

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний аерокосмічний університет  
ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

**МІЖНАРОДНА  
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
«INTEGRATED COMPUTER TECHNOLOGIES  
IN MECHANICAL ENGINEERING»**

**ICTM-2020**

Тези доповідей

Харків 2020

УДК [621.002+629.7]: 004.9 (063)

Міжнародна науково-практична конференція “Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering” ICTM-2020 [Текст]: тези доп. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2020. – 88 с.

Подано матеріали доповідей Міжнародної науково-практичної конференції “Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering” ICTM-2020 («Інтегровані комп’ютерні технології в машинобудуванні» ІКТМ-2020).

Наведено й обговорено основні науково-практичні досягнення, упровадження і досвід використання інтегрованих комп’ютерних технологій у галузях машинобудування.

Для спеціалістів науково-дослідних і промислових організацій, викладачів, аспірантів і студентів.

**УДК [621.002+629.7]: 004.9(063)**

© Авторський колектив, 2020  
© Національний аерокосмічний  
університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», 2020

**Почесний голова конференції:**

Нечипорук М. В. – д. т. н., проф., ректор Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

**Виконавчий голова конференції:**

Павликов В. В. – д. т. н., с. н. с., проректор з наукової роботи Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

**Міжнародний програмний комітет:**

1. Дружинін Є. А. – д. т. н., проф. (Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків)
2. Шаховська Н. Б. – д. т. н., проф. (Національний університет «Львівська політехніка»; м. Львів)
3. Дорош М. С. – д. т. н., проф. (Чернігівський технічний університет, м. Чернігів)
4. Лукін В. В. – д. т. н., проф. (Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків)
5. Возель Бенуа, PhD, доц., (Університет міста Рен 1, Ланьон, Франція)
6. Пономаренко Микола, с.н.с., (Університет міста Тампере, Тампере, Фінляндія)
7. Пономарьов Володимир, проф.,(Національний політехнічний інститут, Мехіко, Мексика)
8. An Vo – PhD, assoc. prof. (NTU, Nan'yang, Singapur)
9. Бодяньський Є. В. – д. т. н., проф. (Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків)
10. Whitehead Ch. K. – D.Sc., prof. (Carnell Tech, м. Нью-Йорк, США)
11. Данилов В. Я. – д. т. н., проф. (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ)
12. Завгородній А. Ю. – Phd (LinkedIn, Каліфорнія, США)
13. Заславський В. А. – д. т. н., проф. (Київський національний університет ім. Т. Г. Шевченка, м. Київ)
14. Кисельова О. М. – д.ф-м.н., проф. (Дніпровський національний університет ім. Олеса Гончара, м. Дніпро)
15. Ніколаєв О. Г. – д.ф-м.н., проф. (Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків)
16. Новожилова М. В. – д.ф-м.н., проф. (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків)
17. Polosukhin Illia (NEAR.ai, San Francisco, CA, USA)
18. Przdistski K – Phd (Codete, м. Краків, Польща)
19. Соколов О. – д. т. н., проф. (Університет Миколи Коперника, м. Торунь, Польща)
20. Стоян Ю. Г. – д. т. н., проф. (Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, м. Харків)
21. Туркін І. Б. – д. т. н., проф. (Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків)
22. Угрюмов М. Л. – д. т. н., проф. (Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків)
23. Федорович О. Є. – д. т. н., проф. (Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків)
24. Харченко В. С. – д. т. н., проф. (Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків)
25. Judelson M. V. – PhD (Університет Карнегі Меллон, Піттсбург, США)
26. Яковлев С. В. – д.ф-м.н., проф. (Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків)
27. Горбенко А. – д. т. н., професор (м. Лідс, Великобританія)

