

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ, СООРУЖЕНИЯ

DOI: 10.15593/2409-5125/2024.03.01

УДК 624.011.17

О.В. Третьякова¹, Д.Д. Злобин²

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет

²Пермский государственный аграрно-технологический университет

ПОВЫШЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ: ДИСПЕРСНОЕ АРМИРОВАНИЕ

Физические, технологические и эстетические свойства древесины, а также стойкость к агрессивным средам позволяют использовать ее для конструкций больших пролетов в промышленном и гражданском строительстве. Однако невысокие прочностные показатели ограничивают такие возможности, приводят к увеличению размеров сечений. От этого возрастает отапливаемый объем зданий, что требует большего количества затрат на эксплуатацию. Для повышения прочностных показателей древесины традиционно используется армирование напряженных зон стержневыми и пленочными материалами. Такие методы широко освещены в научной и технической литературе. В данной статье обсуждается дисперсное армирование конструктивных элементов из древесины, которое представлено в малом количестве публикаций. Метод заключается в армировании изгибаемого элемента базальтовой фиброй по всей высоте в зоне клеевого шва. Такое объемное армирование позволяет повысить не только сопротивление деревянных конструкций нагрузке в рамках предельных состояний, но и уменьшить влияние усушки и разбухания древесины в процессе эксплуатации. Результаты эксперимента показали, что разрушающая нагрузка для образцов с фиброй выше, чем без фибры. Сопротивление изгибу такого древесного композита увеличивается ориентировочно на девять процентов. Характер разрушения элемента, армированного фиброй, постепенный и отличается наличием большего количества плоскостей разрыва. Все это говорит о позитивном вкладе базальтовой фибры в работу деревянной конструкции при изгибе. По итогам механических испытаний получен временный предел прочности древесины, армированной базальтовой фиброй. Направлениями дальнейшей работы является изучение макро- и микроструктуры древесного композита с базальтовой фиброй; армирование древесины различными волокнами; исследование других видов напряженно-деформированного состояния деревянных дисперсно-армированных элементов.

Ключевые слова: древесина, армированная древесина, деревянный образец, фибра, базальт, механические испытания, прочность, напряженно-деформированное состояние.

А.Л. Лазарев и соавт. [1] отметили достоинства древесины как конструкционного и материала и показали возможность их улучшения за счет сочетания древесины с различными материалами и элементами. В качестве примеров приведены стержни, листовые элементы, ткани и пленки. М.В. Лукин [2] считает, что актуальность темы армирования деревянных конструкций связана не только с улучшением их несущей способности, но и с повышением эффективности использования ценной древесины. Традиционным видом армирования древесины является *стержневая арматура*. Накоплен большой опыт армирования древесины стальной гибкой и жесткой арматурой [3; 4], а также неметаллическими стержнями [5].

В.О. Стоянов [6] предложил клеивать армирующие ламели в специально выполненные продольные пазы в деревянных элементах для получения композитных конструкций.

A. Borri et al. [7] провели экспериментальные исследования деревянных балок, армированных на внешних гранях композитной арматурой в виде тканых материалов. Это были ткани из конопли, льна, базальтовых и бамбуковых волокон. Акцент был сделан на использовании натуральных материалов для армирования древесины. В работе [8] предлагается армирование деревянной клееной балки стекловолоконными ткаными материалами в клеевых швах. Одной из последних моделей армирования древесины является введение углеродных нанотрубок в клеевой состав для приклеивания композитной арматуры [9].

Армированию подлежат не только изгибаемые элементы из древесины, балки, но и сжатые элементы – колонны. Последние испытывают продольный изгиб, который не позволяет полностью реализовать прочностные свойства древесины. R.B. O’Callaghan et al. [10] провели испытания деревянных колонн квадратного сечения, покрытых слоем стеклопластика, и получили улучшение механических характеристик конструкций. Подобные исследования проводились для колонн круглого сечения [11].

