

Хайрнасов К. З.

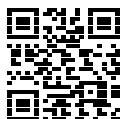
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ОДНОРОДНЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ПОВЕДЕНИЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

Аннотация. Изложены, разработанные автором, алгоритмы и программа исследования оболочечных конструкций из однородных и многослойных композиционных материалов при действии статических и динамических нагрузок, в геометрически и физически нелинейной постановках, позволяющей определять напряженно-деформированное состояние, собственные частоты, устойчивость, поведение при динамических воздействиях, а также решать задачи пластической деформации при штамповке. На основе разработанной программы, приведены примеры расчета конкретных конструкций: поведение тороидальных оболочек при динамических воздействиях, вопросы расчета и прогнозирования поведения конструкций и деталей при динамических воздействиях, в условиях глубокой вытяжки. Проведено исследование лопастей винтовентилятора авиадвигателей на основе метода естественно закрученных стержней при различном расположении основы композиционного материала, позволившее выработать рекомендации по оптимальному расположению композиционного материала с точки зрения прочностных и динамических характеристик. Разработана методология решения прикладных задач многостепенных динамических стенов полунатурного моделирования, впервые выполненных из композиционных материалов, заключающаяся в разработанном алгоритме комплексного расчета и исследования влияния структуры композита несущих слоев и заполнителя на жесткостные и частотные характеристики стенов. Разработан принципиально новый подход к исследованию динамических конструкций, имеющих компоненты, не адекватно реализуемые в методе конечных элементов: редукторы, подшипники, зубчатые венцы, двигатели, путем замены их стержневыми системами идентичными по жесткости. Разработаны алгоритмы и программы расчета жесткости редукторов, подшипников. Разработан и реализован метод численного решения и оптимизации компоновочных схем многостепенных динамических стенов полунатурного моделирования из однородных и композиционных материалов, состоящий в минимизации частотных характеристик в зависимости от жесткостных характеристик подшипниковых опор, редукторов и т. д., позволивший получать модели стенов с высокими динамическими характеристиками. Проведено экспериментальное исследование натурных трехслойных композиционных цилиндрических оболочек при локальном нагружении, позволившее определить перемещения трехслойной оболочки и обжатие заполнителя по толщине.

Ключевые слова: композиционные материалы, программы, статическое и динамическое нагружение, нелинейность, лопасти винтовентилятора, многостепенные динамические стеноды, эксперименты.

Хайрнасов Камиль Зайнутдинович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций; e-mail: kamilh@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0111-2947>; AuthorID: 600738



для цитирования: Хайрнасов К. З. Математическое моделирование конструкций из однородных и композиционных материалов и их поведение при различных внешних воздействиях // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. 2026. № 1(67). С. 213–218. DOI: 10.37972/chgpu.2026.67.1.013. EDN: WADNMY

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0).

K. Z. Khayrnasov

MATHEMATICAL MODELING OF STRUCTURES FROM HOMOGENEOUS AND COMPOSITE MATERIALS AND THEIR BEHAVIOR UNDER VARIOUS EXTERNAL INFLUENCES

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia

Abstract. This paper utilizes algorithms and a program developed by the author for studying shell structures made of homogeneous and multilayer composite materials under static and dynamic loads, in geometrically and physically nonlinear formulations. This program allows for determining the stress-strain state, natural frequencies, stability, and behavior under dynamic loads, as well as solving problems of plastic deformation during stamping. Based on the developed program, examples of calculating specific structures are provided: the behavior of toroidal shells under dynamic loads, issues of calculating and predicting the behavior of structures and components under dynamic loads, and under deep drawing conditions. A study of aircraft engine propeller blades using the naturally twisted rod method with various arrangements of the composite material base was conducted, which made it possible to develop recommendations for the optimal arrangement of the composite material in terms of strength and dynamic characteristics. Multi-stage dynamic stands made of composite materials are considered for the first time. A methodology has been developed for solving applied problems of multi-degree dynamic rigs for semi-naturalistic modeling made of composite materials. This methodology consists of a developed algorithm for the integrated calculation and study of the influence of the composite structure of the load-bearing layers and the filler on the stiffness and frequency characteristics of the rigs. A fundamentally new approach has been developed for the study of dynamic structures with components that are inadequately implemented in the finite element method (gearboxes, bearings, ring gears, and motors), by replacing them with rod systems of identical stiffness. Algorithms and programs for calculating the stiffness of gearboxes and bearings have been developed. A method for the numerical solution and optimization of layout schemes of multi-degree dynamic rigs for semi-naturalistic modeling made of homogeneous and composite materials has been developed and implemented. This method consists of minimizing the frequency characteristics depending on the stiffness characteristics of the bearing supports, gearboxes, etc., which made it possible to obtain rig models with high dynamic characteristics. A method for obtaining models of three-layer structures made of homogeneous and composite materials has been developed. An experimental study of full-scale three-layer composite cylindrical shells under local loading was conducted, which made it possible to determine the displacement of the three-layer shell and the compression of the filler by thickness.

