



Эффективные конструкции поверхностных фундаментов для линий электропередач

© М. А. Магомедов

Дагестанский государственный технический университет, г. Махачкала, Россия

Резюме: Поверхностные фундаменты представляют собой практичный вариант улучшения механических характеристик опор линий электропередач. Целью статьи является изучение конструкций поверхностных фундаментов и определение наиболее эффективной для использования в качестве опоры ЛЭП. В процессе исследования применялись общенаучные методы научного познания: методы сравнения, анализа, наблюдения, синтеза, обобщения, систематизации, моделирования, а также графического представления полученных результатов. В ходе работы рассмотрены наиболее распространенные типы конструкций поверхностных фундаментов – решетчатые опоры и бетонные блоки. Предложена эффективная конструкция поверхностного фундамента с увеличенной площадью опирания и рациональным расположением железобетонных грузовых балок, позволяющая уменьшить усилия в узлах опор, давление под подошвой фундамента и деформации фундаментных блоков. Данная конструкция рекомендована в качестве опоры для ЛЭП, расположенных в мягких грунтах.

Ключевые слова: поверхностный фундамент, ЛЭП, нагрузка, конструкция

Для цитирования: Магомедов М. А. Эффективные конструкции поверхностных фундаментов для линий электропередач // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3. С. 440–445. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-440-445>.

Efficient surface foundations for power lines

Marsel A. Magomedov,

Dagestan State Technical University, Makhachkala, Russia

Abstract: Surface foundations help improve the mechanical performance of transmission towers. In this work, we examined and identified the most effective structures of surface foundations to be used as transmission towers. In the study, general scientific methods were used: comparison, analysis, observation, synthesis, generalisation, systematisation, modelling, as well as the graphical presentation of the results obtained. In the course of the work, the most common structures of surface foundations were considered – lattice poles and concrete blocks. An efficient design of a surface foundation with an increased bearing area and a rational position of reinforced concrete main girder have been proposed, which allows the strain in the support nodes, the pressure under the foundation bed and the deformation of the foundation blocks to be reduced. This design is recommended as a transmission tower to be used on soft soils.

Keywords: surface foundation, power lines, load, structure

For citation: Magomedov M. A. Efficient surface foundations for power lines. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2021;11(3):440-445. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-440-445>.

Введение

Строительство линии электропередачи – это очень сложный и достаточно затратный проект [1, 2]. Связано это с тем, что большое внимание необходимо уделять безопасности при строительстве и эксплуатации опор и несущих конструкций. Как свидетельствует практика, 10–30% от общей стоимости строительства ЛЭП уходит на формирование ее фунда-

мента [3–5]. Проекты ЛЭП носят линейный характер, что приводит к повышенной изменчивости характеристик грунта. Фундаменты ЛЭП – это крупные инвестиции, они зачастую гораздо дороже стальных монопольных конструкций, которые они поддерживают [6]. Данные фундаменты также становятся причиной превышения стоимости сметных работ и внесения изменений в проект из-за непредвиденных усло-

вий, плохих грунтов, обильных грунтовых вод или подземных препятствий, что может привести к задержке строительства или, что еще хуже, к перепрокладке линий электропередач. Каждый фундамент ЛЭП представляет собой отдельный и уникальный строительный проект. В типичном проекте строительства ЛЭП может использоваться несколько различных конструкций фундаментов в зависимости от результатов геотехнических исследований и/или грунтовых условий, встречающихся на площадке [7–10]. В рамках данного исследования рассмотрим более подробно поверхностные фундаменты ЛЭП.

Методы

В процессе исследования применялись общенаучные методы научного познания: методы сравнения, анализа, наблюдения, синтеза, обобщения, систематизации, моделирования, а также графического представления полученных результатов.