*«Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2020»*

28. Долматов А. І. – д. т. н., проф. (Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків)
29. Волосяк В. К. – д. т. н., проф. (Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків)
30. Гребеніков О. Г. – д. т. н., проф. (Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків)
31. Планковський С. І. – д. т. н., проф. (Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків)
32. Mialytsa Anatoliy, Doctor of Technical Sciences, Professor (National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine)
33. Бичков С. А. – д. т. н., проф., головний інженер ДП «Антонов» (ДП «Антонов», м. Київ)
34. Донець О. О. – керівник ДП «Антонов» (ДП «Антонов», м. Київ)
35. Дегтярьов О. В. – генеральний директор ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», академік НАН України (ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», м. Дніпро)
36. Кашанов О. Е. – заступник генерального конструктора ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля» з наукової і навчальної роботи (ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», м. Дніпро)
37. Богуслаєв В. О. – президент АТ «МОТОР СІЧ», генеральний конструктор (АТ «МОТОР СІЧ», м. Запоріжжя)
38. Пащенко Ю. О. – директор КП «НВК «ІСКРА» (КП «НВК «ІСКРА», м. Запоріжжя)
39. Коростельов О. П. – генеральний директор ДП «Державне Київське конструкторське бюро «ЛУЧ»» (ДП «Державне Київське конструкторське бюро «ЛУЧ»», м. Київ)
40. Попов В. В. – голова правління ПАТ «ФЕД» (ПАТ «ФЕД», м. Харків)
41. Глібоцьки Роберт – D.Sc., Professor (ВТУ, м. Варшава, Польща)
42. Д-р Салай Тібор, доцент, завідувач кафедри виробничих технологій та економіки Будапештського університету технологій та економіки (Будапештський університет технологій та економіки, Будапешт, Угорщина)
43. Санін А. Ф. – д. т. н., проф. (Дніпровський національний університет ім. Олеса Гончара, м. Дніпро)
44. Крицький Д. М. – к. т. н. (Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків)
45. Каратанов О. В. – к. т. н. (Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків)
46. Гуляницький Леонід, д. т. н., старший науковий співробітник (Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, Київ, Україна)
47. Лобур Михайло, д. т. н., проф. (Національний університет "Львівська політехніка", Львів, Україна)
48. Погудіна Ольга, д. філос. н., доц. (Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна)
49. Шипул Ольга, д. філос. н., доц. (Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна)

### **Оргкомітет конференції.**

#### *Голова:*

Павліков В. В. – д. т. н., с. н. с., проректор з наукової роботи Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського “ХАІ”.

#### *Співголова:*

Крицький Д. М. – к. т. н., доцент каф. 105 Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського “ХАІ”.

#### *Секретар оргкомітету:*

Старовойт Т. П. – к. психол. н., доцент каф. 707 Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського “ХАІ”.

#### *Члени оргкомітету:*

Каратанов О. В. – к. т. н., доцент каф. 105 Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського “ХАІ”;

Погудіна О. К. – к. т. н., доцент каф. 105 Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського “ХАІ”;

Хіжняк Т. О. – ст. викл. каф. 704 Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського “ХАІ”;

Калашнікова В. І. – ст. викл. каф. 105 Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського “ХАІ”;

Шипуль О. В. – к. т. н., доцент каф. 104 Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського “ХАІ”;

Биков А. М. – ас. каф. 105 Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського “ХАІ”;

Крицька О. С. – ас. каф. 105 Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського “ХАІ”;

Морікова А. Д. – ас. каф. 105 Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського “ХАІ”.

## ЗМІСТ

Rational Design of the Cyclically Symmetrical Structure .....	7
Вплив параметрів нанесення клею методом глибокого друку на міцність склеювання стілникового заповнювача.....	10
Макроскопічна неоднорідність оптичних, діелектричних і фотодіелектричних властивостей кристалів ZnSe.....	21
Організація процесів управління портфелем проектів енергозбереження на металургійному підприємстві.....	25
Project Management in Universities under the Global Pandemic .....	29
Багатокомпонентний аналіз зображень.....	32
The Cascading Subsystems Concept of the Enterprise Performance Management System .....	36
Оцінка Напружено-Деформованого Стану Паливного Бака Ракети-Носія з Використанням Різних Розрахункових Схем .....	40
Дослідження Шаруватих Композитів при Ударному Навантаженні.....	43
Дистанційне керування і контроль промислового маркувального принтеру .....	47
Використання платформи ARDUINO при підготовці інженерів електромеханіків .....	51
Проектування елементів систем з газотурбінними двигунами на основі інформаційних технологій .....	55
Ідентифікація розрахункових моделей динаміки роторів турбодвигуна і генератора газотурбінної установки з магнітними підшипниками для автоматизації проектування .....	59
Стан і проблеми вітчизняного бізнесу на ринку авіаперевезень в сучасних нестабільних умовах .....	63
Ways and methods of identification and cooperation with users .....	66
Computational assessment of how dampers in a pyrotechnical system for rocket fairing separation affect its dynamic characteristics .....	70
Доцільність застосування та використання безсерверних обчислен .....	74
Improving the reliability of cardiological diagnostics of arrhythmias using stochastic parameters of spectral dynamics of rhythmograms.....	77