Д.М. Лобов и соавт. [12] проводили исследование деревянных элементов с внешним армированием углеродным волокном. Волокно наносилось на верхнюю и нижнюю грань балок. Они исследовали постоянное и переменное армирование по длине балки.

В текущей строительной практике набирают популярность CLT-панели из перекрестно-клееной древесины. В работе [13] предложено армировать нижнюю поверхность CLT-панелей углеродными и базаль-

товыми тканями, усиленными полимерными волокнами. Тем самым они добились повышения прочностных и деформационных показателей панелей, работающих на изгиб.

Gomez et al. [14] армировали деревянные балки углеродным, базальтовым, стеклянным и металлическим волокном. Волокна закреплялись на наружных гранях балок при помощи эпоксидных смол. Эксперимент показал, что армирующие материалы, изготовленные из волокон с низким модулем упругости, таких как базальтовые и стеклянные, дают лучшие результаты в части увеличения прочности балок на изгиб.

В существующих публикациях рассматривается армирование по большей части поверхностей деревянных элементов. Для этого часто используются листовые или тканые материалы. В рассмотренных выше работах показан очевидный прирост прочности таких древесных композитов. Однако долговечность совместной работы внешнего листового материала с древесиной вызывает сомнения у исследователей [15]. Тогда как дисперсное армирование способно обеспечить «вязкую» работу волокна в составе древесины. Известно, что «вязкая» работа древесины более позитивна, чем хрупкая, в силу ее строения и свойств. Целью данной работы является повышение прочностных показателей древесины путем дисперсного армирования. Для достижения цели проведены лабораторные эксперименты и определены прочностные показатели древесины, армированной базальтовым волокном, называемым также в технической литературе фиброй.

Дисперсное армирование волокном (далее фибра) имеет целью снизить расчетные усилия в элементах, характерные для того или иного вида напряженно-деформированного состояния. В изгибаемом элементе расчетными усилиями являются момент и поперечная сила, вызывающие нормальные и касательные напряжения, связанные с оценкой по первой группе предельных состояний. С позиции второй группы предельных состояний мы стремимся ограничить прогиб элемента за счет такого армирования. Кроме того, дисперсное армирование волокном древесно-волокнутой матрицы позволяет снизить влияние усушки и разбухания древесины в процессе эксплуатации.

Ниже приведены данные экспериментальных исследований прочностных показателей деревянных дисперсно-армированных элементов, работающих на изгиб. В свою очередь влияние базальтовой фибры на физико-механические показатели древесины, такие как усушка и разбухание в процессе эксплуатации, находится в стадии испытаний.

Коэффициент линейного расширения базальтовой фибры ниже, чем стальной. Поэтому вероятность совместного восприятия нагрузки древесины с базальтом выше, чем для древесины в сочетании со стальной арматурой. Если принять во внимание коррозионную стойкость базальтового волокна и высокую прочность на разрыв, то его преимущество над стальной фиброй становится очевидным.

Материалы и методы. Было изготовлено два вида образцов в лабораторных условиях. Образцы представляли собой два бруска сечением 20×20 мм из древесины сосны первого сорта. Бруски склеены эпоксидной смолой и выдержаны под давлением в лабораторном прессе. Первый вид образцов – без базальтовой фибры. Второй образец изготовлен с добавлением базальтовой фибры. Характеристики базальтовой фибры приведены в табл. 1. Подготовка образца с фиброй проиллюстрирована на рис. 1.

Таблица 1

Характеристики базальтовой фибры

Вид волокна (фибры)	Длина, мм	Диаметр, мкм	Плотность, г/см ³	Модуль упругости, МПа	Прочность на растяжение, МПа	Удлинение при разрыве, %
Базальтовое рубленое*	12 ± 1	17	2,6–2,7	7000 - 11000	1600–3200	1,4–3,6

Примечание: * СТО НОСТРОЙ ФБТК – 2013.



