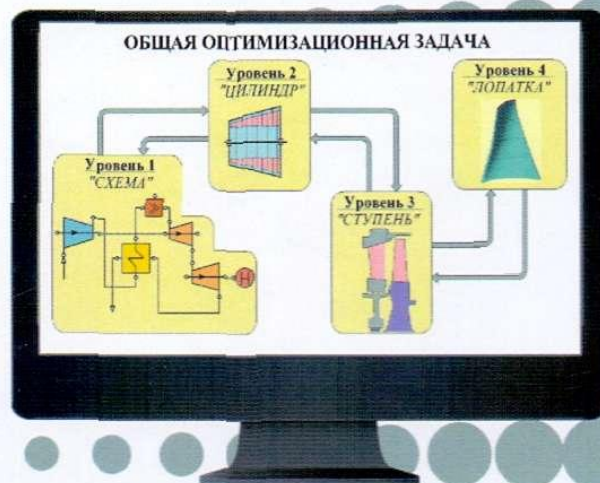
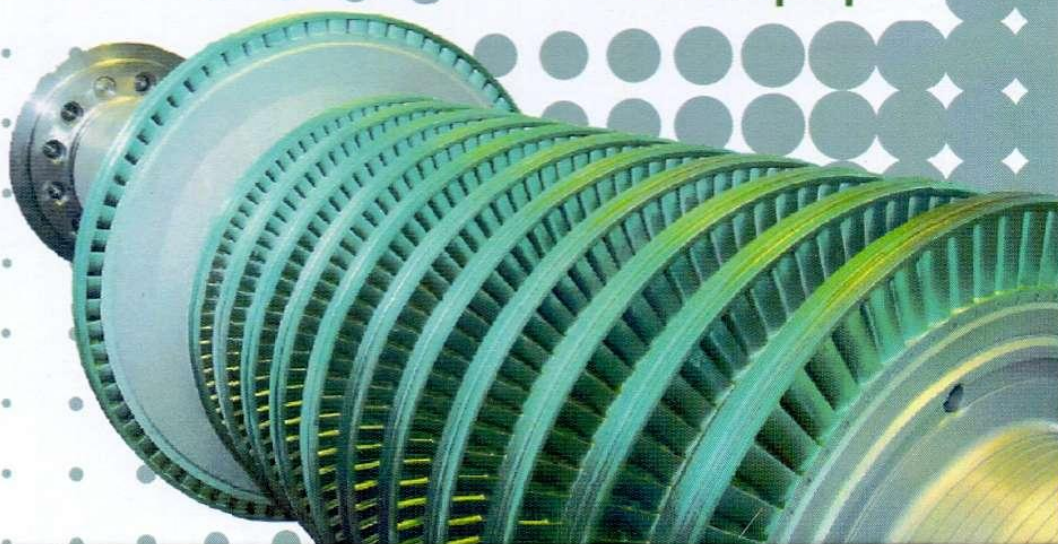


А.В. Бойко
А.П. Усатый
А.С. Руденко



**МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ
МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ
ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ОСЕВЫХ ТУРБИН
С УЧЕТОМ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Монография



Ministry of Education and Science of Ukraine
National Technical University «The Kharkov Polytechnical Institute»

A.V. Boiko, A.P. Usaty, A.S. Rudenko

**MULTI-CRITERION MULTI-PARAMETRIC
OPTIMIZATION
OF FLOW PATHS OF AXIALFLOW TURBINES TAKING
INTO CONSIDERATION THEIR MODE OF OPERATION**

Monograph

Summary

In the monograph the theory of optimization of flow paths of turbomachines is further developed by the use of up-to-date computer complexes.

For the first time a methodology for the object-oriented multilevel, multi-criterion, multi-parametric optimization of turbomachines is presented taking into consideration their mode of operation.

Integrated into the programs complexes for the optimization of mathematical models of turbomachines, the flows of the working medium in turboinstallations, which are part of the general optimization problem, are examined: the schemes of steam and gas-turbine installations, the system of nozzle steam distribution, regulating the turbine stage and the turbine flow path as a whole. The method of optimization, based on the use of DOE theory in combination with an LP-sequence search for the function extremum, makes it possible to effectively find a global extremum, thanks to the formal macro model newly developed by the authors.

A methodology is presented for the creation of a unified integrated information space for the optimization of complex technical systems, of which turboinstallation as a whole are a special case.

Concrete examples of the results of optimization of flow paths of contemporary powerful steam turbines and gas-turbine units are given.

The publication is intended for research associates, experts and graduate students in the field of power mechanical engineering.