Результаты и их обсуждение

Задача выбора наиболее эффективных конструкций поверхностных фундаментов для ЛЭП обусловлена тем, что опоры и подстанции часто расположены в труднодоступных местах, со сложными грунтами и неблагоприятными метеорологическими и климатическими условиями, в том числе проектировщикам нередко приходится сталкиваться с заболоченными участками. Кроме того, с постепенным увеличением напряжения в системе электропередач увеличились и размеры фундаментов, поэтому необходимо отметить, что для типичной четырехпроводной линии 500 кВ обычными являются нагрузки на одну опору 70 или 80 тонн. Для

натяжных башен предельные нагрузки часто достигают 200 или 300 тонн. Соответственно, выбранная конструкция фундамента для конкретной башни должна обеспечивать экономичную и надежную опору на весь срок службы линии, а фундамент должен быть совместим с грунтом и обеспечивать заданную прочность на протяжении всего периода службы. В данном контексте особое внимание привлекают эффективные конструкции поверхностных фундаментов. В настоящее время используются следующие типы поверхностных фундаментов для ЛЭП: стальной ростверк, или решетчатые опоры, бетонный фундамент, бетонный шнек, или кессон, каменный фундамент, сплошной фундамент. Рассмотрим более подробно некоторые из этих видов [11–14].

Решетчатые опоры широко используются для конструкций опорных башен. Для расчета конструкции ее элементы подбираются на основе расчетных изгибающих моментов и напряжений [15]. На рис. 1, а показана типичная конфигурация приложенной нагрузки (H) на башню, переданные нагрузки (Q) на нижележащие фундаменты и мобилизованное сопротивление фундаментов (R) для конструкций опор ЛЭП и направления нагрузки $\theta = 0^\circ$.

Учитывая направление нагрузки на рис. 1, а, передние и задние сваи подвергаются сжимающим и восходящим растягивающим усилиям [16–17]. Когда приложенная нагрузка (H) изменяет направление в боковую сторону, например с 0° на 45° , как показано на рис. 1, б, механизм сопротивления фундаментов также может измениться.

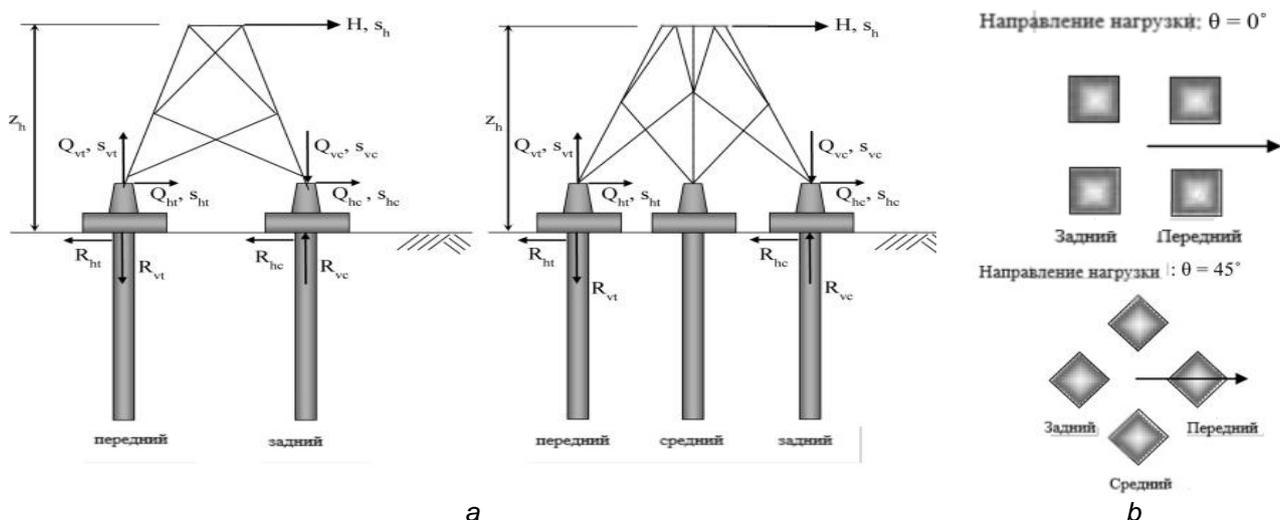


Рис. 1. Конфигурации нагрузок и сопротивлений для решетчатых опор конструкций ЛЭП:

а – направление нагрузки $\theta = 0^\circ$; б – направление нагрузки $\theta = 45^\circ$

Fig. 1. Configurations of loads and resistances for lattice supports of power transmission line structures:

а - load direction $\theta = 0^\circ$; б - load direction $\theta = 45^\circ$

Бетонные блоки используются для покрытия любой части стальных работ под землей. Этот тип поверхностного фундамента предназначен для использования там, где

почвенные условия являются приемлемыми, и вода находится под стороной фундамента [18] (рис. 2).

