

Моделирование структуры и свойств легких штукатурных смесей

И.В. Бессонов¹, И.И. Попов², Д.А. Зорин³, П.К. Гудков⁴

¹Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва

²Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва

³Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва

⁴Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва

Аннотация: Вулканические материалы широко используются в производстве смешанного цемента. Вулканический туф, как минеральная добавка в портландцемент, эффективна в улучшении реологических характеристик гидравлического вяжущего, обладает средней пуццолановой активностью, улучшает свойства материала и может быть использована в составе легких штукатурных смесей. Целью исследований, изложенных в статье, было формирование моделей таких смесей, позволяющих оценивать их свойства.

Эксперимент проводился на основе методов математического планирования, статистической обработки результатов и аналитической оптимизации полученных уравнений регрессии. В основу экспериментальных исследований положена матрица полного трехфакторного эксперимента. В состав легкой штукатурной смеси входили следующие компоненты: гидравлическое вяжущее, измельченный вулканический туф (как мелкий легкий заполнитель), армирующее волокно и синтетическая добавка.

Разработаны составы штукатурных смесей на основе вулканического туфа. Установлены оптимальные значения основных компонентов штукатурной смеси на основе вулканического туфа, который присутствует в составе смеси как легкий мелкий заполнитель и как компонент гидравлического вяжущего. Дана инженерная интерпретация результатов моделирования.

Ключевые слова: штукатурный материал, вулканический туф, пуццолановая активность, математическое моделирование, аналитическая оптимизация.

Легкие штукатурные смеси на гидравлическом вяжущем могут рассматриваться как вариант мелкозернистого бетона на легких заполнителях (или наполнителях). Разработанные составы штукатурных смесей на основе вулканического туфа имеют ряд отличий от классических смесей. Во-первых, туф присутствует в составе материала как легкий заполнитель (крупный песок с размером частиц до 5 мм) и в качестве компонента минерального модифицированного вяжущего [1-3]. Во-вторых, в состав бетонной смеси вводятся армирующие волокна, повышающие структурную связность материала в изделии и удобоукладываемость смесей. В-третьих, армирование покрытия штукатурными сетками приближает материал к группе текстиль-

бетонов с аддитивными нанесением на поверхности основания [4-6]. Учитывая все указанные особенности, можно сделать вывод, что аналогом изделий (в том числе легких штукатурных смесей) на основе вулканического туфа, минерального вяжущего и армирующего волокна являются текстиль-бетоны.

Текстиль-бетоны или армированные цементный композиты (TRC)— это большая группа конструкционных материалов на основе мелкозернистого модифицированного бетона, армированного тканными или нетканными сетками из волокна различной природы, или дисперсно армированного волокнами [7-9]. Одной из разновидностью TRC является бетонное полотно — материал, состоящий из полимерных обкладок и сердечника из мелкозернистого модифицированного бетона, прошитого армирующей нитью [10-12]. В материалах этой группы могут использоваться волокна различной природы: на основе рубленного базальтового или щелочестойкого стеклянного волокна, каменной или стеклянной ваты, синтетические полимерные волокна, гибридные волокна, а также особо тонкие волокна, например углеродные [13-15].

В составе композитов (TRC), без ущерба для их свойств, могут использоваться легкие наполнители. В качестве подобных наполнителей используются цено- и микросферы, измельченное пеностекло, вспученные породы вулканического происхождения и пр. [16-18].

Материалы и методы

В данной работе предпринята попытка формирования моделей структуры материала, позволяющих заранее прогнозировать его свойства. В рамках данной работы особое внимание в исследовании свойств композитов с помощью математических методов [19, 20].