# Rational Design of the Cyclically Symmetrical Structure

Serhii Misura  
National Technical  
University  
(Kharkov Polytechnical  
Institute),  
2, Kyrpychova str., 61002,  
Kharkiv, Ukraine

A. Podgorny Institute of  
Mechanical Engineering  
Problems of the National  
Academy of Sciences of  
Ukraine,  
2/10, Pozharsky St., 61046,  
Kharkiv, Ukraine  
misurasy@gmail.com

Natalia Smetankina  
A. Podgorny Institute of  
Mechanical Engineering  
Problems of the National  
Academy of Sciences of  
Ukraine,  
2/10, Pozharsky St., 61046,  
Kharkiv, Ukraine  
nsmetankina@ukr.net

Ievgeniia Misiura  
Simon Kuznets Kharkiv  
National University of  
Economics,  
9a, Nauky avenue,  
61166, Kharkiv, Ukraine  
misuraeu@gmail.com

**Abstract** — The problem of optimal design of a Kaplan turbine cover operating in the normal mode is solved. The geometric parameters of the cover are modified to minimize the cover weight. To calculate the parameters of the strain-stress state, the finite element method is used. Optimization was performed using the gradient method. The design variables are the thicknesses of structural elements. The weight of the cover was reduced by 30 %, and the rolled stock thickness range was downsized by five positions. In this case, the stress values in the optimal structure did not exceed admissible ones.

**Keywords**—*optimization, Kaplan turbine, strain-stress state, gradient method*

## I. INTRODUCTION

When designing hydraulic turbines, one of the main problems is to ensure their strength and reliability during continuous operation under the influence of static and dynamic loadings [1 - 3].

The specific feature of a hydroelectric power station workflow requires special design solutions that ensure reliable operation of units and structures, one of which is the cover of a hydraulic turbine. It is a large-size welded fixed ring part that limits the flow part from above and serves as a base for accommodating guide apparatus parts.

Despite significant achievements in the study of the strength of cyclically symmetric metal structures, the study of their reliability remains relevant. That is why, design of hydropower turbines for hydroelectric power plants requires methods for determining their strain-stress state, allowing to create design models with sufficient accuracy [4].

Typically, the shape of impellers of a hydraulic turbine is optimized [5 - 7]. The problems of optimal cover design are less studied [8, 9].

In this work, the strain-stress state of a Kaplan turbine cover is analyzed using advanced effective methods and programs for calculating the strength and characteristics of welded load-bearing structures. The methods and programs are based on the elasticity theory the finite element method and the theory of thin plates and shells [10 - 12]. The optimization problem is solved using the gradient method [13].

The aim of the paper is optimal design of the initial and modified Kaplan turbine cover configurations. The objective function is the cover weight. The optimization parameters are the thicknesses of the structural elements.

## II. MODEL OF A KAPLAN TURBINE COVER

A finite-element cover model of a Kaplan turbine under static axisymmetric load is offered. The cover is a spatial cyclically symmetric structure consisting of thin-wall shells of revolution joined by  $n$  ribs. The ribs are meridional plates of complex configuration. Thus, the cover consists of sectors, on whose boundaries the conditions of cyclic symmetry are satisfied. The development of a model with such structures begins with developing a sector model.

When constructing a sector model, the key points in the plane of the rib, along which the lines are drawn, are first defined, and then a rib model is created. To obtain the shell parts of the structure and a complete sector model, the lines of intersection of ribs and shell surfaces are rotated clockwise and counterclockwise through an angle of  $360/(2n)$ , where  $n$  is the number of sectors.

Since the cover is a spatial structure consisting of thin-wall elements, for which the ratio of the thickness of the structural elements and the characteristic size does not exceed  $1/10$ , the theory of thin plates and shells is used.

