

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний комітет України з теоретичної і прикладної механіки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Національний аерокосмічний університет імені Жуковського (ХАІ)
Одеський національний політехнічний університет
Gdansk University of Technology (Poland)
Державне підприємство Науково-виробничий комплекс газотурбобудування
«Зоря»—«Машпроект»
ЗМКБ «Прогрес» імені академіка А.Г. Івченко

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ІНЖЕНЕРНОЇ МЕХАНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

МАТЕРІАЛИ

**VII Міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої
пам'яті професора Горбова В.М.**

23–24 листопада 2022 року

**Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут
вул. Кузнецька 5**

Миколаїв
«Ілліон»
2022

УДК 539.3:621.822
М90

ОРГАНІЗАТОРИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний комітет України з теоретичної і прикладної механіки

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Національний аерокосмічний університет імені Жуковського (ХАІ)

Одеський національний політехнічний університет

Gdansk University of Technology (Poland)

Державне підприємство Науково-виробничий комплекс газотурбобудування
«Зоря»–«Машпроект»

ЗМКБ «Прогрес» імені академіка А.Г. Івченко

**Матеріали публікуються за оригіналами, поданими
авторами. Претензії до організаторів не приймаються.**

Відповідальні за випуск: М. Р. Ткач, С. О. Моргун

**М90 Актуальні проблеми інженерної механіки та технології
машинобудування:** Матеріали VII Міжнародної науково-технічної
конференції, присвяченої пам'яті професора Горобова В.М. – Миколаїв:
Ілліон, 2022. – 112 с.

ISBN 978-617-534-617-7

У збірнику наведені матеріали міжнародної науково-технічної конференції, яка відбулась у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова (м. Миколаїв) 23-24 листопада 2022 року.

Метою конференції є обмін науково-технічною інформацією і визначення перспективних напрямків фундаментальних і практичних досліджень та розв'язування прикладних задач в галузі інженерної механіки з питань проектування, математичного моделювання та дослідження технічних систем, міцності та надійності інженерних конструкцій, використання прогресивних технологій виробництва складних механічних систем.

Матеріали збірника можуть бути корисними для науковців, інженерно-технічних працівників, викладачів, аспірантів, студентів.

УДК 539.3:621.822

ISBN 978-617-534-617-7

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2022

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова:

- **Є.І. Трушляков** - д.т.н., професор, ректор Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (м. Миколаїв);

Заступники голови:

- **С. І.Сербін** - д.т.н., професор, директор Машинобудівного навчально-наукового інститута НУК (м. Миколаїв);
- **М.Р. Ткач**, - д.т.н., професор, завідувач кафедри інженерної механіки та технології машинобудування НУК, д-р техн наук, професор (м. Миколаїв);
- **Ю. М. Харитонов** – д.т.н., професор, директор Центруморської інфраструктури НУК (м. Миколаїв);
- **В.Ф. Квасницький** – д.т.н., професор, завідувач кафедри зварювального виробництва НУК (м. Миколаїв).

Вчений секретар:

- **С.О. Моргун** -к.т.н., доцент, доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування НУК (м. Миколаїв)

Члени організаційного комітету:

- **М. Р. Ткач** - д.т.н., професор, завідувач кафедри інженерної механіки та технології машинобудування НУК, (м. Миколаїв);
- **С. М. Доценко** - к.т.н., доцент, директор Первомайської філії НУК (м. Миколаїв);
- **Л. І. Коростильов** - д.т.н., професор, професор кафедри будівельної механіки судна (м. Миколаїв);
- **С. Б. Кулішов** - к.т.н., заступник головного конструктора ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект» (м. Миколаїв);
- **О. А. Оргіян** – д.т.н., професор, завідувач кафедри технології машинобудування ОНПУ (м. Одеса);
- **М. Г. Тройніч** – директор з виробництва ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект» (м. Миколаїв);

Voploschayutsya novyie IT-resheniya (2020). URL: <http://flotprom.ru/2020/Tehnologii7>.

4. Wohlers T. Wohlers report 2014: Additive manufacturing and 3D-printing state of the industry: Annual world-wide progress report, Wohlers Associates, 2014. — 276 p.

5. Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy morskoy tehnicheskiy universitet: [ofitsialny sayt] (St. Petersburg State Marine Technical University: [official site]). URL: <https://www.smtu.ru/ru/listeduprog/>

6. The_Digital_Shipyard_Opportunities_and_Challenges URL: https://www.flinders.edu.au/content/dam/documents/research/aiti/The_Digital_Shipyard_Opportunities_and_Challenges.pdf Information model of the shipbuilding cluster Technological platform Shipbuilding 4.0 : additive technologies

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL DETERMINATION OF GAS TURBINE ENGINE BLADES VIBRATION CHARACTERISTICS

M.R. Tkach

*Doctor of Technical Sciencies, Professor, Head of the Engineering
Mechanics and Technology of Machinebuilding Department, Admiral Makarov,
National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine*

S.B. Kulishov

*Candidate of Technical Sciencies, Deputy Chef Designer for NewTechnic,
State Company "Research and Production Complex of Gas Turbine Construction,
"Zorya"-"Mashproekt" Mykolaiv, Ukraine*

S.O. Morhun

*Candidate of Technical Sciencies, Associate Professor, Department of
Engineering Mechanics and Technology of Machinebuilding, Admiral Makarov,
National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine*