Kharkov NTU «KhPI» 2014»

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«Харьковский политехнический институт»

А. В. Бойко, А. П. Усатый, А. С. Руденко

**Многокритериальная
многопараметрическая оптимизация
проточной части осевых турбин
с учетом режимов эксплуатации**

Монография

Харьков
Підручник НТУ «ХПІ»
2 0 14

УДК 621.438 : 621.165

ББК 31.363

Б72

Р е ц е н з е н т ы :

А. Л. Шубенко, д-р техн. наук, проф., Институт проблем машиностроения НАНУ,
чл.-корр. НАН Украины;

С. В. Епифанов, д-р техн. наук, проф., Национальный аэрокосмический университет
им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт»

Публикуется по решению Ученого совета НТУ «ХПИ»
(протокол № 8 от 08.10.2013 г.)

Бойко А. В.

Б72 Многокритериальная многопараметрическая оптимизация проточной части осевых турбин с учетом режимов эксплуатации : монография / А. В. Бойко, А. П. Усатый, А. С. Руденко. - Харьков : Изд-во «Підручник НТУ "ХПІ"», 2014. - 220 с. - На рус. яз.

ISBN 978-966-2426-94-6

Рассмотрены математические модели объектов турбоустановки, входящих в общую задачу ее оптимизации. Излагаются методология и принципы создания комплекса многокритериальной, многопараметрической и многорежимной оптимизации турбоустановки в едином интегрированном информационном пространстве. Приводятся результаты оптимизации геометрических параметров проточных частей цилиндров современных *мощных* паровых турбин на номинальных режимах, а также результаты оптимизации геометрических параметров проточных частей газовых турбин с учетом режимов их эксплуатации.

Ил. 74. Табл. 28. Библиогр.: 95 назв.

УДК 621.438 : 621.165
ББК 31.363

© Бойко А. В., Усатый А. П., Руденко А. С., 2014

ISBN 978-966-2426-94-6

© Изд-во "ПІДРУЧНИК НТУ "ХПІ", 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Основные условные обозначения	3
Список сокращений.....	6
Предисловие.....	8
Глава 1. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ ТУРБОУСТАНОВКИ.....	11
1.1. Математическая модель одномерного течения рабочего тела в многоступенчатой проточной части.....	15
1.2. Математическая модель коаксиального течения рабочего тела в многоступенчатой проточной части осевой турбины.....	28
1.3. Математическая модель осесимметричного течения реального рабочего тела в проточной части многоступенчатой осевой турбины.....	32
1.4. Математические модели течения рабочего тела в элементах системы соплового парораспределения.....	47
1.5. Математическая модель течения рабочего тела через систему соплового парораспределения и многоцилиндровую ПЧ.....	60
1.6. Подсистема расчета термодинамических циклов газотурбинных установок.....	70
Глава 2. ФОРМАЛЬНОЕ МАКРОМОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	77
2.1. Теоретические основы, методы и алгоритмы создания формальных макромоделей.....	77
2.2. Метод повышения точности формальных макромоделей.....	85
2.3. Методика оценки влияния подрезки выходной кромки на эффективность рабочих решеток.....	88
Глава 3. КОМПЛЕКС МНОГОУРОВНЕВОЙ, РЕКУРСИВНОЙ, ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ, МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ, МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ И МНОГОРЕЖИМНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ.....	103
3.1. Методология рекурсивной объектно-ориентированной многоуровневой оптимизации.....	106
3.1.1. Решение задачи оптимизации при мультимодальной целевой функции.....	115
3.1.2. Особенности решения многокритериальных оптимизационных задач.....	117

3.2. Учет изменения режимов эксплуатации в задачах оптимизации сложных технических систем.....	122
3.2.1. Теоретическая оценка отличия двух подходов учета влияния многорежимности в задачах оптимизации сложных технических систем.....	123
3.2.2. Метод оптимизации, основанный на интегрировании формальных макромоделей целевых функций.....	125
3.3. Методы модификации и управления конструкцией объектов проектирования в процессе поиска оптимальных решений.....	127
3.3.1. Метод управления и оптимизации параметров решеток при заданных множествах сопловых и рабочих профилей...	127
3.3.2. Метод автоматического построения меридиональных обводов многоступенчатой проточной части осевых турбин.....	132
Глава 4. МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ЕДИНОГО ИНТЕГРИРОВАННОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА МНОГОУРОВНЕВОЙ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ И МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	135
4.1. Основные требования, теоретические аспекты и методология формирования единого интегрированного информационного пространства.....	136
4.2. Программно-инструментальные средства инициализации, хранения и редактирования метаданных структурно-топологического описания единого интегрированного информационного пространства.....	146
4.2.1. Универсальный редактор информационных базовых структур, моделей и компонент (ресурсов) единого интегрированного информационного пространства.....	147
4.2.2. Информационные подструктуры, модели и компоненты базовых структур единого интегрированного информационного пространства.....	149
4.3. Информационное пространство проекта. Методы, средства и алгоритмы формирования, навигации и управления.....	159
Глава 5. ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦИЛИНДРОВ МОЩНЫХ ПАРОВЫХ ТУРБИН, РАБОТАЮЩИХ НА НОМИНАЛЬНОМ РЕЖИМЕ.....	165
5.1. Оптимизация параметров цилиндра высокого давления турбины К-220-44-2М для АЭС.....	166
5.2. Оптимизация параметров ПЧ цилиндра высокого давления турбины К-330-23,5.....	168