The system of governing equations is

$$[K]\{u\} = \{F\}, \quad (1)$$

where  $[K]$  is stiffness matrix;  $\{u\}$  is vector of nodal displacements;  $\{F\}$  is vector of forces determining the influence of external loads.

To solve the problem, a triangular elastic shell finite element with three nodes is used. An element in each node has six degrees of freedom, namely displacements in the direction of the coordinate  $X$ ,  $Y$  and  $Z$  axes and rotations about them.

The model is divided into finite elements, after which the conditions of cyclic symmetry, as well as the conditions of structure fixing and loading are introduced at the boundaries with neighboring sectors.

Fig. 1 shows the scheme of the cover. To place the mechanisms and reduce the cover weight, round holes are provided in the ribs. Curved holes are created in the annular plates in the form of a blade profile, which are designed for dismantling and repairing individual blades without completely disassembling the guide apparatus. The cover has such overall dimensions: diameter 3.44 m; height, 1.05 m.

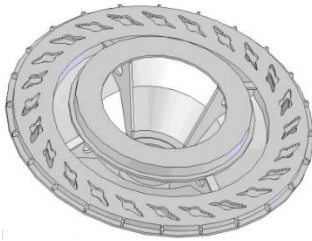


Fig. 1. Kaplan turbine cover

The cover is made of sheet steel St20 or its analog ASTM A516 Gr.60. The mechanical properties of the material are as follows:  $E = 2.1 \cdot 10^5$  MPa is Young's module;  $\nu = 0.3$  is Poisson's ratio;  $\rho = 7850$  kg/m<sup>3</sup> is material density;  $\sigma_\tau = 215$  MPa is yield strength;  $\sigma_s = 430$  MPa is ultimate strength;  $[\sigma] = 0.5 \cdot \sigma_\tau = 107.5$  MPa is admissible stress.

The conditions are introduced for fixing the cover on the supporting surface of the flange connecting it to the stator ring, which is considered absolutely rigid, along the circumference on which the studs of the flange connection are located.

Fig. 2 shows the scheme of cover loading and fastening. The weight of the generator and impeller is taken into account in the form of equivalent pressure  $P = 2.45 \cdot 10^5$  N applied to the surface of the upper ring (Fig. 2).

In the normal mode, the hydraulic pressure  $q_2 = 0.0965$  MPa is applied to the bottom. During an emergency shutdown of the turbine unit, the pressure in the supply pipe from the radius of the circle RL, on which the guide apparatus vanes are located to the circle radius on which the studs of the flange connection RS are located, rises sharply from  $q_2$  to  $q_1 = 0.1254$  MPa. Therefore, numerical results are presented precisely for this case.

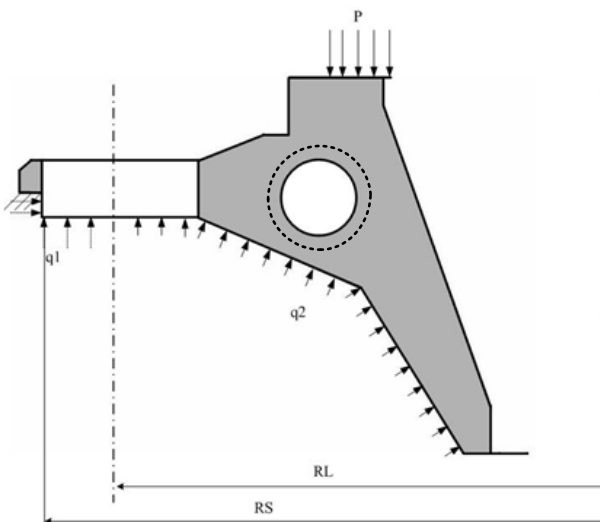


Fig. 2. Scheme of cover loading and fastening

In Fig. 2, the dotted line shows the contour of a modified hole in the cover rib to place equipment and reduce the weight. The radius of this hole is increased 1.5 times relative to the original one. Fig. 3 shows the finite element model of the cover sector.

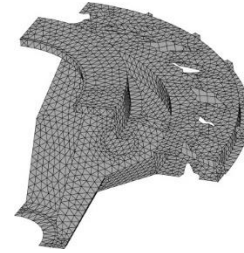


Fig. 3. Finite element model of the cover sector

### III. STRESS ANALYSIS OF THE COVER

First, we obtain the distribution of axial displacements (Fig. 4) and stress intensity (Fig. 5) in the cover in the normal mode.