V.A. Polischyk

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Engineering Mechanics and Technology of Machinebuilding, Admiral Makarov, National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Yu.M. Halynkin

Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Engineering Mechanics and Technology of Machinebuilding, Admiral Makarov, National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

A.Yu. Proskurin

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Internal Combustion, Power Plants and Technical Exploitation, Admiral Makarov, National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Introduction

During the operation of a gas turbine engine, the rotor blades are exposed by time-varying gas dynamic loads. Due to the determination by the rotor speed and the number of structural elements these forces change in time and are periodic in nature. So their action causes the blades vibration. When the frequency of the external action coincides with one of the natural frequencies of the blade, resonance occurs, accompanied by an increase in vibration amplitudes and a sharp increase in vibration stresses of the blade.

Formulation of the problem.

At the same time, the accuracy of the calculated data (obtained by the FEM) directly depends on the compliance of the geometry of the investigated blade with the used calculation model, and significantly reduces it in the event of a discrepancy. As a result, to ensure the accuracy of the calculation, a geometric model is required, created by 3D scanning the dimensions of a real blade, which increases the complexity of a three-dimensional model developing.

The aim of this work is to determine the influence of the boundary conditions for fixing the model of a gas turbine rotor blade to determine its vibration

characteristics using a geometric solid-state parametric model created on the basis of 3D scanning of a real blade.

Methodology of turbine blades vibration experimental studies

Description of the experimental stand.

In the process of experimental determination of the blade vibration characteristics, an experimental stand was used, operating on the basis of the digital speckle interferometry method, with a diffuse reference wave and separate propagation channels of the reference and object beams (Fig. 1).

The source of coherent light is a diode-pumped solid-state laser 1 (DPSS) with a radiation power of 50 mW and a wavelength of $\lambda = 0.532 \mu\text{m}$

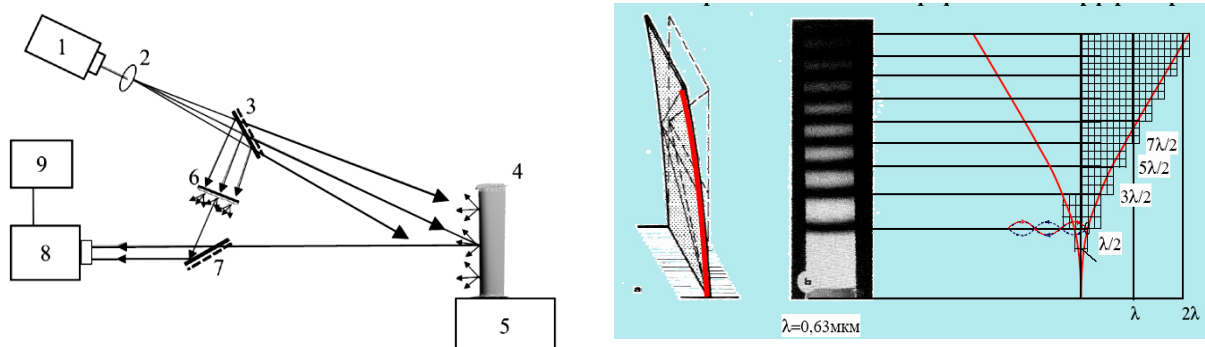


Fig. 1. Optical layout of the experimental stand: 1– laser; 2– micro lens; 3, 7– beam splitters; 4– the investigated blade; 5– clamping device; 6– transmissive diffuser; 8– video camera; 9– personal computer

Vibration excitation of the blade is carried out through the lock by a piezoceramic vibration transducer, to which a sinusoidal signal of the sound generator is fed, amplified by a low-frequency amplifier. The light beam reflected by the beam splitter 3 is scattered by the transmission diffuser 6 and creates a diffuse reference wave. The object and reference beams, combined by the beam splitter 7 and the camera lens 8, form the resulting speckle field - a specklogram on the light-sensitive matrix. With resonant vibration, it encodes an interferogram of the vibrational shape of the blade, which is decoded on a computer 9 using the method for determining the dynamic pattern of speckles.

A detailed description of the scheme of the experimental stand, as well as the method of obtaining and processing holograms, are presented.

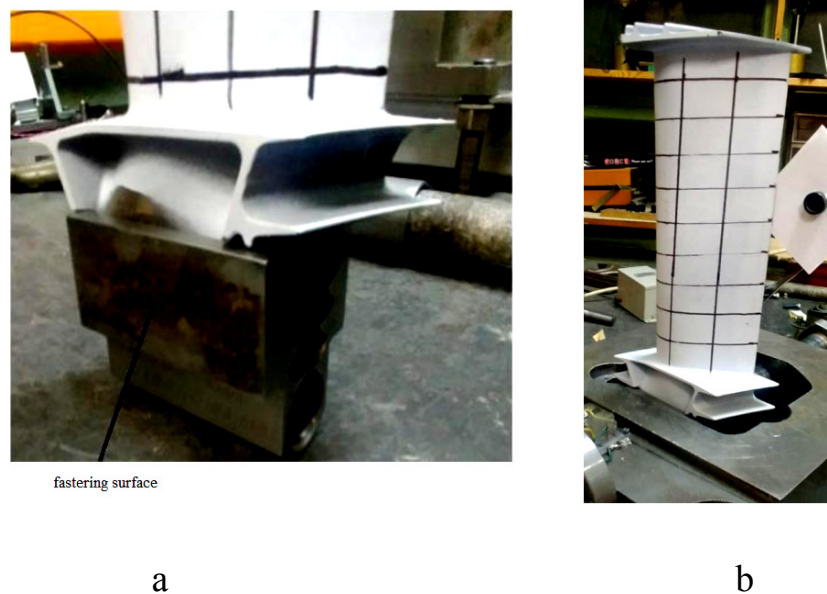


Fig. 2. Scheme of placement and fastening of the blade: the clamping device: *a*– the location of the blade in the lock; *b*– installation of the blade in the clamping device