Вулканические туфы имеют среднюю плотность $\rho_m = 300...900 \text{ кг/м}^3$, истинную плотность $\rho = 2400...2500 \text{ кг/м}^3$, насыпную — от 300 кг/м^3 ; предел

прочности при сжатии $R_{сж} = 2,5...28$ МПа; теплопроводности $\lambda = 0,10...0,16$ Вт/м·°С. Активные минеральные добавки, в том числе и вулканического происхождения, широко используются в производстве модифицированного цемента. Исследования, проведенные как традиционным, так и ускоренными методами, а также по методикам, принятым в международных стандартах, показывают, что пуццолановая активность вулканических туфов, оцениваемая по поглощению СаО, изменяется в интервале от 160 до 360 мг СаО мг/г. [2, 3]

В легкой штукатурной смеси в качестве мелкого заполнителя использовалась смесь кварцевого песка и измельченного туфа-скория крупностью до 2 мм (рис. 1).

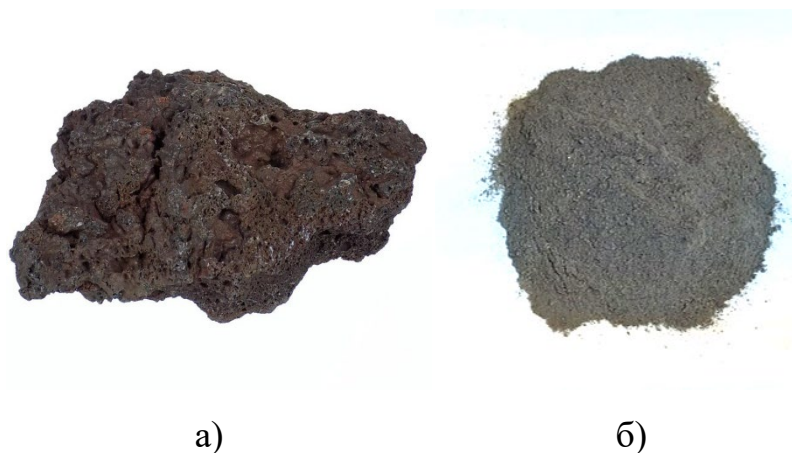


Рис. 1. – Вулканический туф

а) горная порода, б) тонкомолотый туф

Формирование свойств легкой штукатурной смеси происходит при протекании физико-химических и химических процессов, с возможностью их регулирования и внутреннего ухода за твердеющим гидравлическим вяжущим. Туф используют как в качестве компонента композиционного вяжущего (в молотом виде), так и в составе легкой штукатурной смеси (в измельченном виде). Как компонент, обладающий пуццолановой активностью, он принимает участие в процессах химического

взаимодействия и гидратации клинкерных минералов, связывает портландит с образованием гидросикатов группы C-S-H.

Легкая штукатурная смесь состоит из модифицированного композиционного гидравлического вяжущего (МКГВ), а в качестве армирующего компонента используется либо щелочестойкое стеклянное волокно, либо базальтовое волокно.

Эксперимент проводился на основе методов математического планирования, статистической обработки результатов и аналитической оптимизации полученных уравнений регрессии. В основе эксперимента была положена матрица полного трехфакторного эксперимента. Сами опыты проводились как активный эксперимент, то есть результаты были получены в процессе формования образцов балочек 5x5x15 см, твердевших в течение 28 суток в естественных условиях.

Таблица 1.

Условия активного эксперимента

Наименование фактора	Символ, X_i	Среднее значение фактора, \bar{X}_i	Интервал варьирования, ΔX_i	Значения фактора на уровнях	
				-1	+1
Расход измельченного туфа, кг/м ³	X_1	380	40	340	420
Расход композиционного вяжущего (МКГВ), кг/м ³	X_2	240	40	200	280
Расход армирующего компонента, кг/м ³	X_3	2,5	1,5	1	4

Результирующие параметры: прочность при сжатии штукатурной смеси после 28 сут. твердения в нормальных условиях (U_1), а также

прочность при изгибе (U_2). Средняя плотность определялась расчетным путем с учетом расходов компонентов смеси на 1 м^3 и с учетом воды, пошедшей на гидратацию МКГВ и иммобилизованной вулканическим туфом.