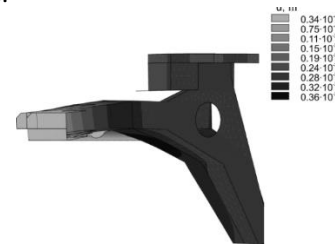


Fig. 4. Distribution of axial displacements in the cover sector

Maximum stresses occur in the ribs, which are located in the duct where the vanes of the guide apparatus pass. In Fig. 5, the arrow (→) shows the zone of highest stress concentration. Calculation yields zones where maximum displacements occur. They are located in the duct on the guide apparatus side. The maximum displacement and stresses have the following values:  $u_{\max} = 3.6 \cdot 10^{-4}$  m and  $\sigma_{\max} = 30.15$  MPa, respectively.

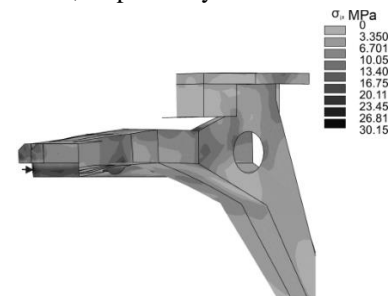


Fig. 5. Distribution of stress intensity in the cover sector

Similar distributions of axial displacements and stress intensities in the cover in the normal mode were obtained when the hole was modified (see Fig. 2). The calculation results are shown in Figs. 6 and 7.

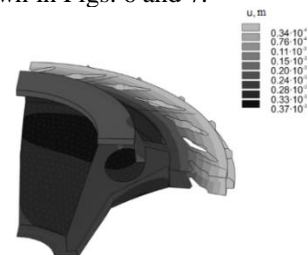


Fig. 6. Distribution of axial displacements in the cover sector with the modified hole



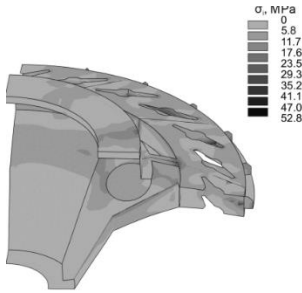


Fig. 7. Distribution of stress intensity in the cover sector with the modified hole

IV. STATEMENT OF THE OPTIMAL DESIGN PROBLEM

In a broad sense, the general problem of nonlinear programming consists in finding the extreme point

$$C = C^*, C \in E_m, \quad (2)$$

where  $E_m$  is the space of design variables at which the objective function reaches a minimum value

$$F^* = F(C^*) = \min F(C), \quad (3)$$

and constraints are met

$$G_j(C^*) \geq 0, j = \overline{1, J}.$$

Here,  $C$  is the vector of the space of design variables. The objective function is the cover weight. The design variables were the thicknesses of the cover structural elements, namely shells, plates and ribs. Constraints are imposed on the minimum and maximum values of thicknesses. This is most often the case because of manufacturing and operational requirements. The minimum possible thickness for all elements is 0.016 m. The maximum thicknesses are the initial values of thicknesses of the not modified cover. The maximum stress intensity values are limited by the admissible value  $[\sigma] = 107$  MPa.

The problem of optimal design is solved with the gradient method using a finite-difference analogue of a gradient for the objective function described previously [13].

V. OPTIMIZATION RESULTS

The numerical solution of the optimization problem yields the optimal thicknesses of shells, plates and ribs of the cover. As a start design, the covers with initial and modified holes were selected in turn.

Figs. 8 and 9 show the distributions of axial displacements and stress intensity in the optimal cover, respectively. Maximum stresses arise in the area of ribs as indicated by the arrow ( $\rightarrow$ ).

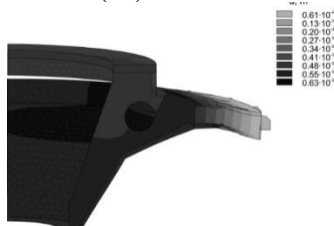


Fig. 8. Distribution of axial displacements in the optimal cover

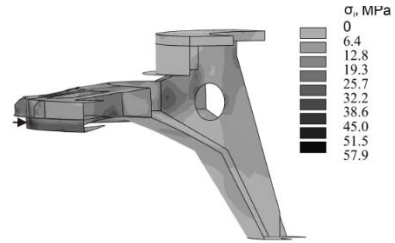


Fig. 9. Distribution of stress intensity in the optimal cover

Next, the cover with the modified hole was optimized. The distribution of stress intensity in the optimal cover in the normal mode with the modified hole is shown in Fig. 10.