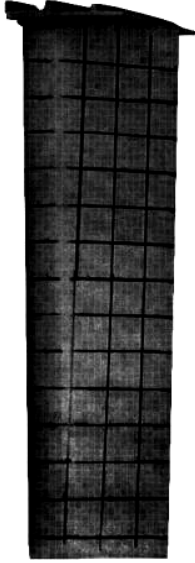
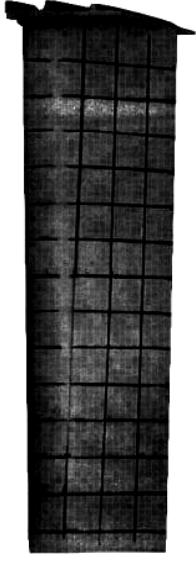
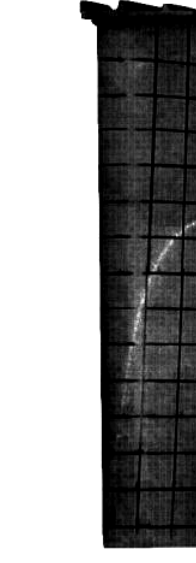
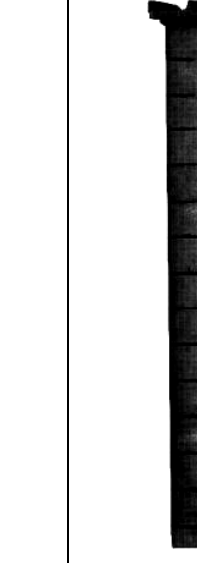
Experimental boundary conditions.

A turbine blade of a gas turbine engine was chosen as the object of research; blade dimensions: height along the trailing edge - 288 mm, chord in the middle section - 88.5 mm. The experimental determination of the vibration characteristics was carried out with a clamped of the blade fir tree part. For this, the blade was installed in the lock (Fig. 2a), after which it was fixed in the clamping device along the outer surfaces of the lock body (Fig. 2b).

Experimental determination of natural frequencies and vibration modes of a turbine blade.

The resonant frequencies and vibration modes of the blade obtained experimentally are presented in table 1. The boundary conditions of the experiment are described.

Table 1. Some experimental forms and frequencies of the turbine blade natural vibration

			
165 Hz	805 Hz	1706 Hz	2844 Hz

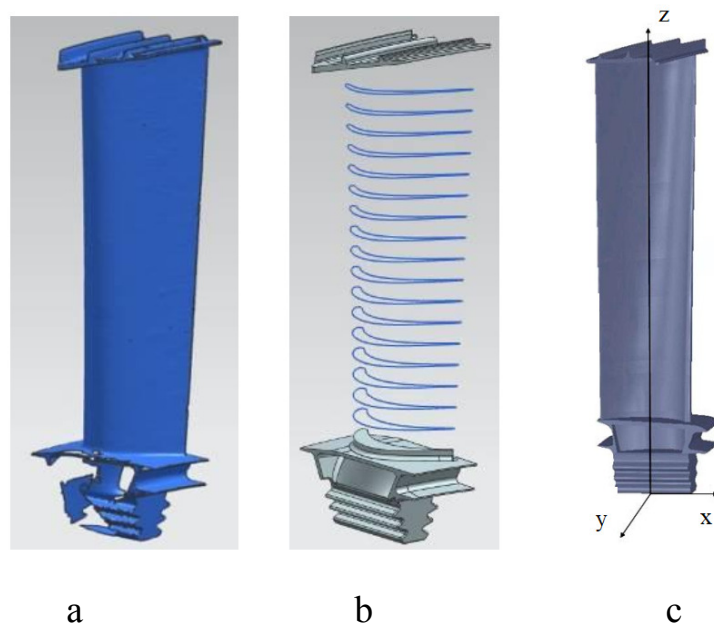


Fig. 3. The main steps of the turbine blade geometric model construction

Construction of the turbine blade geometric model.

To determine the vibration characteristics of a particular blade under study, its solid-state geometric model was created based on 3D scanning. On the basis of

the faceted body obtained during scanning (Fig. 3a), in the environment of the Siemens NX computer-aided design system, using the «Reverse engineering» functions, along sections (Fig. 3b), a 3D model of the blade was developed (Fig. 3c).

Influence of the blade lock fixing method on its vibration characteristics.

Resonant frequencies and vibration modes of the investigated blade model are obtained by the finite element method implemented in the ANSYS Workbench software package. The boundary conditions are cantilever fastening of the blade root part (Fig. 4a), which corresponds to the conditions of the blade fastening to the experimental stand described in Fig. 2.

