрационного покрытия τ .

Соблюдение приведенных допускаемых значений осредненных коэффициентов фильтрации облицовок сможет обеспечить высокую их противофильтрационную эффективность и позволит повысить КПД оросительных каналов до 0,97. Применение противофильтрационной защиты на оросительных каналах позволяет предотвращать фильтрационные потери, подтопление и засоление приканальных территорий [7–9].

Под отказом противофильтрационных облицовок понимается случайное событие в виде повреждений и дефектов противофильтрационного элемента, которые при-

водят к существенным потерям воды на фильтрацию и вследствие этого подъему уровня грунтовых вод на приканальных территориях.

Другим показателем надежности противофильтрационных облицовок следует считать повреждаемость противофильтрационного элемента П, который формируется в период строительства или реконструкции.

Противофильтрационная защита каналов на оросительных системах при проведении реконструкции бетонных облицовок в значительной мере зависит от степени их износа (повреждений). Так, при поврежденности бетонного полотна, составляющей порядка 50 %, предусматривается полная его замена. На устойчивых и среднеустойчивых основаниях целесообразно применять сборные и сборно-монолитные противофильтрационные облицовки, выполняемые на межхозяйственных и внутрихозяйственных мелиоративных сетях. В этой связи КПД каналов, прошедших реконструкцию, должен достигать 0,94–0,96. При средней степени повреждения бетонного покрытия, составляющей 10–50 %, необходимо производить восстановление (ремонт) по уже существующему бетонному полотну. Для покрытий с незначительной поврежденностью 10–20 % следует выполнять частичную замену по характерным разрушенным участкам. При наиболее низкой степени повреждаемости, которая характеризуется значением до 10 %, восстановительные работы выполняются по обнаруженным повреждениям (трещины, сколы, выбоины, разрушенные деформационные швы).

В свою очередь, при длительной эксплуатации мелиоративных систем снижается водонепроницаемость устроенных противофильтрационных покрытий, что способствует увеличению фильтрационных потерь, разрушению бетонных покрытий и, как следствие, ухудшению несущей способности всей конструкции [8]. Образование различных повреждений в виде трещин и сколов на поверхности облицовок, а также на продольных и поперечных стыках приводит к выходу из строя противофильтрационных устройств. Для обеспечения надежного уплотнения трещин, образовавшихся на бетонных облицовках, используются методы прогнозирования их образования. Для обоснования применения наиболее рациональных ремонтных материалов при проведении реконструкции определяют параметры трещин, наибольшая длина трещины будет равна:

$$\Delta l = \Delta l_t + \Delta l_B + \Delta l_\Gamma,$$

где Δl_t – деформации в трещине по ее длине и ширине, мм;

Δl_B , Δl_Γ – деформации от вертикальных и горизонтальных смещений плит, мм, а ширина раскрытия трещин (Δb), м, по В. Б. Резнику [10], будет определяться как:

$$\Delta b = \Delta b_t + \Delta b_h,$$

где Δb_t – деформации в плитах по их длине и ширине от воздействия температуры, мм;

Δl_B , Δl_Γ , Δb_h – деформации от вертикальных и горизонтальных смещений плит, мм.

Исследованиями В. Б. Резника [10] установлено, что деформации от воздействия температуры можно определить по следующим зависимостям:

- при поперечной по отношению к каналу укладке бетонных плит:

$$\Delta b_t = \alpha L(t_2 - t_1);$$

- при продольной по отношению к каналу укладке бетонных плит:

$$\Delta b_t = \alpha B(t_2 - t_1),$$

где α – коэффициент линейного расширения бетона;

L , B – длина и ширина бетонной плиты, м;

$t_2 - t_1$ – разность температур, °С.

Деформации от вертикальных смещений (Δb_h), м, определяют по формуле:

$$\Delta b_h = h^2(2l - b),$$

где h – вертикальные смещения по высоте (наибольшая ширина раскрытия трещины), мм;

l – длина раскрытия трещины, м;

b – ширина раскрытия трещины, м.

После получения данных о повреждениях противофильтрационных устройств на выбранных участках каналов для проведения ремонтно-восстановительных работ осуществляется реконструкция, которая характеризуется выполнением последовательного алгоритма работ (рисунок 1).