а



б

Рис. 1. Подготовка образца с фиброй: а – базальтовая фибра; б – образец с фиброй перед запрессовкой



Рис. 2. Проведение испытаний



а



б

Рис. 3. Характер разрушения образцов:
а – образец без фибры; *б* – образец с фиброй

Испытания на изгиб проводились в лабораторном прессе по методике ГОСТ 16483.3, как показано на рис. 2. Скорость нагружения была постоянна. Испытание заканчивалось, когда образец разрушался. Характер разрушения обоих образцов показан на рис. 3.

Погрешность определения разрушающей нагрузки составляла не более одного процента.

Результаты и их обсуждение. Результаты испытаний образцов приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Результаты испытаний образца без фибры

№ опыта	Разрушающая нагрузка, кН
1	2,1
2	2,2
3	2,3
Среднее значение	2,2

Таблица 3

Результаты испытаний образца с базальтовой фиброй

№ опыта	Разрушающая нагрузка, кН
1	2,4
2	2,3
3	2,5
Среднее значение	2,4

Как видно из данных рис. 3, разрушение образца с фиброй произошло постепенно, по большому количеству плоскостей разрыва. Характер разрушения образца с фиброй в большей степени пластический, по сравнению с образцом без фибры. Данные табл. 2 и 3 показывают, что разрушающая нагрузка для образцов с базальтовой фиброй выше, чем для образцов без таковой. Таким образом, характер разрушения и величина разрушающей нагрузки говорят о позитивном вкладе фибры в сопротивление образцов изгибу.

В итоге проведения эксперимента после обработки результатов был получен средний временной предел прочности, вычисленный по формуле

$$R^{bp} = \frac{3FL}{2bh^2}, \quad (1)$$

где F – максимальная нагрузка, Н;

L – длина образца между центрами опорных площадок;

b – ширина образца, мм;

h – высота образца, мм.

Нормативное сопротивление изгибу было вычислено по формуле

$$R_n = R^{bp}(1 - 1,65V), \quad (2)$$

где 1,65 – квантиль, определяемый уровнем обеспеченности результатов 0,95.

v – коэффициент вариации.

Расчетное сопротивление изгибу было вычислено по формуле

$$R_p = \frac{R_n \Pi m_i m_{дл}}{\gamma_m}, \quad (3)$$

где R_n – нормативное сопротивление изгибу;

Πm_i – произведение коэффициентов условий работы;

$m_{дл}$ – коэффициент, учитывающий длительность действия нагрузки;

γ_m – коэффициент надежности по материалу.

Данные, полученные после обработки результатов эксперимента, изложены в табл. 4.

Из данных табл. 4 видно, что образцы древесины, армированные базальтовой фиброй, показали результаты прочности, превышающие такие у образцов без армирования.

Таблица 4

Показатели прочности образцов

Показатель	Образец без фибры	Образец с базальтовой фиброй
R^{BP} , МПа	49,5	54
R_n^H , МПа	33,17	36,18
R_n^P , МПа	15,92	17,37

Заключение. Предложен метод армирования древесины базальтовым волокном (фиброй). Традиционно изгибаемые элементы армируют поверхности и прилегающие участки напряженных зон. Предложенный метод предусматривает армирование элементов по всей высоте в зонах, примыкающих к клеявым швам. Это позволяет максимально включить сечение элемента в работу и обеспечить не только показатели конструкций в рамках предельных состояний, но и снизить нерасчетные усилия от усадки и разбухания древесины в процессе эксплуатации.

В данном исследовании мы сделали попытку получить допускаемые прочностные показатели древесины, армированной волокном. В итоге эксперимента временный предел прочности древесины с дисперсным армированием на 9,1 % превышает значения контрольного образца (без фибры).

Несмотря на полученный прирост прочности деревянных образцов, армированных базальтовой фиброй, результаты требуют дальнейших исследований и уточнения. Направлением дальнейшей работы является также исследование встраивания армирующего волокна в древесинную матрицу и изучение полученной структуры композита. Другими направлениями являются применение различных армирующих волокон, а также исследование других видов напряженно-деформированного состояния деревянных дисперсно-армированных элементов.