The properties of the material are determined by achieving the minimum root-mean-square deviation of the calculated values of the blade the resonant vibration frequencies from the experimental data under free boundary conditions: ρ - 7830 kg / m³; μ - 0.3; E - 215 GPa.

In the course of the calculation, a finite element SOLID 187 (tetrahedron) was used, the element height was 0.6 mm. The number of elements was ~ 1.5 million (Fig. 4b).

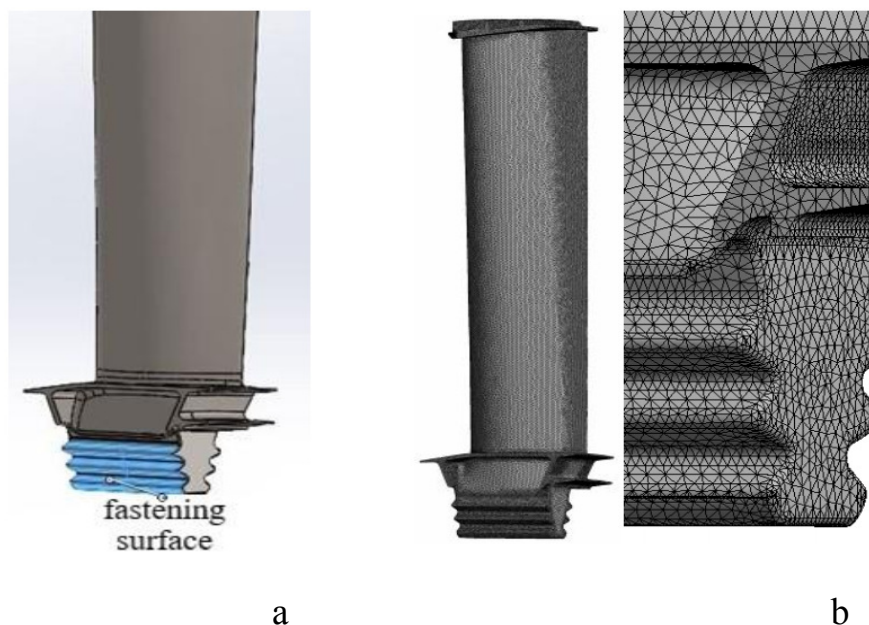


Fig. 4. Calculation of the turbine blade vibration characteristics *a*– the

boundary conditions for the blade attachment; *b*– scheme of splitting the blade model into tetrahedrons

Calculations carried out with a twofold decrease in the finite element showed an insignificant deviation (less than 1%) of the obtained values of the resonant vibration frequencies for the studied blade model.

Some characteristic frequencies and vibration modes of the blade model are shown in Fig. 5.

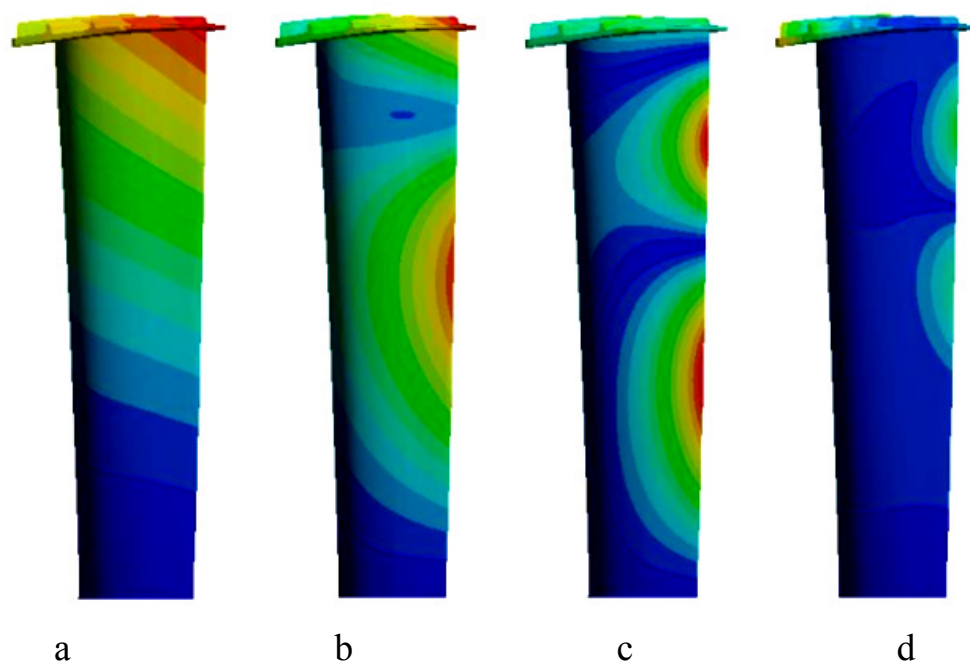


Fig. 5. Some calculated vibration modes and resonance frequencies of the turbine blade: *a* – 179,66 Hz; *b* – 856,04 Hz; *c* – 1712,4 Hz; *d* – 2843,7 Hz

A comparison of the values of the resonant frequencies of the investigated blade, obtained experimentally and by calculation, is given in table 2.