Рисунок 1 – Алгоритм контроля и проведения работ при реконструкции каналов (объектов) оросительных систем

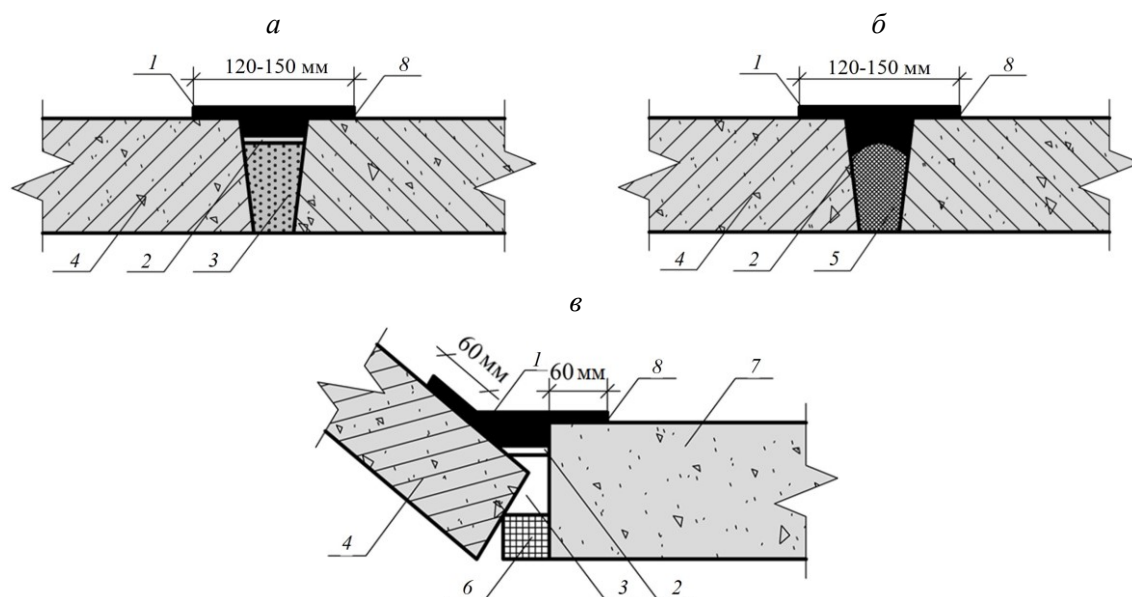
Figure 1 – Algorithm for monitoring and carrying out work during the reconstruction of canals (objects) of irrigation systems

При проведении реконструкции оросительных каналов особое внимание должно быть уделено деформационным швам, через которые теряется значительный объем воды. Для конструкций швов в сборных монолитных комбинированных облицовках могут быть использованы технологические схемы производства работ (рисунки 2 и 3):

- механизированным способом с использованием заливщика швов при больших объемах герметизации швов;
- ручным способом при малых объемах работ по герметизации швов на каналах глубиной до 3 м.

Представленные виды деформационных швов отличаются хорошей работоспособностью и высокой надежностью при соблюдении соответствующих требований при их устройстве. Положительное свойство подобных конструкций – безотказность их работы в течение продолжительного срока эксплуатации. Однако наряду с этим имеется и серьезный недостаток: они характеризуются значительной трудоемкостью.