Библиографический список

1. Лазарев, А.Л. Практическая реализация методов проектирования внешнего армирования деревянных элементов на основе функционально-градиентных композиционных материалов [Электронный ресурс] / А.Л. Лазарев, Д.М. Полторацкий, И.А. Тянякин // Огнев-online. Раздел «Технические науки». – 2018. – № 9. – URL: <http://journal.mrsu.ru/arts/prakticheskaya-realizaciya-metodov-proektirovaniya-vneshnego-armirovaniya-derevyannyx-elementov-na-osnove-funkcionalno-gradiyentnykh-kompozitsionnykh-materialov> (дата обращения: 08.07.2024).

2. Лукин, М.В. Совершенствование конструкций и технологии производства деревоклееных композитных балок: специальность 05.21.05 «Древесиноведение, технология и оборудование деревопереработки»: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Лукин Михаил Владимирович; Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. – Архангельск, 2010. – 20 с.

3. Репин, В.А. Деревянные балки с рациональным армированием: специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения»: дис. ... канд. техн. наук / Репин Владимир Анатольевич; Владимирский государственный университет. – Владимир, 2000. – 191 с.
4. Рощина, С.И. Армированные деревянные конструкции / С.И. Рощина, М.С. Сергеев, А.В. Лукина // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2013. – № 4 (334). – С. 80–85.
5. Monotonic and cyclic flexural performance of timber beams strengthened with glass fiber-reinforced polymer rods using near-surface mounted technique / A. Mathuros, Ch. Thongchom, L. Van Hong Bui, P. Jongvivatsakul // Structures. – 2024. – Vol. 65. – P. 106729. DOI: 10.1016/j.istruc.2024.106729
6. Стоянов, В.О. Прочность и деформативность изгибаемых деревянных элементов, усиленных полимерными композициями: специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения»: дис. ... канд. техн. наук / Стоянов Владимир Олегович; АО «НИИЦ «Строительство», ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – Москва, 2018. – 186 с.
7. Borri, A. Reinforcement of wood with natural fibers / A. Borri, M. Corradi, E. Speranzini // Composites Part B: Engineering. – Vol. 53. – P. 1–8. DOI: 10.1016/j.compositesb.2013.04.039
8. Левинский, Ю.Б. Особенности напряженно-деформированного состояния клееных балок, армированных волокнами синтетическими материалами [Электронный ресурс] / Ю.Б. Левинский, Н.Е. Петряев // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2. – URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=8945> (дата обращения: 08.07.2024).
9. Рощина, С.И. Исследование деревокомпозитных конструкций с применением углеродных нанотрубок / С.И. Рощина, П.Б. Шохин, М.С. Сергеев // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2013. – № 3 (333). – С. 103–107.
10. O'callaghan, R.B. Experimental investigation of the compressive behaviour of GFRP wrapped spruce-pine-fir square timber columns / R.B. O'callaghan, D. Lacroix, K.E. Kim // Engineering Structures. – 2022. – Vol. 252. – P. 113618. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.113618
11. Flexural behaviour of circular timber columns strengthened by glass fibre reinforced polymer wrapping system / O.F. Otoo, W. Lokuge, W. Karunasena [et al.] // Structures. – 2022. – Vol. 38. – P. 1349–1367. DOI: 10.1016/j.istruc.2022.02.070
12. Лобов, Д.М. Особенности армирования деревянных элементов, армированных углеродным волокном, при статическом изгибе / Д.М. Лобов, А.В. Крицин, А.В. Тихонов // Известия КГАСУ. – 2013. – № 2 (24). – С. 132–138.
13. Out-of-plane bending behavior of cross-laminated timber members enhanced with fiber-reinforced polymers / H. Li, L. Wang, Ya. Wei [et al.] // Journal of Building Engineering. – 2023. – Vol. 66. – P. 105862. DOI: 10.1016/j.jobe.2023.105862
14. Experimental study of the flexural behavior of timber beams reinforced with different kinds of FRP and metallic fibers / E.P. Gómez, M.N. González, K. Hosokawa, A. Cobo // Composite Structures. – 2019. – Vol. 213. – P. 308–316. DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.01.099
15. Bazli, M. Durability of fibre-reinforced polymer-wood composite members: An overview / M. Bazli, M. Heitzmann, B. Villacorta Hernandez // Composite Structures. – 2022. – Vol. 295. – P. 115827. DOI: 10.1016/j.compstruct.2022.115827