Table 2. Comparison of the turbine blade resonant frequencies fixed along the blade root part with experimental data

Form number	Resonance frequencies, Hz		Percent error, %
	Experiment	Calculation	
1	165	179,66	8,88
2	805	856,04	6,34
3	1310	1368,2	4,44
4	1706	1712,4	0,38
5	2033	2269,0	11,6
6	2844	2843,7	0,01
7	3321	3236,4	2,55
8	3384	3407,1	0,68
9	3999	3946,9	1,30
Mean square value, %			5,50

Thus, when calculating the vibration characteristics of the blade, by the finite element method, the influence of the lock (Fig. 2a), that fixes the blade in the clamping device, was not taken into account. So it became necessary to verify the calculated data. Thus the calculation of the resonance frequencies values was carried out using a three-dimensional model of the blade, combined with the lock. The surfaces of the blade attachment (Fig. 4a) are mated with the inner surfaces of the lock model (Fig. 6a). The 3D model of the lock was developed in accordance with the overall dimensions of the lock used in experimental research.

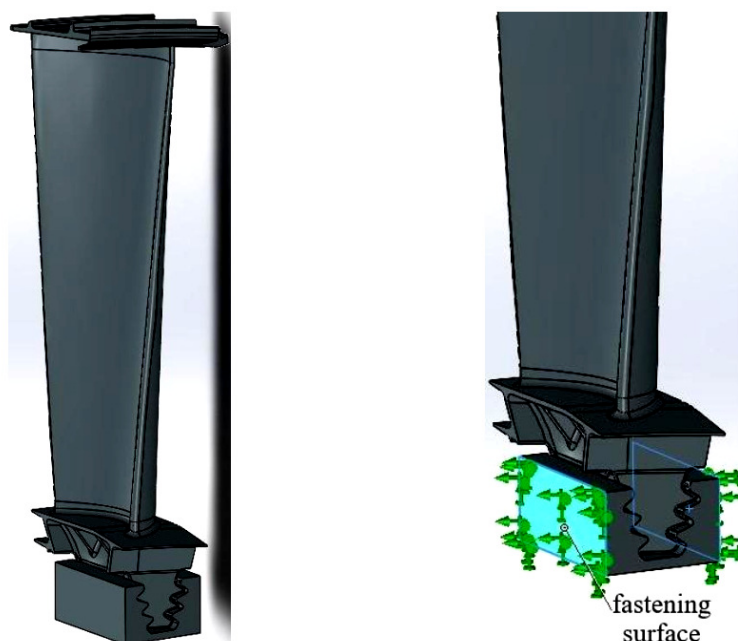


Fig. 6. 3D model of the blade in the lock: *a*– 3D model of the blade, clamped in the lock; *b*– boundary conditions for fastening the lock

The calculation was carried out in conditions of rigid fixation of the outer surfaces of the lock body (Fig. 6b). To exclude the influence of the boundary conditions on the calculation results, the material properties, as well as the final element, remained unchanged.

The percent error of the resonant frequencies of the blade model fixed in the lock are given in table 3.

Table 3. Comparison of the resonant frequencies of the blade fixed in the lock with experimental data

Form number	Resonance frequencies, Hz		Percent error, %
	Experiment	Calculation (blade+lock)	
1	165	181	9,70
2	805	864	7,33
3	1310	1385	5,73

4	1706	1728	1,29
5	2033	2296	12,94
6	2844	2865	0,74
7	3321	3266	1,66
8	3384	3442	1,71
9	3999	3960	0,96
Mean square value, %			6,30

As follows from the obtained data, the magnitude of the deviations in the calculation of the resonance frequencies of the model of the blade clamped in the lock increased. The standard deviation was 6.3% (versus 5.5% when calculated without a clamping device). Thus, the calculation of the vibration characteristics of the blade model taking into account the lock is **impractical**.

Determination of the gas turbine working blade material properties.

The joint use of experimental and calculation methods allows determining the mechanical properties of the material of a real blade: Young's modulus (E) and Poisson's ratio (μ). The density of the blade material ($\rho = 7830 \text{ kg/m}^3$) was measured by the method of hydrostatic weighing. In order to determine the actual values of the blade material properties, a series of calculations of the blade resonance frequencies was carried out in the range of changes in the values of the mechanical properties $E = 200 \dots 230 \text{ GPa}$ and $\mu = 0.26 \dots 0.3$. The density value of the material used in the calculation is $\rho = 7830 \text{ kg/m}^3$. Based on the obtained data, by the method of two-dimensional spline interpolation, the dependence of the mean square deviation of the calculated data δ on the assumed mechanical properties of the blade material was determined. The graph of the function $\delta = f(E, \mu)$ is presented in Fig. 7a. The zones of constant and deviated values are shown in fig. 7b. As follows from the given results, the minimum mean square deviation of the calculated frequencies from their experimental value - 0.73% (see Fig. 7b) is

provided in the range of values of the mechanical properties $E = 215...217$ GPa and $\mu = 0.295-0.3$. At the same time, the mean square frequency deviation of 1% is provided in the range of values of the mechanical properties of the blade material $E = 211...220$ GPa and $\mu = 0.26...0.3$. Narrowing the studied range of variation of Young's modulus values to 208...220 GPa, with an unchanged range of Poisson's ratio values, did not reveal any significant changes in the obtained results.