Результаты эксперимента и их обсуждение

В результате активного эксперимента и статистической обработки его результатов получены следующие математические модели (полиномы):

Для прочности при сжатии:

$$U_1 = 5,6 - 0,8X_1 + 1,8X_2 + 0,6X_3 + 0,4X_1X_2 + 0,3X_1^2 \quad (1)$$

Для прочности при изгибе:

$$U_2 = 3,6 - 0,6X_1 + 0,7X_2 + 0,7X_3 + 0,4X_1X_2 - 0,4X_3^2 \quad (2)$$

Значимые коэффициенты, определяли, сравнивая модуль каждого коэффициента уравнения регрессии с доверительным интервалом Δb , рассчитанным из критериев Стьюдента (t -критерия) по параллельным опытам для прочности при сжатии и изгибе, соответственно $\Delta b_1 = 0,21 \text{ МПа}$, $\Delta b_2 = 0,14 \text{ МПа}$. Все коэффициенты, меньшие по своему абсолютному значению доверительных интервалов по прочностным характеристикам и по теплопроводности приняты незначимыми и обнулены (приравнены 0).

Полученные модели проверены на адекватности по критерию Фишера. Расчетные значения критериев Фишера равны для модели прочности при сжатии $F_1 = 16,4$; для модели прочности при изгибе $F_2 = 15,9$. Табличные же значения критериев Фишера, соответственно, равны 19,2; 19,3. Рассчитанные значения F -критерия не превышают табличного, и с соответствующей доверительной вероятностью (98%) модель можно считать адекватной.

Исследуемый материал, а именно легкое штукатурное покрытие на основе дисперсно-армированного модифицированного мелкозернистого бетона имеет структуру, включающую мелкий легкий заполнитель (вулканический туф), модифицированное композиционное вяжущее и

волокна, армирующие структуры этого вяжущего. Свойства покрытия определяются свойствами мелкого заполнителя, свойствами модифицированного вяжущего, а также характером взаимодействия на поверхностях контакта «заполнитель-твердеющее вяжущее» и далее «заполнитель-цементный камень», а также природой контакта между штукатурным покрытием и материалом основания [21-23]. Используя данные, полученные по результатам статистической обработки активного эксперимента и результаты установленных взаимосвязей между свойствами материала и его структурой осуществлена графическая интерпретация полученных зависимостей (рис. 2) и подобраны составы штукатурных смесей на основе вулканического туфа.