5.3. Оптимизация параметров ПЧ цилиндра высокого давления турбины К-540-23,5.....	171
Глава 6. ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ОСЕВЫХ ТУРБИН С УЧЕТОМ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	175
6.1. Оптимизация проточной части утилизационной турбодетандерной установки мощностью 4 МВт с поворотными сопловыми лопатками.....	175
6.2. Оптимизация параметров проточной части турбины низкого давления установки ГТ-750-6М.....	182
6.3. Оптимизация законов позиционирования запорных элементов регулирующих клапанов системы соплового парораспределения турбины К-310-23,5.....	191
Список источников информации.....	204

TABLE OF CONTENTS

Nomenclature.....	3
List of abbreviation.....	6
Introduction.....	8
Chapter 1. MATHEMATICAL MODELS OF TURBOINSTALLATION	
OBJECTS.....	11
1.1. Mathematical model of one-dimensional flow of the working medium in a multi-stage flow path.....	15
1.2. Mathematical model of coaxial flow of the working medium in a multi-stage axial turbine flow path.....	28
1.3. Mathematical model of an axially symmetric flow of the real working medium in a multi-stage axial turbine flow path.....	32
1.4. Mathematical model of the working medium in the nozzle system of a turbine steam distribution.....	47
1.5. Mathematical model of the working medium flow through the nozzle system of a turbine steam distribution and multi-cylinder flow path.....	60
1.6. Subsystem of computing the thermodynamic cycles of gas turbine installations.....	70
Chapter 2. THE FORMAL MACROMODELING OF DESIGN	
OBJECTS.....	77
2.1. Theoretical foundations, methods and algorithms for creating formal macromodels.....	77
2.2. Method for improving the accuracy of formal macromodels.....	85
2.3. Methods of evaluating the impact of cutting off the outlet edge on the efficiency of working grids.....	88
Chapter 3. COMPLEX MULTI-LEVEL, RECURSIVE OBJECT-ORIENTED, MULTI-CRITERION, MULTI-PARAMETER AND MULTIMODAL OPTIMIZATION.....	103
3.1. Recursive object-oriented methodology for multilevel optimization.....	106
3.1.1. Task of multimodal function optimization.....	115
3.1.2. Particular solution of multi-criterion optimization problems.....	117

3.2. Accounting for changes in the modes of operation of complex technical systems in problems of optimization_____	122
3.2.1. Theoretical estimation of the difference of the two approaches taking into account the impact of multimodal in the tasks of optimization of complex technical systems_	123
3.2.2. Optimization method based on integrating formal macromodel target functions.....	125
3.3. Methods for modifying and managing the construction of design objects in the search for optimal solutions.....	127
3.3.1. Methods of control and parameter optimization of grids with specified sets of nozzle and work profiles.....	127
3.3.2. Automatic construction method of meridional outline of multi-stage axial turbine flow path.....	132

Chapter 4. METHODOLOGY FOR CREATION

OF A UNIFIED INTEGRATED INFORMATION SPACE FOR OPTIMIZATION OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS.....

4.1. Theoretical aspects and methodology of formation of a unified integrated information space.	136
4.2. Software tool for initialization, storage and editing metadata of structure and topological description of a unified integrated information space.....	146
4.2.1. Universal editor of information frameworks, models and component (resources) of a unified integrated information space.....	147
4.2.2. Information sub-structures, models and components of basic structures of a unified integrated information space.	149
4.3. Information space project. Methods, tools and algorithms of formation, navigation and control.....	159

Chapter 5. OPTIMIZATION OF GEOMETRICAL PARAMETERS

OF THE CYLINDERS FLOW PATH OF POWERFUL STEAM TURBINES OPERATING AT NOMINAL MODE.....

5.1. Optimization of parameters of high pressure cylinders of turbine K-220-44-2M for nuclear power plants.....	166
5.2. Optimization of parameters of high-pressure cylinders of turbine K-330-23,5.....	168

5.3. Optimization of parameters of high-pressure cylinders of turbine K-540-23,5.....	171
Chapter 6. OPTIMIZATION OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF AXIAL FLOW TURBINES FLOW PATH TAKING INTO CONSIDERATION MODES OF OPERATION.....	175
6.1. Optimization of the flow path of the 4-stage turbine expander capacity 4 MW with rotary blades.....	175
6.2. Parameter optimization of the flow path of a low-pressure turbine installation GT-750-6M.....	182
6.3. Optimization of laws on positioning the shut-off elements of the governing system of turbine steam distribution valves of turbine K-310-23,5.....	191
List of sources used.....	204