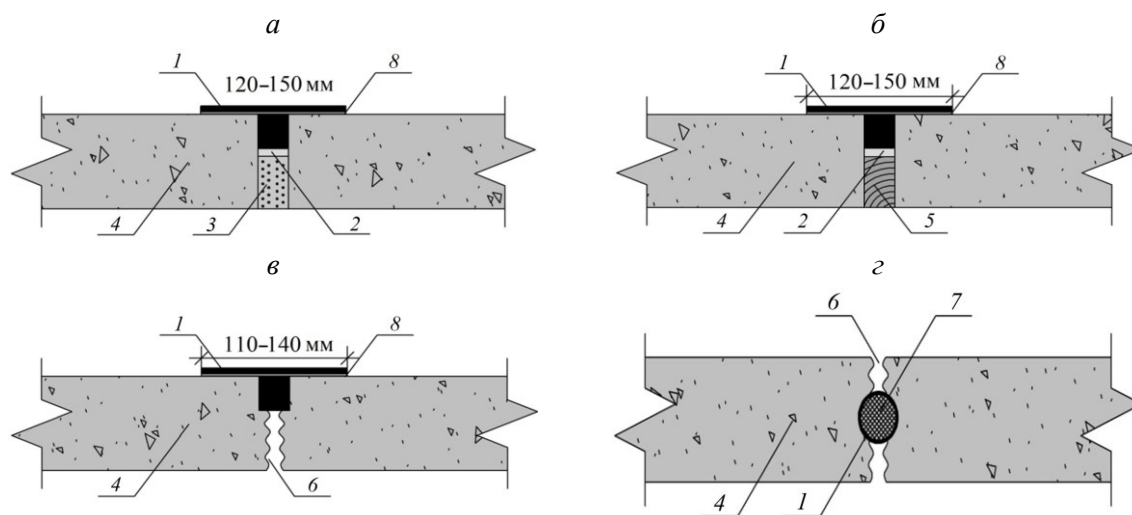
В связи с этим основное требование, которое устанавливается к деформационным швам облицовок каналов, – герметичность и надежность в процессе их продолжительной эксплуатации.



а, б – конструкции шва, применимые для любого варианта устройства облицовки из сборных железобетонных плит; *в* – конструкция шва, применимая для сопряжения откосных сборных плит; *1* – битумно-полимерная мастика; *2* – противоадгезионный слой; *3* – цементный раствор; *4* – сборные железобетонные плиты; *5* – пороиол; *б* – упорные призмы из бетона; *7* – монолитный бетон; *8* – заплечики из битумно-полимерной мастики

Рисунок 2 – Конструкции деформационных швов сборных и комбинированных облицовок каналов

Figure 2 – Designs of expansion joints prefabricated and combined canal linings



а, б – конструкции деформационных швов монолитных облицовок каналов; *в, г* – конструкции ложных температурно-усадочных швов монолитных облицовок каналов; *1* – битумно-полимерная мастика; *2* – противоадгезионный слой; *3* – цементный раствор М-100; *4* – монолитный бетон; *5* – антисептированный деревянный брус; *б* – усадочные трещины; *7* – пороиол; *8* – заплечики из битумно-полимерной мастики

Рисунок 3 – Конструкции деформационных и ложных швов в монолитных облицовках каналов

Figure 3 – Designs of deformation and false seams in monolithic canal linings

Выводы

1 Рассмотрены рациональные конструктивно-технологические решения противофильтрационных устройств бетонных облицовок и деформационных швов, которые выбираются на основании главных показателей надежности (технических, технологических и эксплуатационных). Наряду с этим показаны технологические схемы производства работ по восстановлению деформационных швов с целью исключения производственных и фильтрационных потерь.

2 Представлен алгоритм контроля и проведения ремонтно-восстановительных работ при реконструкции каналов (объектов) оросительных систем, регламентирующий всю последовательность и объем выполняемых работ на оросительных системах (объектах).

Список источников

1. Алимов А. Г. Противофильтрационная защита каналов и водоемов // Гидротехническое строительство. 2008. № 4. С. 36–41.

2. Косиченко Ю. М., Бородин В. А., Ищенко А. В. Инструкция по расчету водопроницаемости и эффективности противофильтрационных облицовок каналов / Союзгипроводхоз, ЮжНИИГиМ. М., 1984. 72 с.

3. Защитные покрытия оросительных каналов / В. С. Алтунин [и др.]. М.: Агропромиздат, 1988. 160 с.

4. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Рекомендации по применению геосинтетических материалов для противофильтрационных экранов каналов, водоемов и накопителей / ФГБНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск, 2015. 65 с. Деп. в ВИНТИ РАН 12.01.15, № 1-B2015.

5. Ищенко А. В. Повышение эффективности и надежности противофильтрационных облицовок оросительных каналов. Ростов н/Д.: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2006. 212 с.

6. Ольгаренко В. И., Ольгаренко Г. В., Рыбкин В. Н. Эксплуатация и мониторинг мелиоративных систем. Коломна, 2006. 391 с.

7. Косиченко Ю. М., Иовчу Ю. И. Критерии эксплуатационной надежности оросительных каналов // Природообустройство. 2008. № 1. С. 70–73.

8. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Многослойные конструкции противофильтрационных покрытий с бентонитовыми матами и оценка их сравнительной эффективности // Гидротехническое строительство. 2019. № 3. С. 37–43.

9. Косиченко Ю. М., Угроватова Е. Г., Баев О. А. Обоснование расчетных зависимостей фильтрационных сопротивлений конструкций облицовок каналов // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 2015. Т. 278. С. 35–46.

10. Резник В. Б. Новые материалы и конструкции на основе полимеров в водохозяйственном строительстве. Киев: Будивельник, 1987. 176 с.

References

1. Alimov A.G., 2008. *Protivofil'tratsionnaya zashchita kanala i vodoemov* [Anti-filtration protection of canals and water bodies]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction], no. 4, pp. 36-41. (In Russian).

2. Kosichenko Yu.M., Borodin V.A., Ishchenko A.V., 1984. *Instruktsiya po raschetu vodopronitsaemosti i effektivnosti protivofil'tratsionnykh oblitsovok kanalov* [Recommendations on Permeability and Efficiency Calculation of Seepage-control Linings of the Channels]. Soyuzgiprovodkhov, YuzhNIIGiM, Moscow, 72 p. (In Russian).

3. Altunin V.S. [et al.], 1988. *Zashchitnye pokrytiya orositel'nykh kanalov* [Protective Coatings for Irrigation Canals]. Moscow, Agropromizdat Publ., 160 p. (In Russian).

4. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2015 *Rekomendatsii po primeneniyu geosinteticheskikh materialov dlya protivofil'tratsionnykh ekranov kanalov, vodoemov i nakopiteley* [Recommendations on the Use of Geosynthetic Materials for Impervious Screens of Canals, Reservoirs and Waste Ponds]. Novocherkassk, 65 p., deposited in VINITI RAS on 12.01.2015, no. 1-B2015. (In Russian).

5. Ishchenko A.V., 2006. *Povyshenie effektivnosti i nadezhnosti protivofil'tratsionnykh oblitsovok orositel'nykh kanalov: monografiya* [Improving the Efficiency and Reliability of Impervious Linings of Irrigation Canals]. Rostov-on-Don, Journal "Bulletin of Universities in North-Caucasian region" Publ., 212 p. (In Russian).

6. Olgarenko V.I., Olgarenko G.V., Rybkin V.N., 2006. *Ekspluatatsiya i monitoring meliorativnykh system* [Operation and Monitoring of Reclamation Systems]. Kolomna, 391 p. (In Russian).

7. Kosichenko Yu.M., Iovchu Yu.I., 2008. *Kriterii ekspluatatsionnoy nadezhnosti orositel'nykh kanalov* [Criteria for operational reliability of irrigation canals]. *Prirodobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 1, pp. 70-73. (In Russian).

8. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2019. *Mnogosloynnye konstruksii protivofil'tratsionnykh pokrytiy s bentonitovymi matami i otsenka ikh sravnitel'noy effektivnosti* [Multilayer structures of impervious coatings with bentonite mats and assessment of their comparative efficiency]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction], no. 3, pp. 37-43. (In Russian).

9. Kosichenko Yu.M., Ugrovatova E.G., Baev O.A., 2015. *Obosnovanie raschetnykh zavisimostey fil'tratsionnykh soprotivleniy konstruksiy oblitsovok kanalov* [Justification of the calculated dependences of seepage resistances of canal lining structures]. *Izvestiya VNIIG im. B. E. Vedeneeva* [Proc. of VNIIG named after B. E. Vedeneev], vol. 278, pp. 35-46. (In Russian).

10. Reznik V.B., 1987. *Novye materialy i konstruksii na osnove polimerov v vodokhozyaystvennom stroitel'stve* [New Materials and Structures Based on Polymers in Water Industry Construction]. Kyiv, Budivelnik Publ., 176 p. (In Russian).

Информация об авторе

А. Ю. Гарбуз – научный сотрудник, кандидат технических наук.

Information about the author

A. Yu. Garbuz – Researcher, Candidate of Technical Sciences.

Автор несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

The author is responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.10.2022; одобрена после рецензирования 15.11.2022; принята к публикации 18.11.2022.

The article was submitted 20.10.2022; approved after reviewing 15.11.2022; accepted for publication 18.11.2022.