References

1. Lazarev A.L., Poltoratskii D.M., Taniakin I.A. Prakticheskaya realizatsiya metodov proektirovaniya vneshnego armirovaniya derevyannykh elementov na osnove funktsional'no-gradientnykh kompozitsionnykh materialov [Practical realization of design methods for external reinforcement of wooden elements based on functional-gradient composite materials] // Ogarev-online. Razdel «Tekhnicheskie nauki», available at: journal.mrsu.ru/arts/prakticheskaya-realizatsiya-metodov-proektirovaniya-vneshnego-armirovaniya-derevyannykh-elementov-na-osnove-funktsionalno-gradientnykh-kompozitsionnykh-materialov (accessed 08 July 2024).
2. Lukin M.V. Sovershenstvovanie konstruktivnykh i tekhnologicheskikh proizvodstva derevokleennykh kompozitsionnykh balok [Improvement of constructions and production technology of wood laminated composite beams]. Abstract of Ph. D. thesis. Arkhangel'sk, 2010, 20 p.

3. Repin V.A. Dereviannye balki s ratsional'nym armirovaniem [Wooden beams with rational reinforcement]. Ph. D. thesis. Vladimir, 2000, 191 p.
4. Roshchina S.I., Sergeev M.S., Lukina A.V. Armirovannye dereviannye konstruktii [Reinforced wooden structures]. *Russian Forestry Journal*, 2013, no. 4 (334), pp. 80-85.
5. Mathuros A., Thongchom C., Bui L.V.H., Jongvivatsakul P. Monotonic and cyclic flexural performance of timber beams strengthened with glass fiber-reinforced polymer rods using near-surface mounted technique. *Structures*, 2024, vol. 65, pp. 106729. DOI: 10.1016/j.istruc.2024.106729
6. Stoianov V.O. Prochnost' i deformativnost' izgibaemykh dereviannykh elementov, usilenykh polimernymi kompozitami [Strength and deformability of bending wooden elements reinforced with polymer composites]. Ph. D. thesis. Moscow, 2018. 186 p.
7. Borri A., M. Corradi, E. Speranzini. Reinforcement of wood with natural fibers. *Composites Part B: Engineering*, 2013, vol. 53, pp. 1-8. DOI: 10.1016/j.compositesb.2013.04.039
8. Levinskii Iu.B., Petriaev N.E. Osobennosti napriazhenno-deformirovannogo sostoianiia klee-nykh balok, armirovannykh volokonnyimi sinteticheskimi materialami [Peculiarities of stress-strain state of glued beams reinforced with fiber synthetic materials]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia*, 2013, no. 2, available at: science-education.ru/ru/article/view?id=8945 (accessed 08 July 2024).
9. Roschina S.I., Shokhin P.B., Sergeev M.S. Issledovanie derevokompozitnykh konstruktii s primeneniem uglerodnykh nanotrubok [Investigation of wood-composite structures with the use of carbon nanotubes]. *Russian Forestry Journal*, 2013, no. 3 (333), pp. 103-107.
10. O'callaghan R.B., Lacroix D., Kim K.E. Experimental investigation of the compressive behaviour of GFRP wrapped spruce-pine-fir square timber columns. *Engineering Structures*, 2022, vol. 252, pp. 113618. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.113618
11. Otoom O.F., Lokuge W., Karunasena W. et al. Flexural behaviour of circular timber columns strengthened by glass fibre reinforced polymer wrapping system. *Structures*, 2022, vol. 38, pp. 1349–1367. DOI: 10.1016/j.istruc.2022.02.070
12. Lobov D.M., Kritsin A.V., Tikhonov A.V. Osobennosti armirovaniia dereviannykh elementov, armirovannykh uglerodnym voloknom, pri staticheskom izgibe [Peculiarities of reinforcement of carbon fiber reinforced wooden elements under static bending]. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*, 2013, no. 2 (24), pp. 132-138.
13. Wang H. Li, L., Wei Ya. et al. Out-of-plane bending behavior of cross-laminated timber members enhanced with fiber-reinforced polymer. *Journal of Building Engineering*, 2023, vol. 66, pp. 105862. DOI: 10.1016/j.jobbe.2023.105862
14. Gómez E.P., González M.N., Hosokawa K., Cobo A. Experimental study of the flexural behavior of timber beams reinforced with different kinds of FRP and metallic fibers. *Composite Structures*, 2019, vol. 213, pp. 308–316. DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.01.099
15. Bazli M, Heitzmann M, Hernandez BV. Durability of fibre-reinforced polymer-wood composite members: An overview. *Composite Structures*, 2022, vol. 295, pp. 115827. DOI: 10.1016/j.compstruct.2022.115827