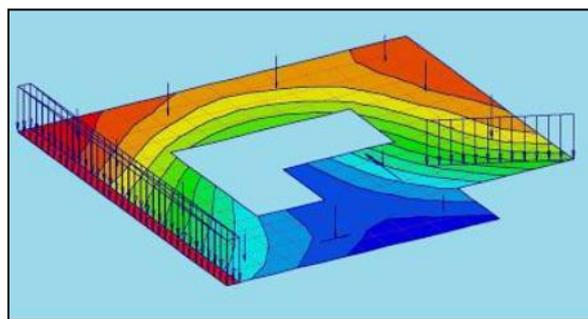


Рис. 2. Бетонный фундамент для ЛЭП
Fig. 2. Concrete foundation for power lines

Практика показала, что самым эффективным поверхностным фундаментом является фундамент, состоящий из рационально расположенных грузовых балок. Повышение прочности опоры, работающей на вертикальную нагрузку, при увеличении площади фундамента дает значительный эффект, в срав-

нении с его исходным положением. Количество балок и их рациональное расположение рекомендованы исходя из технико-экономического обоснования их применения на производстве, т.е. по соотношению «деформационная и несущая способность – расход материала» (рис. 3).

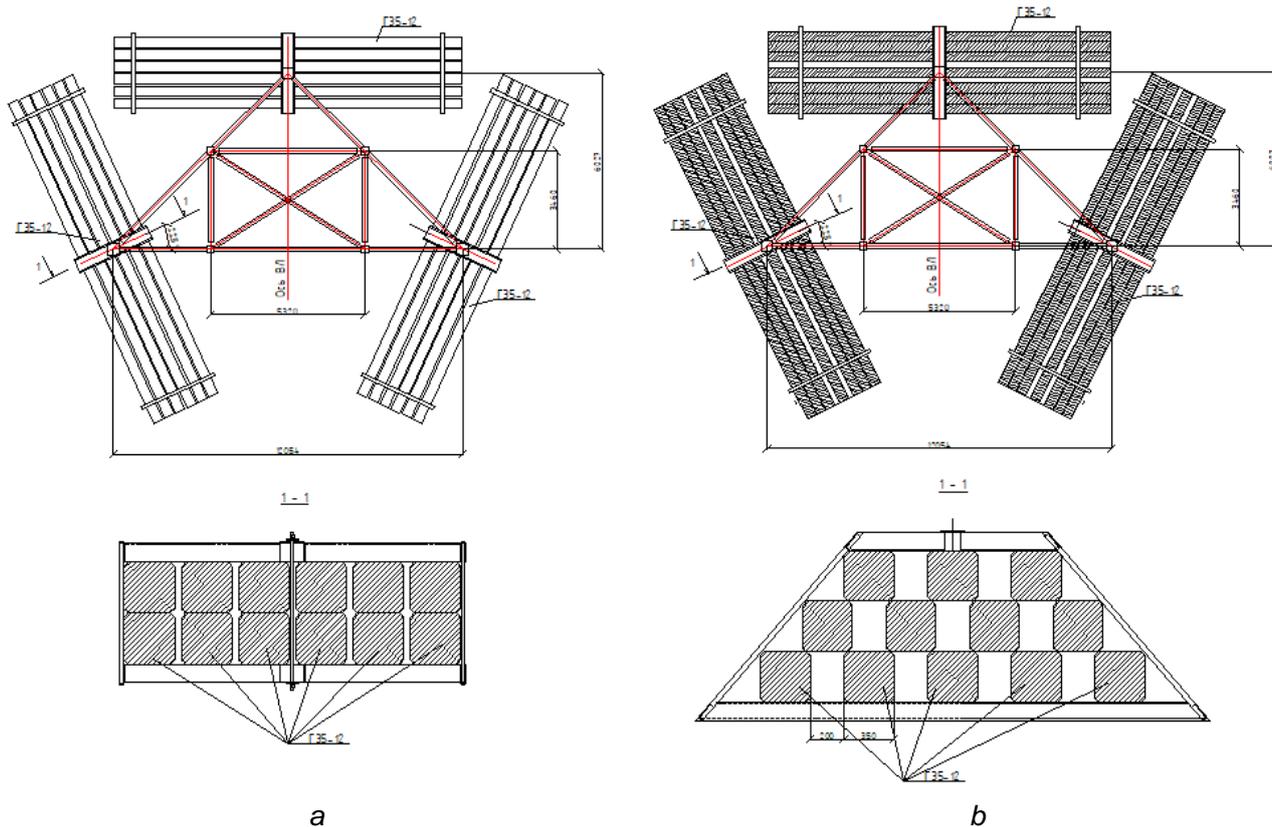


Рис. 3. Поверхностный фундамент: а – с обычным расположением железобетонных грузовых балок; б – из железобетонных грузовых балок с увеличением площади опирания (с рациональным расположением балок)

Fig. 3. A surface foundation: a - with the usual arrangement of reinforced concrete cargo beams; b - of reinforced concrete cargo beams with an increase in the support area (with a rational arrangement of beams)

Предлагается конструкция с увеличением площади опирания на грунт (расположение грузовых балок в шахматном порядке). Применение таких конструкций позволит уменьшить усилия в узлах опор, снизить давление под подошвой фундамента и деформации фундаментных блоков за счет равномерного опирания фундамента на основание, а также нахождения всех башмаков опоры в одной плоскости.

Заключение

Поверхностные фундаменты для ЛЭП являются эффективным типом основ для улучшения структурных и геотехнических характеристик конструкций опор электропередачи в мягких грунтах. Наиболее распространенными

являются решетчатые опоры и бетонные блоки. Для увеличения несущей способности и уменьшения смещений могут использоваться связанные фундаменты [19–20]. Плотность грунта, угол наклона земляного полотна и предельная несущая способность почвы являются основными параметрами, которые необходимо учитывать при выборе и проектировании фундаментов ЛЭП.

В качестве одного из наиболее эффективных для линий электропередач предложен поверхностный фундамент с увеличенной площадью опирания на грунт и состоящий из рационально расположенных (в шахматном порядке) грузовых балок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yingbo Z., Hang Ch., Qiupeng Z., Zhiqiang D., Xiaojing G., Lisong G., et al. The influence of excavation of combined foundations of high-voltage transmission towers and spoils loading on landslide stability // IOP conference series: Materials science and engineering. 2020. Vol. 780. p. 042041. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/780/4/042041>.
