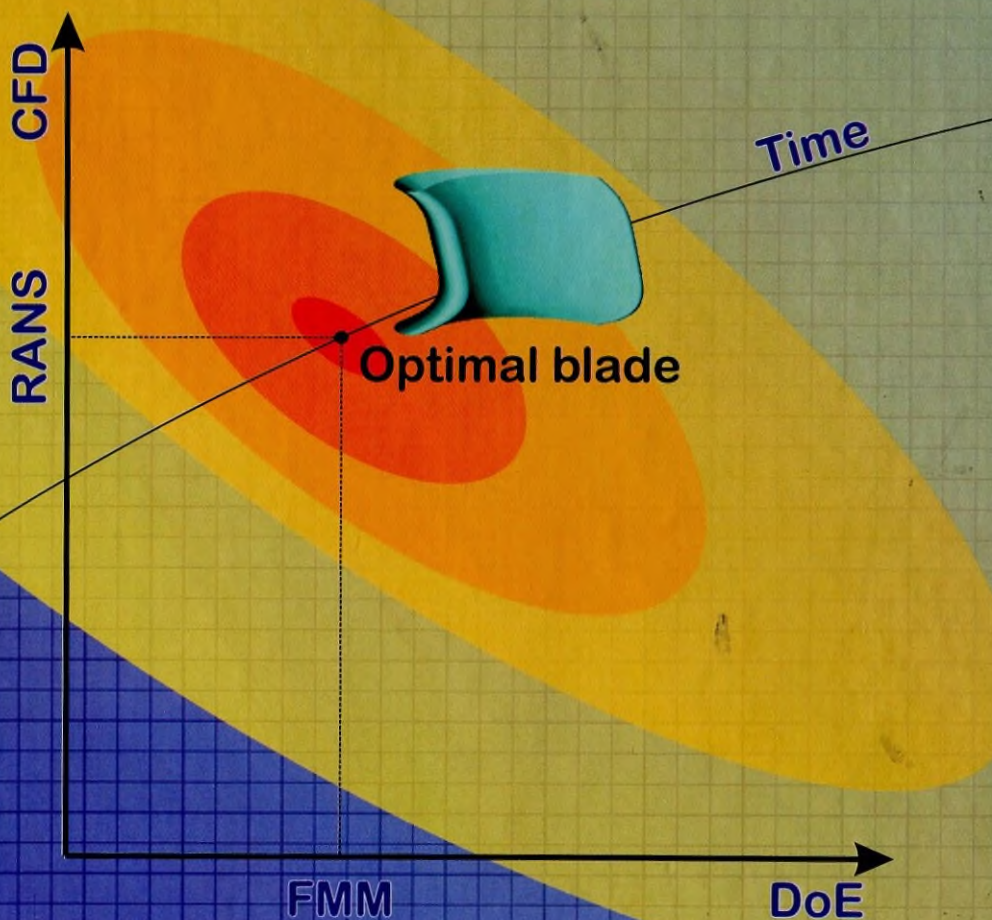


А.В. Бойко, Ю.Н. Говорущенко, М.В. Бурлака

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ АЭРОДИНАМИКИ К ОПТИМИЗАЦИИ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ,
МОЛОДЕЖИ И СПОРТА УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«Харьковский политехнический институт»

А. В. Бойко, Ю. Н. Говорущенко, М. В. Бурлака

**Применение
вычислительной аэродинамики
к оптимизации лопаток
турбомашин**

Монография

Харьков
НТУ «ХПИ»
2012

УДК 62-135/136
ББК 31.363
Б77

Публикується по рішенняу Ученого совета НТУ «ХПИ»
(протокол № 1 от 20.01.2012 г.)

Р е ц е н з е н т ы :

Э. Г. Братута, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;
А. Л. Шубенко, д-р техн. наук, проф., Институт проблем
машиностроения НАНУ, чл.-корр. НАН Украины

Розглядаються проблеми застосування обчислювальної аеродинаміки до оптимізації лопаток турбомашин на прикладі створення алгоритму оптимізації складного тангенціального навалу решіток осьових турбін. Досліджено вплив простого та складного тангенціального навалу на структуру тривимірної течії, коефіцієнт інтегральних втрат та витрати робочого тіла у кільцевих направляючих решітках осьових турбін.