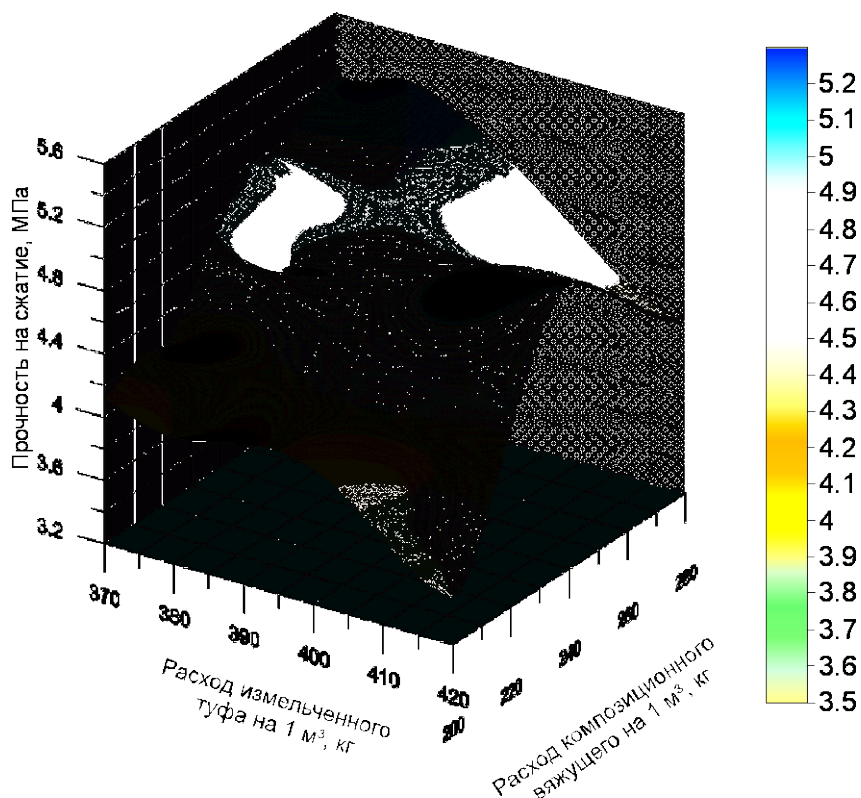


Рис. 2. – Экспериментальная прочность на сжатие штукатурного материала с содержанием армирующего компонента 3,8 %.

Результаты определения расчетных значений прочности штукатурного материала на сжатие и при изгибе в зависимости от расходов основных компонентов штукатурной смеси представлены в табл. 2.

Таблица 2.

Свойства штукатурного материала

№	Расход			Прочность на сжатие, МПа		Прочность при изгибе, МПа	
	Измельченного туфа, кг/м ³	Композиционного вяжущего, кг/м ³	Армирующего компонента, %	Расчётная	Эксперимент	Расчётная	Эксперимент
1	2	3	4	5	6	7	8
1	420	280	3,8	8,4	8,1	4,7	4,3
2	420	280	2,5	7,2	7,0	4,0	4,2
3	420	240	3,8	6,2	6,5	5,2	5,0
4	420	240	2,5	5,8	5,6	4,4	4,5
5	420	200	3,8	4,2	4,2	3,3	3,5
6	420	200	2,5	4,0	4,1	3,0	3,4
7	380	280	3,8	8,4	7,9	5,4	5,3
8	380	280	2,5	7,4	7,1	4,3	4,1
9	380	240	3,8	7,0	7,2	4,8	4,6
10	380	240	2,5	6,3	6,5	4,0	3,8
11	380	200	3,8	4,8	4,9	4,2	4,0
12	380	200	2,5	4,4	4,0	3,4	3,5
13	370	280	3,8	9,1	8,9	5,7	5,2

Анализ результатов корректирующего натурального эксперимента показывает, что наилучшими прочностными показателями (прочность на

сжатие 8,9 МПа; прочность при изгибе 5,2 МПа) обладает штукатурный состав при расходах: измельченного туфа 370 кг/м³, композиционного 280 вяжущего кг/м³, армирующего компонента 3,8 % от массы вяжущего.

По результатам контрольных (проверочных) натуральных серий эксперимента расхождение между натурными и расчётными данными не превышает 8-10%, что соответствует требованиям, к уровню достоверности результатов при изучении свойств материалов на основе гидравлических вяжущих и мелкозернистых бетонов.

Выводы

В статье приведены результаты изучения статистических моделей штукатурных смесей. В результате анализа статистических полиномов, полученных обработкой результатов активного (натурного) эксперимента установлена взаимосвязь и влияние варьируемых факторов (расходов измельченного туфа, композиционного вяжущего и армирующего компонента на прочность штукатурной смеси при сжатии и изгибе.

В результате эксперимента установлены оптимальные значения основных компонентов штукатурной смеси на основе вулканического туфа, который присутствует в составе смеси как легких мелкий заполнитель и как компонент гидравлического вяжущего. установлено, что наилучшими прочностными характеристиками. Анализ результатов корректирующего эксперимента показывает, что наилучшими прочностными показателями (прочность на сжатие 8,9 МПа; прочность при изгибе 5,2 МПа) обладает штукатурный состав при расходах: измельченного туфа - 370 кг/м³, композиционного - 280 вяжущего кг/м³, армирующего компонента - 3,8 % от массы вяжущего.