2. Магомедов М.А. Оптимизация конструкций поверхностного фундамента воздушной линии электропередач // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2020. Т. 10. № 2. С. 242–249. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2020-2-242-249>.
3. Сенькин Н.А., Малютин Д.Г., Зимин К.А., Турлаков К.Е. Применение винтовых свай при строительстве воздушных линий электропередачи // Энергия единой сети. 2020. № 1 (50). С. 32–38.
4. Adishchev V.V., Zubkov A.S., Ivanov A.I., Maltsev V.V., Panichev A.Yu., Blaznov A.N. Rational design of steel–GFRP towers for ultra-compact overhead power lines // Mechanics of advanced materials and structures. 2020. Vol. 27. Iss. 3. p. 189–195. <https://doi.org/10.1080/15376494.2018.1472331>.
5. Качановская Л.И., Романов П.И., Касаткин С.П. Современные проекты секционированных железобетонных опор для уменьшения стоимости воздушных линий электропередачи // Энергетик. 2020. № 1. С. 3–9.
6. Kalaga S., Yenumula P. Design of electrical transmission lines: structures and foundations. Boca Raton: CRC Press, 2015. 354 p.
7. Качановская Л.И., Калиновский И.Н. Новые железобетонные конструкции для выборочной замены опор магистральных линий электропередачи // Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № 3 (60). С. 80–83.
8. Indulkar C.S. Construction and Erection of Overhead Electric Power Transmission Lines // Electrical India. 2011. Vol. 51. № 5. p. 54–67.
9. Сабитов Л.С., Гатиятов И.З., Кашапов Н.Ф. Математическое моделирование узлов соединений опор ВЛ из тонкостенных стержней оболочек закрытого профиля // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. Т. 10. № 2. С. 16–26.
10. Tang GR, Jiang M. Analysis and Research on Inspection Methods of Drilling Holes in Power Transmission Line Foundation // Applied mechanics and materials. 2015. Vol. 799–800. Part 2. p. 1268–1271. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.799-800.1268>.
11. Ахтямова Л.Ш., Сабитов Л.С., Маилян А.Л., Маилян Л.Р., Радайкин О.В. Технологические и конструктивные особенности проектирования модульного железобетонного фундамента под высотное сооружение различного типа // Строительные материалы и изделия. 2019. Т. 2. № 6. С. 5–11.
12. Новоселов Е., Жуков М. Составные грибовидные фундаменты повышенной долговечности для опор ВЛ 35–110 КВ // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. № S4 (11). С. 17–21.
13. Васильев С.В., Федоров Ю.Ю. Разработка композитной траверсы анкерной концевой опоры линии электропередачи 6–10КВ // Евразийское Научное Объединение. 2019. № 5-2 (51). С. 108–110.
14. Lin J.Sh. An Urgent Slope Reinforcement for a Power Transmission Tower Foundation // Advanced materials research. 2013. Vol. 859. p. 289–292. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.859.289>.