Keywords: composite materials, programs, static and dynamic loading, nonlinearity, fan blades, multi-stage dynamic stands, experiments.

Kamil Z. Khayrnasov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; e-mail: kamilh@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0111-2947>; AuthorID: 600738



to cite this article: Khayrnasov K. Z. Mathematical modeling of structures from homogeneous and composite materials and their behavior under various external influences // Vestn. Chuvash. Gos. Ped. Univ. im. I. Ya. Yakovleva Ser.: Mekh. Pred. Sost. 2026. No 1(67). p. 213–218. DOI: 10.37972/chgpu.2026.67.1.013

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Автор единолично выполнил исследование и подготовил рукопись, внёс определяющий вклад в содержание статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. The author conducted the research and prepared the manuscript alone, making a significant contribution to the content of the article.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding. This study was not supported by any external sources of funding.

ЛИТЕРАТУРА

1. Образцов И. Ф., Вольмир А. С., Хайрнас К. З. Тороидальные оболочки: запаздывающие катастрофы при динамическом нагружении // Доклады АН СССР. – 1982. – Т. 266, № 6. – С. 1343–1346.
2. Вольмир А. С., Хайрнас К. З. Устойчивость тороидальных композитных оболочек // Механика композиционных материалов. – 1982. – № 3.
3. Хайрнас К. З. Исследование частотных характеристик лопастей двигателей из композиционного материала // Вестник Чувашского государственного педагогического университета. Серия: Механика предельного состояния. – 2015. – 3(25). – С. 61–67.
4. Хайрнас К. З. Исследование напряженно-деформированного состояния лопастей двигателей из композиционного материала // Вестник Чувашского государственного педагогического университета. Серия: Механика предельного состояния. – 2015. – 4(26). – С. 61–67.
5. *Khayrnasov K. Z. Mathematical Modeling of Dynamic Stability of Shell Structures under Large Elastoplastic Deformations // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 991. – P. 012042.*

Received: 10.03.26;

accepted: 19.05.26;

published: 01.07.26.

6. *Khayrnasov K. Z.* Mathematical Modeling of Shell Configurations Made of Homogeneous and Composite Materials Experiencing Intensive Short Actions and Large Displacements // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 991. – P. 012043.
7. *Khayrnasov K. Z.* Methodology for Calculating the Stress-Strain State of a Robotic System Made of Composite Materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 675. – P. 012028.
8. *Khayrnasov K. Z.* Modeling and Determination of Frequency Characteristics of Robotic Structures Made of Composite Materials // Textile Industry Technology. – 2019. – 5(383). – P. 65–69.
9. *Khayrnasov K. Z.* Modeling and Calculation of Three-Layer Composite Floor Slabs // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1425. – P. 012168.
10. *Khayrnasov K. Z.* Robotic Systems: Optimization of Stiffness Characteristics // Amazonia Investiga. – 2020. – Vol. 9, no. 25. – P. 310–316.
11. *Khayrnasov K. Z.* Composite Materials in Aircraft Engine Blades // PNRPU Mechanics Bulletin. – 2022. – No. 1.
12. *Khayrnasov K. Z.* Methodology for Modeling Mechanical Behavior and Determining the Complex Stress-Strain State of a Semi-Natural Modeling Stand Made of a Composite Material under Dynamic Loading // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2023. – Vol. 101, no. 24. – P. 8080–8092.
13. *Khayrnasov K. Z.* Modeling, Calculation and Analysis of a Robotic Structure Made of Composite Material under Dynamic Influence // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2023. – Vol. 101, no. 24. – P. 8127–8145.
14. *Khayrnasov K. Z.* Bearing Capacity of Building Structures Reinforced with Composite Materials // E3S Web of Conferences. Vol. 533. – 2024. – P. 02015.
15. *Khayrnasov K. Z.* Methods for Analyzing Robotic Systems Made of Composite Materials // International Journal of Engineering Trends and Technology. – 2024. – Vol. 72, no. 3. – P. 208–217.
16. *Khayrnasov K. Z.* Modeling and Analysis of Robotic System Made of Composite Material // Mechanics of Solids. – 2025. – Vol. 60, no. 3. – P. 2112–2118.