O. Tretiakova, D. Zlobin

IMPROVING THE LOAD-BEARING CAPACITY OF TIMBER STRUCTURES: DISPERSED REINFORCEMENT

The physical, technological and aesthetic properties of wood, as well as its resistance to aggressive environments, allow it to be used for large-span structures in industrial and civil engineering. However, low strength values limit these possibilities and lead to an increase in the size of the cross-sections. This increases the heated volume of buildings, which results in higher operating costs. In order to increase the strength performance of wood, the traditional method is to reinforce the stressed

zones with rod and film materials. Such methods are widely discussed in the scientific and technical literature. This paper discusses distributed reinforcement of timber members, which is presented in a small number of publications. The method consists in reinforcing the bending element with basalt fibers over its entire height in the area adjacent to the glued joint. Such volume reinforcement allows not only to increase the resistance of wooden structures to loading within the limit states, but also to reduce the effect of shrinkage and swelling of wood during operation. The results of the mechanical testing showed that the failure load for specimens with fiber is higher than without fiber. The flexural strength of such a wood composite increases by about nine percent. The fracture character of the fiber-reinforced element is gradual and characterized by the presence of more fracture planes. All this indicates the positive contribution of basalt fibers to the bending performance of the wood structure. According to the results of the experiment, the temporary tensile strength of wood reinforced with basalt fiber was obtained. The directions of further work are the study of macrostructure and microstructure of wood composite with basalt fiber; reinforcement of wood with different fibers; study of other types of stress-strain state of wood disperse-reinforced elements.

Keywords: wood, wood reinforced, timber, fibers, basalt, mechanical testing; strength, stress-strain state.

Третьякова Ольга Викторовна (Пермь, Российская Федерация) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Строительного инжиниринга и материаловедения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: olga_wsw@mail.ru).

Злобин Денис Дмитриевич (Пермь, Российская Федерация) – магистр кафедры Строительных технологий, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова (614990, Пермь, ул. Петropавловская, 23, e-mail: zlobinden@yandex.ru).

Olga V. Tretiakova (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Engineering and Materials Science, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: olga_wsw@mail.ru).

Denis D. Zlobin (Perm, Russian Federation) – Master's degree, Department of Construction Technologies, Perm State Agro-Technological University (23, St. Petropavlovskaya, Perm, 614990, e-mail: zlobinden@yandex.ru).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов равноценен.

Поступила: 21.07.2024

Одобрена: 27.12.2024

Принята к публикации: 15.03.2025

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Третьякова, О.В. Повышение несущей способности деревянных конструкций: дисперсное армирование / О.В. Третьякова, Д.Д. Злобин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2024. – № 3. – С. 5–14. DOI: 10.15593/2409-5125/2024.03.01

Please cite this article in English as: Tretiakova O., Zlobin D. Improving the load-bearing capacity of timber structures: dispersed reinforcement. *PNRPU Bulletin. Applied ecology. Urban development*, 2024, no. 3, pp. 5-14. DOI: 10.15593/2409-5125/2024.03.01