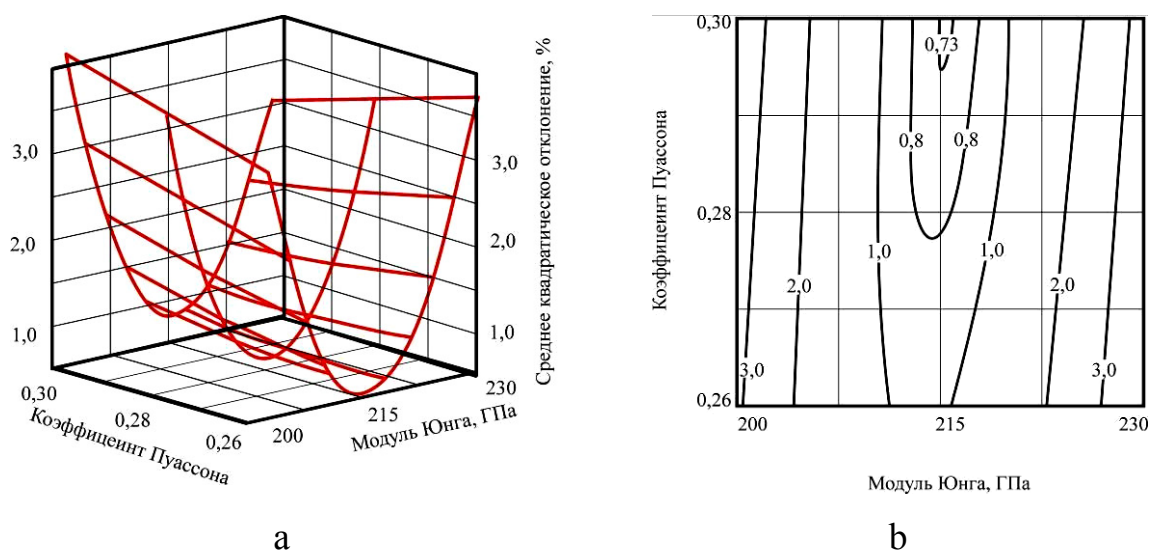


Fig. 7. Mean square deviation of the calculated data: *a*– dependence $\delta = f(E, \mu)$;
b– isoline $\delta = \text{const}$

Investigation of the gas turbine engine axial compressor working blade

On the basis of the developed and verified methodology it has been decided to investigate the GTE axial compressor blade natural vibration. The investigated axial compressor blade is shown in Fig. 8. For modelling of the blade surface a special hexagonal finite element, shown in Fig. 9 is used [7].

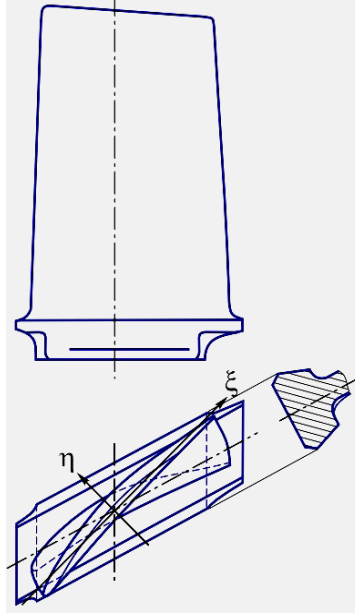


Fig. 8. The working blade of the gas turbine engine axial compressor: ξ and η are the principal axes of the blade feather inertia

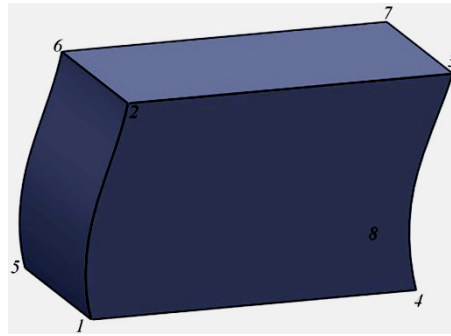


Fig. 9. Special hexagonal finite element

The blade has the following characteristics: blade height $l = 54\text{mm}$; chord $b = 37\text{ mm}$; blade feather thickness $c_{\max} = 0.1\text{ mm}$; twist angle $\alpha = 17^\circ$. The blade is made of titanium alloy having the following mechanical characteristics: density $\rho = 4700\text{ kg/m}^3$, Young's modulus $E = 1.125 \times 10^{11}\text{ MPa}$; Poisson's ratio $\nu = 0.31$.

The results of numerical determination of the compressor blade natural vibration frequencies are given below in table 4.

Table 4. Natural vibration frequencies of the axial compressor blade, kHz

Natural vibration modes			
Bending modes	Torsional modes	Bending-torsional modes	
m=0 n=1	m=1 n=1	m=1 n=2	m=2 n=1
Calculated data			
1,389	4,066	11,905	15,700
Experimental data			
1,400	4,000	11,970	15,100
Divergence, %			
0,78	1,62	2,54	3,82

Analyzing the obtained vibration modes, given in the Fig. 10, we found a tendency of the vibration modes complication during the transition to resonances of higher orders. Nodal lines during the transition from one frequency of natural vibration to another change their shape and location relative to the axis of the blade. Nodal lines in the blade transverse direction are not orthogonal to their edges, but are located to them at different angles depending on the value of the resonant frequency. In the blade meridian direction, they are also not parallel to the edges. Moreover, the nodal lines on the blade surface are not straight lines, but curves. This phenomenon is observed both on the lower bending ($m = 0$, $n = 1$), and on higher bending-torsional vibration modes.