Использование местного сырья как компонента строительных материалов экономически целесообразно, это касается и вулканических туфов, запасы которых находятся во все регионах, для которых была

характерна или характерна сейчас вулканическая активность. Вулканические туфы обладают средней пуццолановой активностью, месторождения большинства из них являются доступными. Легкие штукатурки на основе туфа могут использоваться при местном строительстве, в регионах с умеренным или жарким климатом.

Литература

1. Zhukov A.D., Bobrova E.Yu., Bessonov I.V., Medvedev A.A., Demissie B.A. Application of statistical methods for solving problems of construction materials science // Nanotech. in Constr. 2020. No. 12. Pp. 313-319. DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-6-313-319
2. Бычков М.В., Удодов С.А. Особенности разработки легких самоуплотняющихся бетонов на пористых заполнителях // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1774
3. Жуков А.Д., Попов И.И., Ефимов Б.А., Демиссе Б.А., Белканов В.В. Оптимизация составов фасадных штукатурок на основе модифицированного вяжущего // Известия вузов. Строительство. Новосибирск. 2022. №5. С. 57-66. DOI: 10.32683/0536-1952-761-5-57-66
4. Scherer S., Michler H., Curbach, M. Brücken aus Textilbeton. // Handbuch Brücken: Entwerfen, Konstruieren, Berechnen, Bauen und Erhalten. 2014. Pp. 118-129.
5. Curbach, M., Graf W., Jesse, D., Sickert J.U., Weiland, S. Segmentbrücke aus textilbewehrtem Beton // Konstruktion, Fertigung, numerische Berechnung. Beton- und Stahlbetonbau. 2007. №102(6). Pp. 342-352.
6. Schladitz F., Lorenz E., Jesse F., Curbach M. Verstärkung einer denkmalgeschätzten Tonnenschale mit Textilbeton. // Beton- und Stahlbetonbau. 2009. №104(7). Pp. 432-437.
7. Gelbrich S. Organisch geformter Hybridwerkstoff aus textil-bewehrtem

Beton und glasfaserverstrktem Kunststoff. Leichter bauen // Zukunft formen. TUDALIT, 2012. №. 7. P. 9.

8. Cifuentes H., Blasón S., López-Aenlle M., Martínez-De La Concha A. Flexural fatigue behaviour of a heated ultra-high-performance fiber-reinforced concrete // Constr. and Build. Mat. 2021. №. 276. Pp. 8-16. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.122209

9. Ashkezari G.D., Razmara M. Thermal and mechanical evaluation of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete and conventional concrete subjected to high temperatures // Journal of Building Engineering. 2020. №. 32. Pp. 10-21. DOI:10.1016/j.jobe.2020.101621

10. Zawal Daniel, Grabiec Anna M. Influence of selected mineral additives on properties of recycled aggregate concrete (RAC) considering eco-efficiency coefficients // Case Studies in Construction Materials. 2022. vol. 17. e01405 DOI:10.1016/j.cscm.2022.e01405

11. Wang Xianfeng, Chen Shaocong, Ren Jun, Yang Zhenhong, Wang Weilun, Liu Jian, Huang Ruosi Effect of super absorbent polymer and mineral additives on mechanical, shrinkage and healing properties of self-healing lightweight aggregate concrete under different curing regimes // Construction-and-building-materials. 2022. vol. 357. 129377. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129377

12. Bruno Marco, Tataranni Piergiorgio, Sangiorgi Cesare Experimental application of fully recycled asphalt concretes produced with chemical additives for patch pavement rehabilitation // Construction-and-building-materials. 2023. vol. 363. 129807. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2022.129807

13. Wang Yjiang, Zheng Tongda, Zheng Xiaofeng, Liu Yifei, Darkwa Jo, Zhou Guoqing. Thermo-mechanical and moisture absorption properties of fly ash-based lightweight geopolymer concrete reinforced by polypropylene fibers //

Construction-and-building-materials. 2022 vol. 251. 1189600.
DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.118960