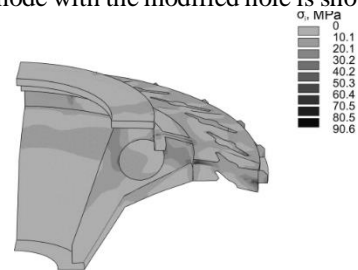


Fig. 10. Distribution of stress intensity in the optimal cover with the modified hole

Table 1 presents the maximum values of stress intensity  $\sigma_{max}$ , axial displacements  $u_{max}$  and the cover weight obtained by design of original and optimal structures. The optimal design is characterized by the following range of structural thicknesses (shells, plates and ribs) 0.018 m, 0.02 m, 0.022 m, 0.03 m, 0.032 m, and 0.04 m.

TABLE I. PARAMETERS OF OPTIMAL DESIGN OF THE COVER.

Cover structure	Stress intensity $\sigma_{max}$ [MPa]	Displacement $u_{max} \cdot 10^{-3}$ [m]	Weight [kg]
Original cover	32.2	0.371	4080.7
Optimal cover with the hole	57.9	0.630	2578.5
Optimal cover with the modified hole	90.6	0.649	2569.2

During optimization, only constraints on the minimum thicknesses were applied. Hence, the thicknesses of all elements of the optimal cover turned out to be the same and equal to 0.16 m. The thickness of the flange of the cover attached to the stator remained equal to 0.03 m.

Note that the optimal cover weight is 1510 kg less than that of the initial cover. In addition, the nomenclature of optimal design elements was reduced by five positions, which is a clear advantage.

The stresses in the optimal cover for all structures do not exceed admissible values.

CONCLUSIONS

The paper suggests an approach to minimum weight design of Kaplan covers subject to geometrical and strength constraints. Optimal design parameters are the structural thicknesses of covers. Constraints are imposed on the minimum and maximum values of thicknesses of shells, plates and ribs in the cover. Constraints are also imposed on maximum stress intensity values.

A special technique based on the finite element method was developed to analyze the strain-stress state of covers under a static axisymmetric load. The optimization problem is formulated in terms of nonlinear programming, and then solved using the gradient method.

Several numerical examples are given that allow following the variation of the optimal design depending on the type of covers. Covers with holes and without holes in ribs were considered.

In all the cases, the weight of the optimal cover is one third less than that of the original structures, and the stresses in the optimal covers do not exceed the admissible values. In addition, the rolled stock thickness range is downsized by five positions. That is crucial for manufacturing turbines.

In practice, the execution of an optimal design is limited by the thicknesses of structural elements. However, optimal design makes it possible for a designer to see how close it fits an optimal one. Therefore, optimal designs similar to those given here may be useful when designing real turbines.

#### ACKNOWLEDGMENT

The work was supported in part by the budget program of the NAS of Ukraine KPKVK 6541230 "Supporting the development of priority areas of scientific research".