Призначено для наукових співробітників, спеціалістів у галузі енергомашинобудування, а також аспірантів та студентів у відповідних спеціальностях.

Бойко А. В.

Б77 Применение вычислительной аэродинамики к оптимизации лопаток турбомашин : монография / А. В. Бойко, Ю. Н. Говорущенко, М. В. Бурлака. - Харьков : НТУ «ХПИ», 2012. - 192 с. - На рус. яз.

ISBN 978-617-05-0010-6

Рассматриваются проблемы применения вычислительной аэродинамики к оптимизации лопаток турбомашин на примере создания алгоритма оптимизации сложного тангенциального навала решеток осевых турбин. Исследовано влияние простого и сложного тангенциального навала на структуру трехмерного течения, коэффициент интегральных потерь и расход рабочего тела в кольцевых направляющих решетках осевых турбин.

Предназначена для научных сотрудников, специалистов в области энергомашиностроения, а также аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

Ил. 110. Табл. 18. Библиогр.: 62 назв.

УДК 62-135/136
ББК 31.363

© Бойко А. В., Говорущенко Ю. Н., Бурлака М. В., 2012

ISBN 978-617-05-0010-6

© НТУ «ХПИ», 2012

СОДЕРЖАНИЕ

Основные условные обозначения.....	3
Введение.....	4
Глава 1. ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К ПОВЫШЕНИЮ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕШЕТОК ОСЕВЫХ ТУРБИН.....	6
1.1. Пространственное вязкое течение в решетках осевых турбин.....	6
1.2. Способы повышения аэродинамической эффективности решеток осевых турбин.....	18
1.3. Методы вычислительной аэродинамики в задаче аэродинамической оптимизации турбинных решеток.....	30
1.4. Методы оптимизации для получения высокоэффективных турбинных решеток с использованием CFD.....	33
Глава 2. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ РЕШЕТОК ОСЕВЫХ ТУРБИН.....	36
2.1. Представление геометрии лопатки.....	36
2.1.1. Форматы файлов хранения лопатки.....	36
2.1.2. Поверхностное представление (BREP). Форматы STL и OFF.....	37
2.1.3. Точечное представление.....	43
2.1.4. Процедурное описание формы лопаток. Форматы CURVE и RTZT.....	44
2.1.5. Формат CUR.....	45
2.2. Проекция плоского профиля на цилиндрическую поверхность.....	46
2.3. Стекинг.....	48

2.4. Формообразование боковых поверхностей лопатки.....	52
2.5. Трехмерная параметрическая модель турбинной решетки.....	54
2.6. Трехмерная расчетная сетка.....	62
2.6.1. Построение сеток.....	63
2.6.2. Топология Н-сетки.....	65
2.6.3. Структуры данных.....	66
2.6.4. Геометрия Н-сетки.....	72
2.6.5. Управление сгущением сетки.....	74
2.6.6. Форматы файлов хранения сеток.....	79
2.6.7. Визуализация.....	80
2.7. Универсальный формат хранения данных в CED.....	85
2.8. CFD инструментарий.....	89
2.9. Оптимизационный подход.....	93
2.9.1. Макромоделирование.....	93
2.9.2. ЛП поиск.....	97
2.10. Алгоритм пространственной аэродинамической оптимизации решеток осевых турбин.....	100

Глава 3. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РАСЧЕТА И

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ТРЕХМЕРНОЙ ЛОПАТКИ НА ТЕЧЕНИЕ В ТУРБИННОЙ

РЕШЕТКЕ.....