Based on the calculated data, we found out the dependences of the resonance frequency f from the wave number n for a constant value of the wave number m . For comparison, the experimental and calculated frequencies are shown in Fig. 10 [7].

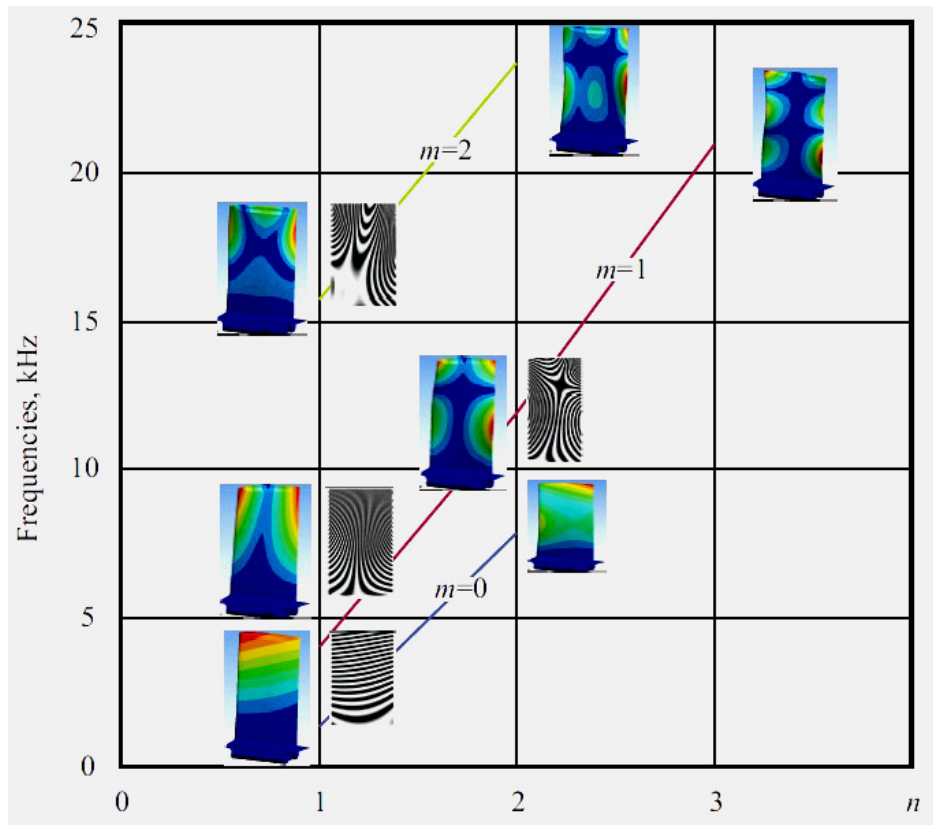


Fig. 10. Graphical dependences of the axial compressor blade natural vibration frequency from the wave number in the blade transverse direction (calculated modes are colourized, experimental – monochrome)

Conclusions

In the frequency range from 100 to 4000 Hz, using the finite element method, the resonant vibration frequencies of a three-dimensional model of a GTE turbine and axial compressor blades are determined. The standard deviation of the calculated and experimental data was about 5.5%.

It is shown that cutting off the fir tree part of the blade root when modeling the boundary conditions of fixing makes it possible to simplify the calculation process by simplifying the geometry of the three-dimensional model of the blade under study, with a minimum loss of calculation accuracy ($\sim 1.5\%$).

The verification of the developed mathematical model was carried out by an experimental study. It has been hold on the base of an advanced method of time-dependent electronic interferometry of a thick smooth cylindrical shell. The results

of the test problem solution obtained by the numerical method are in good agreement with experimental data (divergence between 0.4% – 3.9%) that indicates adequacy and high reliability of the developed mathematical model

The obtained scientific and technical results ensured the creation of a number of new training courses for masters and postgraduate students of the specialty "Applied Mechanics".

References

1. Tkach, M. R., Zolotoy, Yu. H., Dovhan, D. V., et all. Investigation of the gas turbine engines vibration modes using the method of holographic interferometry in real time. *Aviation-space technique and technology*, 2011, no. 85(8), pp. 51-56.

2. Morgun, S. The blades constructions finite elements models development. *Bulletin of the National Technical University «KhPI». Ser. New Solutions in Modern Technologies*, 2016, no. 42 (1214), p. 86-91. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2016.42.14>.

3. Tkach, M. Improving the Noise Immunity of the Measuring and Computing Coherent-Optical Vibrodiagnostic Complex. *Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer Cham, 2020, vol 188. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7_23

4. Tkach, M. R., Zolotoi, Yu. G., Zhuk, I. Yu., Galynkin, Yu. N., Proskurin, A. Yu., Klyuchnik, V. S. Eksperimental'noe opredelenie vibratsionnykh kharakteristik rabochikh lopatok turbin po-mekhoustoichivym tsifrovym spekl-interferometrom [Experimental Determination of Vibration Characteristics of Turbine Blades with Noise-Immune Digital Speckle Interferometer]. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2021, no 4., pp. 52-61. <https://doi.org/10.32620/aktt.2021.4sup2.07>.