15. Сенченко В.А., Каверзнева Т.Т. Проблемы пересечений линий связи и линий электропередач на общих опорах в условиях города // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2019. Т. 10. № 3. С. 76–86. <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2019.3.08>.

16. Yuan G., Yang B., Huang Zh., Tan X. Experimental study on the stability of the transmission tower with hybrid slab foundation // Engineering structures. 2018. Vol. 162. p. 151–165. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.01.066>.

17. Nateghi R., Guikema S.D., Wu Yu.(G.), Bruss C.B. Critical Assessment of the Foundations of Power Transmission and Distribution Reliability Metrics and Standards // Risk analysis. 2016. Vol. 36. Iss. 1. p. 4–15. <https://doi.org/10.1111/risa.12401>.

18. Chen L., Yu W.B., Liu W.B., Yi X. Numerical Simulation of Pile Foundations of Qinghai-Tibet Power Transmission Line: Influence of Temperature Region // Applied mechanics and materials. 2014. Vol. 501–504. Part 1. p. 218–223. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.501-504.218>.

19. Huang X., Zhao L., Chen Z., Liu Ch. An online monitoring technology of tower foundation deformation of transmission lines // Structural health monitoring. 2019. Vol. 18. № 3. p. 949–962. <https://doi.org/10.1177/1475921718774578>.

20. Кожевников А.Н. Исследование влияния монтажных усилий на динамические характеристики имитационной модели опоры воздушной линии электропередачи // Динамика систем, механизмов и машин. 2019. Т. 7. № 1. С. 67–72. <https://doi.org/10.25206/2310-9793-7-1-67-72>.

REFERENCES

1. Yingbo Z, Hang Ch, Qiupeng Z, Zhiqiang D, Xiaojing G, Lisong G et al. The influence of excavation of combined foundations of high-voltage transmission towers and spoils loading on landslide stability. *IOP conference series: Materials science and engineering*. 2020;780:042041. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/780/4/042041>.

2. Magomedov MA. Structural optimisation of shallow foundations for overhead power line. *Izvestija vuzov. Investicii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Izvestiya vuzov. Investments. Construction. Real estate*. 2020;10(2):242-249. (In Russ.).

3. Senkin NA, Malyutin DG, Zimin KA, Turlakov KE. Application of screw piles in the construction of overhead power lines. *Energiya ednoi seti*. 2020;1(50):32-38. (In Russ.).

4. Adishchev VV, Zubkov AS, Ivanov AI, Maltsev VV, Panichev AYU, Blaznov AN. Rational design of steel-GFRP towers for ultracompact overhead power lines. *Mechanics of advanced materials and structures*. 2020;27(3):189-195. <https://doi.org/10.1080/15376494.2018.1472331>.

5. Kachanovskaya LI, Romanov PI, Kasatkin SP. Sectioned reinforced concrete power transmission poles reduce the cost of overhead lines, and modern projects will become the basis for digital space electrical network. *Energetik*. 2020;1:3-9. (In Russ.).

6. Kalaga S, Yenumula P. Design of electrical transmission lines: structures and foundations. Boca Raton: CRC Press; 2015. 354 p.

7. Kachanovskaya LI, Kalinovskiy IN. New concrete constructions for selective replacement of bulk transmission line towers PO Energozhelezobetoninvest, LLC, Rosseti FGC UES company.