#### REFERENCES

- [1] S. Yershov, A. Rusanov, A. Gardzilewicz, and P. Lampart, "Calculations of 3D viscous compressible turbomachinery flows," Proc. 2nd Symp. on Comp. Technologies for Fluid / Thermal / Chemical Systems with Industrial Applications, ASME PVP Division Conf., Boston, USA, PVP, vol. 397.2, pp. 143-154, August 1999.
- [2] I.G. Suvorova, O.V. Kravchenko, and I.A. Baranov, "Mathematical and computer modeling of axisymmetric flows of an incompressible viscous fluid by the method of R-functions," J. of Mathematical Sciences, vol. 184, issue 2, pp. 165-180, July 2012.
- [3] E. Strelnikova, D. Kriutchenko, V. Gnitko, and K. Degtyarev, "Boundary element method in nonlinear sloshing analysis for shells of revolution under longitudinal excitations," Engineering Analysis with Boundary Elements, vol. 111, pp. 78-87, February 2020.
- [4] E.A. Strelnikova, T.F. Medvedovskaya, E.L. Medvedeva, A.V. Linnik, and O.N. Zelenskaya, "Use of computer technologies in modernization of head covers for PL 20-B-500 Kaplan turbines," J. Mech. Eng., vol. 21, no 1, pp. 35-44, January 2018.
- [5] A. Chehour, R. Younes, A. Ilinca, J. Perron, and H. Lakiss, "Optimal design for a composite wind turbine blade with fatigue and failure constraints," Transactions - Canadian Society for Mechanical Engineering, vol. 39, issue 2, pp. 171-186, July 2015.
- [6] A.Yu. Avdyushenko, S.G. Cherny, D.V. Chirkov, V.A. Skorospelov, and P.A. Turuk, "Numerical simulation of transient processes in hydroturbines," Thermophysics and Aeromechanics, vol. 20, no 5, pp. 577-593, March 2013.
- [7] A. Skotak and J. Obrovsky, "Shape optimization of a Kaplan turbine blade," Proc. of the 23rd IAHRSymp. on Hydraulic Machinery and Systems, Yokohama, Japan, pp. 1-8, September 2006.
- [8] A. Lipej and C. Poloni "Design of Kaplan runner using multiobjective genetic algorithm optimization," J. of Hydraulic Research, vol. 38, no 1, pp.73-79, January 2000.
- [9] A.N. Shupikov and S.Yu. Misyura, "Minimizing stresses in the stiffeners of a turbine cover," Problems of mechanical engineering and machine reliability, vol. 5, pp. 79-84, September 2014.
- [10] S.Y. Misiura, "Hydroelastic vibrations of the covers on water turbines with the upper ring of the guide vanes," Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, vol. 78, no 7, pp. 4-10, 2015.
- [11] A.N. Shupikov, S.Yu. Misyura, Minimization of stresses in stiffening ribs of the cover of a water turbine, Journal of Machinery Manufacture and Reliability, vol. 43, no 5, pp. 416-421, May 2014.
- [12] S.Y. Misura, N.V. Smetankina, and Ie. Iu. Misiura, "Rational modelling of hydroturbine cover for a strength's analysis," Bulletin of the National Technical University "KPI". Series: Dynamics and Strength of Machines, vol. 1, pp. 34-39, January 2019.
- [13] A.N. Shupikov, N.V. Smetankina, and H.A. Sheludko, "Selection of optimal parameters of multilayer plates at nonstationary loading," Meccanica, vol. 33, no 6., pp. 553-564, December 1998.
- [14] Б.І. Копілов [Текст] – М.: ЛБЗ «Юнімедіастайл», 2002. – 832 с.
- [15] Кулік, А.С. Розрахунок і проектування елементів і систем управління / А.С. Кулік [Текст] – Х.: ХАІ, 1986. – 108 с.
- [16] Адаптивні робототехнічні комплекси / А.В. Тимофєєв. – Л.: Машинобудування, 1988. 96 с

## Вплив параметрів нанесення клею методом глибокого друку на міцність склеювання стільникового заповнювача

Кондратьєв Андрій Валерійович

Кафедра технології будівельного виробництва і будівельних матеріалів

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова Харків, Україна

[a.kondratiev@khai.edu](mailto:a.kondratiev@khai.edu)

Набокіна Тетяна Петрівна

Кафедра конструкцій і проектування ракетної техніки

Національний аерокосмічний університет

ім. М.С. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут» Харків, Україна

[t.nabokina@khai.edu](mailto:t.nabokina@khai.edu)

Мельніков Сергій Михайлович

Кафедра економіки та маркетингу

Національний аерокосмічний університет

ім. М.С. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут» Харків, Україна

[s.melnikov@khai.edu](mailto:s.melnikov@khai.edu)

Царіцинський Антон Анатолійович

Кафедра конструкцій і проектування ракетної техніки

Національний аерокосмічний університет

ім. М.С. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут» Харків, Україна

[a.tsaritsynskyy@khai.edu](mailto:a.tsaritsynskyy@khai.edu)

**Abstract** — В даний час перспективним способом одержання стільникового заповнювача з високими

геометричними характеристиками чарунки є застосування для нанесення клею на фольгу методу