14. Pham Huu Hiep, Dinh Ngoc Hieu, Choi Kyoung-Kyu Tensile behavior of lightweight carbon textile-reinforced cementitious composites with dispersed fibers // Construction-and-building-materials. 2023 vol. 384. 131455. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2023.131455

15. Valeri, P., Fernández, M., Muttoni, R.A. Tensile response of textile reinforced concrete. // Constr. and Build. Mat. 2020. №. 258. Pp. 8-20. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119517

16. Lu Jian-Xin, Ali Hafiz Asad, Jiang Yi, Guan Xiwen, Shen Peiliang, Chen Peiyuan, Poon Chi Sun A novel high-performance lightweight concrete prepared with glass-UHPC and lightweight microspheres: Towards energy conservation in buildings // Composites Part B: Engineering. 2022. Vol. 247. DOI:10.1016/j.compositesb.2022.110295

17. Zhukov Alexey D., Bobrova Ekaterina Yu, Popov Ivan I., Arega Demissie Bekele System analysis of technological processes // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. № 17(4) P.p. 73–82. DOI:10.22337/2587-9618-2021-17-4-73-82.

18. Zhukov A. D., Popov I. I., Bessonov I. V., Chernukhin S. P. (2021). Filled Heat Efficient Ceramics // Key Engineering Materials. 2021. vol. 887. P.p. 493–498. DOI:/10.4028/www.scientific.net/kem.887.493

19. Balgourinejad Niloofar, Haghhighifar Mona, Madandoust Rahmat, Charkhtab Shahin Experimental study on mechanical properties, microstructural of lightweight concrete incorporating polypropylene fibers and metakaolin at high temperatures //Journal of Materials Research and Technology .2022. Pp. 5238-5256. DOI:10.1016/j.jmrt.2022.04.005

20. Popov I. I., Shitikova M.V., Levchenko A.V., Zhukov A. D. Experimental identification of the fractional parameter of the fractional derivative

standard linear solid model for fiber-reinforced rubber concrete // Mechanics of advanced materials and structure. 2023. vol. 31(17). DOI: 10.1080/15376494.2023.2191600.

21. Asamatdinov M. O., Popov I. I., Chernukhin S. P., Zhukov A. D. Modified Gypsum Binder for Plastering Systems. Key Engineering Materials, 2021. vol. 887. Pp. 428–433. DOI: 10.4028/www.scientific.net/kem.887.428.

22. Zhukov A., Shokodko E., Bobrova E., Bessonov I., Dosanova G., Ushakov N. Interior Acoustic Materials and Systems. In: Murgul V., Pasetti M. (eds) International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018. EMMFT-2018. // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. vol 983. Pp. 740-747. DOI: 10.1007/978-3-030-19868-8_72

23. Zhukov A.D., Bessonov I.V., Popov I.I., Poudel Ravi Sagar Energy-efficient Insulation Systems for Low-rise Buildings // Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2022. № 4-56-2022. Pp. 39-49. DOI: 10.36622/VSTU.2022.56.4.003.

24. Zhukov A., Shokod'ko E. Mathematical Methods for Optimizing the Technologies of Building // TransSiberia 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2022. vol 1116. Pp. 413-421. DOI:doi.org/10.1007/978-3-030-37919-3_40.

25. Ляшенко Д.А., Перфилов В.А., Весова Л.М. Мелкозернистый наномодифицированный бетон // Инженерный вестник Дона, 2022, №10. DOI: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2022/7928.