3.1. Выбор параметров расчета и геометрии расчетной области, обеспечивающих наилучшее совпадение с экспериментом.....	102
3.1.1. Влияние геометрии расчетной области.....	103
3.1.2. Влияние сетки.....	107
3.1.3. Влияние модели турбулентности.....	108
3.1.4. Верификация трехмерного расчета направляющей турбинной решетки.....	110
3.2. Определение влияния простого тангенциального навала на течение в кольцевой турбинной решетке.....	113

3.3. Определение влияния сложного тангенциального навала на течение в кольцевой турбинной решетке.....	121
3.4. Оценка корректности оптимизации кольцевой изолированной турбинной решетки.....	126
Глава 4. АПРОБАЦИЯ РАЗРАБОТАННОГО	
АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ РЕШЕНИИ	
ЗАДАЧИ С СОХРАНЕНИЕМ РАСХОДА ЧЕРЕЗ	
РЕШЕТКУ.....	130
4.1. Определение эффективности алгоритма оптимизации при различных a/l с искривлением лопатки по методу 1.....	131
4.2. Определение эффективности алгоритма оптимизации при различных a/l с искривлением лопатки по методу 2.....	138
4.3. Анализ причин повышения аэродинамической эффективности пространственно оптимизированных турбинных решеток.....	143
Выводы.....	146
Приложения.....	148
Список использованных источников.....	180

TABLE OF CONTENTS

Main symbols.....	3
Introduction.....	4
Chapter 1. REVIEW OF MODERN APPROACHES TO INCREASE OF THE AXIAL TURBINE BLADE CASCADES AERODYNAMIC EFFICIENCY.....	6
1.1. Spatial viscous flow in axial turbine blade cascade.....	6
1.2. Ways of axial turbines blade cascade aerodynamic efficiency increase.....	18
1.3. CFD methods in a turbine cascades aerodynamic optimization task.....	30
1.4. Optimization methods for receiving the optimum turbine cascades with CFD use.....	33
Chapter 2. DEVELOPMENT OF THE SPATIAL AERODYNAMIC OPTIMIZATION ALGORITHM OF AN AXIAL TURBINE BLADE RIM.....	36
2.1. Blade geometry representation.....	36
2.1.1. Formats of the blade data storage file.....	36
2.1.2. Superficial representation (BREP). STL and OFF formats.....	37
2.1.3. Exact representation.....	43
2.1.4. Blade shape procedural description. The CURVE and RTZT formats.....	44
2.1.5. CUR format.....	45
2.2. Flat profile projection to the cylindrical surface.....	46
2.3. Stacking.....	48
2.4. Lateral blade surfaces formation.....	52
2.5. Three-dimensional parametrical model of the turbine blade.....	54
2.6. Three-dimensional settlement grid.....	62

2.6.1. Creation of grids.....	63
2.6.2. H-grid topology.....	65
2.6.3. Data structures.....	66
2.6.4. H-grid geometry.....	72
2.6.5. Grid condensation management.....	74
2.6.6. Formats of a grid data storage files.....	79
2.6.7. Visualization.....	80
2.7. CFD general notation system.....	85
2.8. CFD tools.....	89
2.9. Optimizing approach.....	93
2.9.1. Macro modeling.....	93
2.9.2. Sobol sequence search.....	97
2.10. The spatial aerodynamic optimization algorithm of axial turbine blade rim.....	100

Chapter 3. CHOICE OF CALCULATION PARAMETERS AND RESEARCH OF THE THREE-DIMENSIONAL BLADE FORM INFLUENCE ON FLOW IN THE TURBINE BLADE RIM.....

3.1. Choice of calculation parameters and the settlement area geometry, which are provide the best coincidence with experiment.....	102
3.1.1. The settlement area geometry influence.....	103
3.1.2. The grid influence.....	107
3.1.3. The turbulence model influence.....	108
3.1.4. Verification of the turbine guide blade rim three-dimensional calculation.....	110
3.2. Definition of simple tangential lean influence on the flow in a turbine blade rim.....	113
3.3. Definition of complex tangential lean influence on the flow in a turbine blade rim.....	121
3.4. Estimation of the isolated turbine guide blade rim optimization correctness.....	126

Chapter 4. THE DEVELOPED OPTIMIZATION ALGORITHM APPROBATION AT THE DECISION TASKS WITH MASS FLOW RATE PRESERVATION THROUGH TURBINE BLADE PASSAGE.....	130
4.1. Determination of the optimizing algorithm efficiency at various a/l with use method 1 of blade curving.....	131
4.2. Determination of the optimizing algorithm efficiency at various a/l with use method 2 of blade curving.....	138
4.3. The analysis of the axial turbines blade rim aerodynamic efficiency increasing reasons.....	143
Conclusions.....	146
Appendix.....	148
The list of the used sources.....	180