Jelektrojenergija. Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie. 2020;3(60):80-83. (In Russ.).

8. Indulkar CS. Construction and Erection of Overhead Electric Power Transmission Lines. *Electrical India*. 2011;51(5):54-67.

9. Sabitov LS, Gatiyatov IZ, Kashapov NF. The development of a technique of dynamic tests of supports. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo jenergeticheskogo universiteta*. 2018;10(2):16-26. (In Russ.).

10. Tang GR, Jiang M. Analysis and Research on Inspection Methods of Drilling Holes in Power Transmission Line Foundation. *Applied mechanics and materials*. 2015;799-800:1268-1271. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.799-800.1268>.

11. Akhtyamova LSh, Sabitov LS, Mailyan AL, Mailyan LR, Radaikin OV. Technological and design features of designing a modular reinforced concrete foundation for a high-rise building of various types. *Stroitel'nye materialy i izdeliya = Construction materials and products*. 2019;2(6):5-11. (In Russ.).

12. Novoselov E, Zhukov M. Compound mushroom-like foundations of increased durability for poles of 35-110 KV overhead lines. *Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie*. 2018;S4(11):17-21. (In Russ.).

13. Vasiliev SV, Fedorov YuYu. Development of a composite traverse of an anchor end support for a 6-10KV power line. *EvrAzijskoe Nauchnoe Ob'edinenie = Eurasian Scientific Association*. 2019;5-2 (51):108-110. (In Russ.).

14. Lin JSh. An Urgent Slope Reinforcement for a Power Transmission Tower Foundation. *Advanced materials research*. 2013;859:289-292.

<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.859.289>.

15. Senchenko VA, Kaverzneva TT. Problems of communication lines and electric transmission lines on general support in city conditions. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2019;10(3):76-86. <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2019.3.08>.

16. Yuan G, Yang B, Huang Zh, Tan X. Experimental study on the stability of the transmission tower with hybrid slab foundation. *Engineering structures*. 2018;162:151-165. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.01.066>.

17. Nateghi R, Guikema SD, Wu Yu(G), Bruss CB. Critical Assessment of the Foundations of Power Transmission and Distribution Reliability Metrics and Standards. *Risk analysis*. 2016;36(1):4-15.

<https://doi.org/10.1111/risa.12401>.

18. Chen L, Yu WB, Liu WB, Yi X. Numerical Simulation of Pile Foundations of Qinghai-Tibet Power Transmission Line: Influence of Temperature Region. *Applied mechanics and materials*. 2014;501-504:218-223. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.501-504.218>.

19. Huang X, Zhao L, Chen Z, Liu Ch. An online monitoring technology of tower foundation deformation of transmission lines. *Structural health monitoring*. 2019;18(3):949-962. <https://doi.org/10.1177/1475921718774578>.

20. Kozhevnikov AN. Investigation of mounting forces affecting on dynamic characteristics of power transmission line pylon simulation model. *Dinamika sistem, mehanizmov i mashin = Dynamics of systems, mechanisms and machines*. 2019;7(1):67-72. (In Russ.).

Сведения об авторе

Магомедов Марсель Айдемирович, аспирант кафедры автомобильных дорог, оснований и фундаментов, Дагестанский государственный технический университет, 367000, г. Махачкала, ул. Пехотная, 45, Россия, e-mail: marsmag05@yandex.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5517-919X>

Information about the author

Marsel A. Magomedov, postgraduate student, Department of Highways, Foundations and Foundations, Dagestan State Technical University, 45 Pekhohnaya str., Makhachkala, 367000, Russia, e-mail: marsmag05@yandex.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5517-919X>

Заявленный вклад автора

Автор выполнил исследовательскую работу, на основании полученных результатов провел обобщение, подготовил рукопись к печати. Автор имеет на статью исключительные авторские права и несет ответственность за плагиат.

Contribution of the author

The author performed the research, made generalization based on the results obtained and prepared the copyright for publication. The author has exclusive author's right and bear responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 14.07.2021. Одобрена после рецензирования 10.08.2021. Принята к публикации 12.08.2021.

Conflict of interests

The author declares no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by the author.

The article was submitted 14.07.2021. Approved after reviewing 10.08.2021. Accepted for publication 12.08.2021.