References

1. Zhukov, A.D., Bobrova E.Yu., Bessonov I.V., Medvedev A.A., Demissie B.A. Nanotech. in Constr. 2020. No. 12. Pp. 313-319. DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-6-313-319.
2. Bychkov M.V., Udodov S.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1774
3. Zhukov A.D., Popov I.I., Yefimov B.A., Demisse B.A., Belkanov V.V. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. Novosibirsk. 2022. №5. pp. 57-66. DOI: 10.32683/0536-1952-761-5-57-66.
4. Scherer, S., Michler, H., Curbach, M. Handbuch Brücken: Entwerfen, Konstruieren, Berechnen, Bauen und Erhalten. 2014. Pp. 118-129.
5. Curbach, M., Graf, W., Jesse, D., Sickert, J.U., Weiland, S. Konstruktion, Fertigung, numerische Berechnung. Beton- und Stahlbetonbau. 2007. №102(6). Pp. 342-352.
6. Schladitz, F., Lorenz, E., Jesse, F., Curbach, M. Beton- und Stahlbetonbau. 2009. №104(7). Pp. 432-437.
7. Gelbrich, S. Zukunft formen. TUDALIT, 2012. №. 7. P. 9.
8. Cifuentes, H., Blasón, S., López-Aenlle, M., Martínez-De La Concha, A. Constr. and Build. Mat. 2021. №. 276. Pp. 8-16. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.122209
9. Ashkezari, G.D., Razmara, M. Journal of Building Engineering. 2020. №. 32. Pp. 10-21. DOI: 10.1016/j.job.2020.101621
10. Zawal Daniel, Grabiec Anna M. Case Studies in Construction Materials. 2022. vol. 17. e01405. DOI:10.1016/j.cscm.2022.e01405
11. Wang Xianfeng, Chen Shaocong, Ren Jun, Yang Zhenhong, Wang Weilun, Liu Jian, Huang Ruosi Construction-and-building-materials. 2022. vol. 357. 129377. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129377

12. Bruno Marco, Tataranni Piergiorgio, Sangiorgi Cesare Construction-and-building-materials.2023. vol. 363. 129807.
DOI:10.1016/j.conbuildmat.2022.129807
13. Wang Yjiang, Zheng Tongda, Zheng Xiaofeng, Liu Yifei, Darkwa Jo, Zhou Guoqing Construction-and-building-materials. 2022 vol. 251. 1189600.
DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.118960
14. Pham Huu Hiep, Dinh Ngoc Hieu, Choi Kyoung-Kyu Construction-and-building-materials. 2023. vol. 384. 131455.
DOI:10.1016/j.conbuildmat.2023.131455
15. Valeri, P., Fernández, M., Muttoni, R.A. Constr. and Build. Mat. 2020. №. 258. Pp. 8-20. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119517
16. Lu Jian-Xin, Ali Hafiz Asad, Jiang Yi, Guan Xiwen, Shen Peiliang, Chen Peiyuan, Poon Chi Sun Composites Part B: Engineering. 2022. Vol. 247.
DOI:10.1016/j.compositesb.2022.110295
17. Alexey D. Zhukov, Ekaterina Yu. Bobrova, Ivan I. Popov, Demissie Bekele Arega. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. № 17(4) P.p. 73–82. DOI: 10.22337/2587-9618-2021-17-4-73-82.
18. Zhukov A. D., Popov I. I., Bessonov I. V., Chernukhin S. P. Engineering Materials. 2021. vol. 887. P.p. 493–498. DOI: 10.4028/www.scientific.net/kem.887.493
19. Balgourinejad Niloofar, Haghighifar Mona, Madandoust Rahmat, Charkhtab Shahin Journal of Materials Research and Technology .2022. Pp. 5238-5256. DOI:10.1016/j.jmrt.2022.04.005
20. Popov I. I., Shitikova M.V., Levchenko A.V., Zhukov A. D. Mechanics of advanced materials and structure. 2023. vol. 31(17). DOI: 10.1080/15376494.2023.2191600.
-



21. Zhukov A.D., Bessonov I.V., Popov I.I., Poudel Ravi Sagar. Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2022. № 4-56-2022. Pp. 39-49. DOI: 10.36622/VSTU.2022.56.4.003.

22. Zhukov A., Shokod'ko E. TransSiberia 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2022. vol 1116. Pp. 413-421. DOI: doi.org/10.1007/978-3-030-37919-3_40.

23. Lyashenko D.A., Perfilov V.A., Vesova L.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2022/7928.

Дата поступления: 18.11.2024

Дата публикации: 2.01.2025