REFERENCES

1. *Obratsov I. F., Volmir A. S., Khayrnasov K. Z.* Toroidal Shells: Delay Catastrophes under Dynamic Loading // Doklady Akademii Nauk SSSR. – 1982. – Vol. 266, no. 6. – P. 1343–1346.
2. *Volmir A. S., Khayrnasov K. Z.* Stability of Toroidal Composite Shells // Mechanics of Composite Materials. – 1982. – No. 3.
3. *Khayrnasov K. Z.* Investigation of Frequency Characteristics of Engine Blades Made of Composite Material // Bulletin of the Chuvash State Pedagogical University. Series: Mechanics of the Limiting State. – 2015. – 3(25). – P. 61–67.
4. *Khayrnasov K. Z.* Investigation of the Stress-Strain State of Engine Blades Made of Composite Material // Bulletin of the Chuvash State Pedagogical University. Series: Mechanics of the Limiting State. – 2015. – 4(26). – P. 61–67.
5. *Khayrnasov K. Z.* Mathematical Modeling of Dynamic Stability of Shell Structures under Large Elastoplastic Deformations // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 991. – P. 012042.

6. *Khayrnasov K. Z.* Mathematical Modeling of Shell Configurations Made of Homogeneous and Composite Materials Experiencing Intensive Short Actions and Large Displacements // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 991. – P. 012043.
7. *Khayrnasov K. Z.* Methodology for Calculating the Stress-Strain State of a Robotic System Made of Composite Materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 675. – P. 012028.
8. *Khayrnasov K. Z.* Modeling and Determination of Frequency Characteristics of Robotic Structures Made of Composite Materials // Textile Industry Technology. – 2019. – 5(383). – P. 65–69.
9. *Khayrnasov K. Z.* Modeling and Calculation of Three-Layer Composite Floor Slabs // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1425. – P. 012168.
10. *Khayrnasov K. Z.* Robotic Systems: Optimization of Stiffness Characteristics // Amazonia Investiga. – 2020. – Vol. 9, no. 25. – P. 310–316.
11. *Khayrnasov K. Z.* Composite Materials in Aircraft Engine Blades // PNRPU Mechanics Bulletin. – 2022. – No. 1.
12. *Khayrnasov K. Z.* Methodology for Modeling Mechanical Behavior and Determining the Complex Stress-Strain State of a Semi-Natural Modeling Stand Made of a Composite Material under Dynamic Loading // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2023. – Vol. 101, no. 24. – P. 8080–8092.
13. *Khayrnasov K. Z.* Modeling, Calculation and Analysis of a Robotic Structure Made of Composite Material under Dynamic Influence // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2023. – Vol. 101, no. 24. – P. 8127–8145.
14. *Khayrnasov K. Z.* Bearing Capacity of Building Structures Reinforced with Composite Materials // E3S Web of Conferences. Vol. 533. – 2024. – P. 02015.
15. *Khayrnasov K. Z.* Methods for Analyzing Robotic Systems Made of Composite Materials // International Journal of Engineering Trends and Technology. – 2024. – Vol. 72, no. 3. – P. 208–217.
16. *Khayrnasov K. Z.* Modeling and Analysis of Robotic System Made of Composite Material // Mechanics of Solids. – 2025. – Vol. 60, no. 3. – P. 2112–2118.