5. Tkach, M. R., Zhuk, I. Yu., Dovhan', D. V., Zolotyy, Yu. H. *Sposib vyznachennya chastot i form rezonansnykh kolyvan' lopatok hazoturbinnoho dvyhuna metodom spekl-interferometriyi* [A method for determining the frequencies

and shapes of resonant coliving blades of a gas turbine engine using the speckle-interferometry method]. Patent UA, №.103068, 2015.

6. Tkach, M. R., Kulishov, S. B., Polishchuk, V. A., Klyuchnik, V. S., Zolotoi, Yu. G., Zhuk, I. Yu., Proskurin, A. Yu., Galynkin, Yu. N. Eksperimental'no-raschetnoe opredelenie mekhanicheskikh svoistv materiala rabochikh lopatok GTD [Experimental and computational determination of the mechanical properties of the material of rotor blades]. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2021, no. 4, pp. 83-92.

7. Tkach, M., Morhun, S., Zolotoy, Y., Zhuk I. Modal analysis of the axial compressor blade: advanced time-dependent electronic interferometry and finite element method. *Int. J. Turbo Jet-Eng*, 2021. <https://doi.org/10.1515/tjj-2020-0014>.

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

<i>Слободян С.О., Харитонов Ю. М.</i> Технорлогічна платформа SHIPBUILDING 4.0: Адитивні технології	4	ПЛ1
<i>Tkach M.R., Kulishov S.B., Morhun S.O., Polischyk V.A., Halynkin Yu.M., Proskurin A.Yu.</i> Experimental and theoretical determination of gas turbine engine blades vibration characteristics	7	ПЛ2

СЕКЦІЯ №1

Новітні досягнення у галузі прикладної механіки

<i>Познанський А.С., Митрофанов О.С.</i> Особливості виготовлення роторно-поршневих двигунів	23	C101
<i>Митрофанов О.С., Познанський А.С.</i> Особливості вибору зазорів циліндричної групи роторно-поршневих двигунів	26	C102
<i>Шумілов О.П.</i> Модернізація автоколивального відрізного різця	29	C103
<i>Лисих А.Ю.</i> Дослідження періоду стійкості інструменту від інтенсивності охолодження	31	C104
<i>Боду С.Ж., Газюка Д.О.</i> Вибір інструментального матеріалу з твердого сплаву для обробки легованих сталей	35	C105
<i>Шумілов О.П., Арістов В.В.</i> Упровадження методів неруйнівного контролю при виготовленні виробів машинобудування	39	C106
<i>Поліщук В.А., Ніколаєв О.Л., Корулик С.О., Матвієнко Ю.М.</i> Дослідження впливу динамічних похибок верстатних пристосувань на точність механічної обробки деталей	42	C107
<i>Боровик Є.Ю., Нестеренко В.В., Ошовський В.Я.</i> Підвищення ресурсу колінчастого вала двигуна внутрішнього згорання	46	C108
<i>Трюхан О.В., Нестеренко В.В., Ошовський В.Я.</i> Підвищення ресурсу деталей ДВЗ технологічною обробкою	49	C109
<i>Нестеренко В.В.</i> Безтермічна кінцева обробка поверхонь тертяспряжень двигунів внутрішнього згорання	54	C110
<i>Ошовський В.Я.</i> Іонне азотування для технології підвищення зносостійкості деталей ДВЗ	57	C111

<i>Дударчук Є.С., Нестеренко В.В., Ошовський В.Я.</i> Аналіз перспективних методів виготовлення заготовок колінчастих валів потужних ДВЗ	59	C112
<i>Bodu S.J., Gladkiy R.V.</i> The methodology of testing of a knowledge intensive product for tribotechnologies	63	C113
<i>Дем'яненко Г.С., Шаповалов Ю.О., Семенов М.М.</i> Аналіз енергоефективності систем змащення	68	C114

СЕКЦІЯ №2

Технології CAD/CAE/CAM у проектуванні, створенні та експлуатації технічних систем

<i>Новошицький А.В., Довгорученко В.Ю., Хвастунова К.В.</i> Розробка нових конструкцій компактного металообробного устаткування з використанням CAD систем	72	C201
<i>Новошицький А.В.</i> Автоматизація розрахунків параметрів технології виготовлення тонкостінних профілів гнуттям з поздовжнім розтягом	76	C202
<i>Поліщук В.А., Ніколаєв О.Л., Попенко В.В., Корулик С.О.</i> Дослідження показників жорсткості та вібростійкості конструкцій верстатних пристосувань за допомогою CAD/CAE систем	81	C203
<i>Ткач М.Р., Костріков О.А.</i> Скінчено-елементне моделювання крутильних коливань легкого валопровода	85	C204
<i>Ткач М.Р., Галинкін Ю.М., Проскурін А.Ю., Безушко С.О.</i> Використання програмного комплексу SOLID WORKS для визначення частот і форм власних коливань втулки суднового двигуна	91	C204
<i>Ткач М.Р., Поліщук В.А.</i> Моделювання крутильних коливань трансмісії з урахуванням податливості елементів	95	C205
<i>Tarasenko O.I., Tarasenko A.O.</i> Comparative analysis of the dynamics of a linear oscillator using SIMULINK (mathematical model) and SIMSCAPE (physical model) in the near resonant region	99	C206
<i>Ткач М.Р., Чікал М.А.</i> Удосконалення технології виготовлення ступиці	104	C207