Себелев Александр Александрович. Совершенствование малоразмерных турбин с осесимметричными соплами: диссертация ... кандидата Технических наук: 05.04.12 / Себелев Александр Александрович;[Место защиты: ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого], 2017

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ

УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО»

На правах рукописи

Себелев Александр Александрович

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ТУРБИН С

ОСЕСИММЕТРИЧНЫМИ СОПЛАМИ

Специальность 05.04.12 - Турбомашины и комбинированные турбоустановки

ДИССЕРТАЦИЯ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Научный руководитель: д.т.н., профессор В.А. Рассохин

Санкт-Петербург

2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

1. ОБЗОР И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО УРОВНЯ РАЗВИТИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ

ТУРБИН С ОСЕСИММЕТРИЧНЫМИ СОПЛАМИ 11

1.1. Современный уровень экономичности малоразмерных турбин с

осесимметричными соплами 12

1.2. Перспективы совершенствования малоразмерных турбин с осесимметричными

соплами 18

1.3. Влияние профилированных обводов и формы лопаток рабочего колеса на

эффективность турбинных ступеней 25

1.4. Выводы по главе 1 27

2. РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ОСЕВОЙ МАЛОРАЗМЕРНОЙ

ТУРБИНЕ С ОСЕСИММЕТРИЧНЫМИ СОПЛАМИ 29

2.1. Выбор базового объекта исследования 29

2.2. Методика одномерного газодинамического расчета осевой малоразмерной

турбины с осесимметричными соплами 33

2.2.1. Расчет геометрических характеристик ступени 34

2.2.2. Расчет режимных параметров соплового аппарата 34

2.2.3. Расчет газодинамических параметров соплового аппарата 35

2.2.4. Расчет надбандажной утечки 37

2.2.5. Расчет прикорневой утечки 39

2.2.6. Расчет параметров потока в осевом зазоре 40

2.2.7. Параметры потока в относительном движении 41

2.2.8. Потери в рабочем колесе 41

2.2.9. Параметры потока за рабочим колесом 43

2.2.10. Внутренние потери энергии и интегральные характеристики ступени 44

2.2.11. Решение уравнения баланса расходов 45

2.3. Результаты одномерного газодинамического расчета базовой ступени 46

2.4. Разработка методики трехмерного газодинамического расчета осевой

малоразмерной турбины 48

2.4.1. Методика трехмерного газодинамического расчета осевой малоразмерной

турбины 53

2.4.2. Методика постановки нестационарного расчета 55

2.4.3. Методика обработки результатов трехмерного газодинамического расчета .. 57

2.4.4. Выбор подхода к временному разрешению 59

2.4.5. Валидация методики трехмерного газодинамического расчета осевой

малоразмерной турбины 62

2.5. Результаты трехмерного газодинамического расчета базовой ступени 67

2.6. Выводы по главе 2 73

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИНЯТЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ НА

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОСЕВОЙ МАЛОРАЗМЕРНОЙ ТУРБИНЫ С ОСЕСИММЕТРИЧНЫМИ СОПЛАМИ 74

3.1. Разработка и обоснование конструктивных мероприятий для повышения

эффективности осевых малоразмерных турбин с осесимметричными соплами 74

3.1.1. Графический анализ трехмерного потока в пространстве осевого зазора 74

3.1.2. Минимизация радиальной компоненты скорости на входе в рабочее колесо . 76

3.1.3. Радиальные лопатки рабочего колеса 77

3.1.4. Аналитическое описание лопаток рабочего колеса с обратной

стреловидностью 79

3.1.5. Геометрические модели модифицированных малоразмерных турбин 82

3.2. Влияние радиальности лопаток рабочего колеса 88

3.3. Влияние кинематического «навала» и обратной стреловидности лопаток 93

3.4. Влияние профилированного корневого обвода 102

3.5. Исследование совместного применения обратной стреловидности лопаток и

профилированного корневого обвода 109

3.6. Выводы по главе 3 116

4. ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРАБОТАННЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОСЕВЫХ

МАЛОРАЗМЕРНЫХ ТУРБИН С АЛЬТЕРНАТИВНЫМИ РАЗМЕРАМИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ 118

4.1. Ступень №1 118

4.2. Ступень №2 122

4.3. Разработка рекомендаций по дальнейшему совершенствованию малоразмерных

турбин с осесимметричными соплами 124

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 125

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ 127

ЛИТЕРАТУРА

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

1. Выполненный комплекс исследований с применением численных стационарных и нестационарных методов показал возможность повышения эффективности осевых малоразмерных турбин (МРТ) с осесимметричными соплами (ОсС) за счет совершенствования конструктивных и режимных параметров проточных частей соплового аппарата и рабочего колеса более чем на 2 абсолютных процента.
2. Выполненная работа показала, что совместное применение положительного кинематического «навала» потока на выходе из соплового аппарата и обратной стреловидности лопаток рабочего колеса позволяет повысить внутренний КПД как обандаженных, так и необандаженных осевых МРТ с ОсС не менее чем на 2,1% на номинальном режиме работы.
3. Применение профилированного осесимметричного корневого обвода

положительно сказывается на эффективности осевых МРТ с ОсС лишь на частичных режимах. При этом большую величину прироста внутреннего КПД демонстрируют более «плавные» обводы, при которых перекрыша в корне уменьшается, но не ликвидируется полностью. Такая конструкция

продемонстрировала прирост внутреннего КПД на 1,9% на частичном режиме по сравнению с базовой ступенью.

1. Проведенный обзор и анализ современного уровня экономичности осевых МРТ с ОсС показал, что достигнутый на настоящий момент уровень внутреннего КПД МРТ с ОсС не превышает 50% при степени парциальности є = 0,2...0,4 и 65...70% при степени парциальности є = 0,5...0,8.
2. Отсутствие явно выраженной радиальной компоненты скорости на входе потока в рабочее колесо осевой МРТ с ОсС при введении нулевого кинематического «навала» приводит к нестабильности потока и отсутствию прироста внутреннего КПД.
3. Исследование частичных режимов работы осевых МРТ с ОсС, в которых применены совместно обратная стреловидность и положительный кинематический «навал», показало снижение внутреннего КПД, связанное с неоптимальным перераспределением расхода между сечениями рабочего колеса. Величина степени парциальности менее є < 0,4 является границей, ниже которой наблюдается снижение внутреннего КПД при введении обратной стреловидности и положительного кинематического «навала».
4. Показано, что введение радиальности лопаток рабочего колеса осевой МРТ с ОсС практически никак не отражается на эффективности и режимных параметрах ступени. Некоторый прирост внутреннего КПД (до 1%) наблюдается лишь на частичных режимах. При этом, однако, выполнение лопаток рабочего колеса радиальными является технологически более сложной операцией по сравнению с изготовлением классических цилиндрических лопаток.
5. Дополнение усовершенствованной осевой МРТ с ОсС с обратной стреловидностью лопаток рабочего колеса и положительным кинематическим «навалом» профилированным осесимметричным корневым обводом приводит к снижению эффективности усовершенствованной МРТ. В этой связи одновременное применение положительного кинематического «навала» и профилированного корневого обвода следует считать взаимоисключающим.
6. Проведенные сравнительные стационарные и нестационарные расчеты осевой МРТ с ОсС, валидированные по результатам физического эксперимента, показали, что в рамках стационарного расчета номинального режима работы турбины завышение внутреннего КПД ступени составляет от 8 до 10%. Причиной такого расхождения является неучет нестационарного взаимодействия соплового аппарата и рабочего колеса.

На основе результатов проведенных исследований даны следующие рекомендации:

* Применение обратной стреловидности лопаток рабочего колеса и положительного «навала» целесообразно для повышения внутреннего КПД осевых МРТ с ОсС на номинальном режиме работы при степени парциальности є > 0,35.
* Применение профилированного осесимметричного корневого обвода рабочего колеса целесообразно для повышения внутреннего КПД осевых МРТ с ОсС на частичных режимах работы.
* Применение радиальности лопаток рабочего колеса в осевых МРТ с ОсС целесообразно лишь при реализации рабочих лопаток с обратной стреловидностью по соображениям прочности.
* Применение профилированного корневого обвода рабочего колеса и положительного кинематического «навала» является взаимоисключающим.