

## **Использование трехмерного моделирования при проектировании или модернизации элементов проточных частей турбоустановок**

**77-48211/568880**

**# 03, март 2013**

**Голдин А. С., Коротков В. В.**

УДК 621.165.76-146.2

Россия, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

[korotkoff@yandex.ru](mailto:korotkoff@yandex.ru)

[m3kf@bmstu-kaluga.ru](mailto:m3kf@bmstu-kaluga.ru)

### **Введение**

На стадии проектирования или модернизации элементов проточных частей турбоустановок важным этапом является получение теоретической модели течения в этих элементах. Теоретическая модель течения может быть полезна и для объяснения явлений, обнаруженных при испытаниях проточных элементов турбоустановок.

В настоящее время существует ряд программных комплексов, разработчики которых гарантируют получение полного представления о распределении скоростей и давлений по всей проточной части исследуемого объекта.

Одним из таких расчётных инструментов является программный комплекс Flow Vision, который предназначен для моделирования трехмерных течений жидкости и газа в технических и природных объектах, а также визуализации этих течений методами компьютерной графики.

FlowVision основан на конечно-объемном методе решения уравнений гидродинамики и использует прямоугольную адаптивную сетку с локальным измельчением. Для аппроксимации криволинейной геометрии с повышенной точностью FlowVision использует технологию подсеточного разрешения геометрии. Эта технология позволяет импортировать геометрию из систем САПР и обмениваться информацией с системами конечно-элементного анализа. Использование этой технологии позволило решить проблему автоматической генерации сетки.

Для проведения расчетов сначала необходимо создать геометрическую модель проточной части объекта. Для создания геометрической модели использовалась программа SolidWorks.

## Расчет патрубка

В качестве объекта для моделирования был взят выхлопной патрубок паровой турбины.

Выхлопной патрубок обеспечивает отвод рабочего тела от последней ступени турбины в заданном направлении. Поскольку в системе отвода рабочего тела от турбины полезной работы не производится, то потери энергии в выхлопном патрубке неизбежно влекут за собой снижение экономических показателей паротурбинной установки. Кроме того, выхлопные системы в ряде случаев могут оказывать сильное влияние на условия работы последних ступеней турбин, снижая не только их экономичность, но и надёжность работы.

В связи с тем, что в последние годы происходит интенсивная модернизация паровых турбин, а также разрабатываются турбины нового поколения, проблема рационального отвода рабочего тела от лопаток последних ступеней турбин вновь приобрела особую актуальность, так как именно здесь имеются существенные неиспользованные резервы повышения экономичности этих установок [1-2].

Отмеченные обстоятельства явились причиной многочисленных исследований течения рабочего тела в выхлопных патрубках и методов снижения их гидравлического сопротивления [3-7].

Особенностью конструкции выбранного выхлопного патрубка является профильная поперечная перегородка (рис. 1), отделяющая поток, выходящий из верхней половины последней ступени турбины от его нижней части.

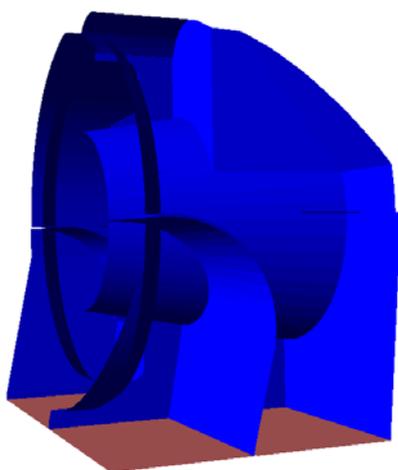


Рис. 1. Геометрическая модель проточной части выхлопного патрубка с поперечной перегородкой

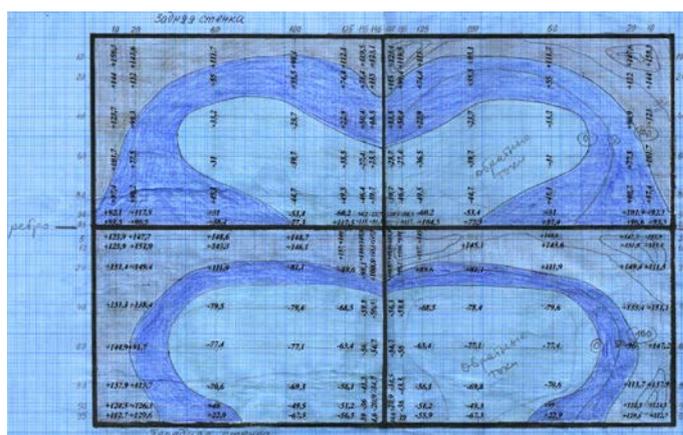


Рис. 2. Поле скоростей на выходе из модели патрубка, полученное экспериментальным путем

На рис. 2 показано поле скоростей на выходе из модели патрубка, полученное экспериментальным путем. Видно, что значительную часть выходного сечения занимают зоны обратных течений. Коэффициент гидравлического сопротивления патрубка имеет значение  $\zeta=1.36$ , т.е. на преодоление сопротивления в системе выхлопа тратится энергия, превышающая на 36% кинетическую энергию потока, покидающего последнюю ступень турбины.

Геометрическая модель патрубка была построена при помощи программы SolidWorks. Течение в построенной модели патрубка было просчитано с помощью программного комплекса FlowVision. Результаты расчета представлены на рис. 3, на котором отражено поле скоростей на выходе из патрубка.

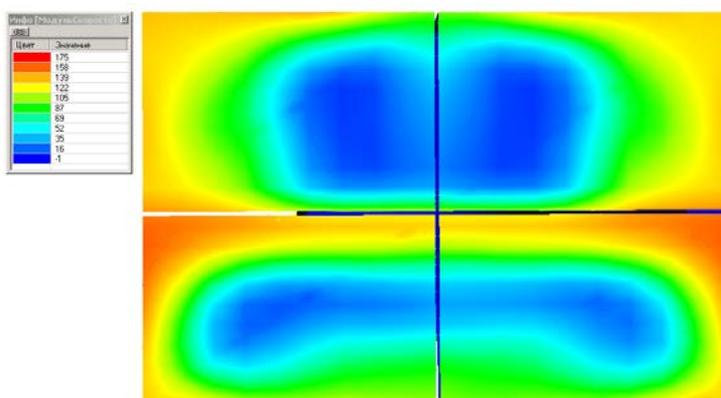


Рис. 3. Расчётное поле скоростей на выходе из геометрической модели патрубка с поперечной перегородкой

По характеру распределения скоростей результаты расчета и экспериментальной продувки модели патрубка близки. Близок и уровень скоростей.

Такая хорошая сходимость позволяет решать задачи истечения газа с помощью расчетного программного комплекса. На рис. 4 показана сетка, которая использовалась для расчета модели патрубка.

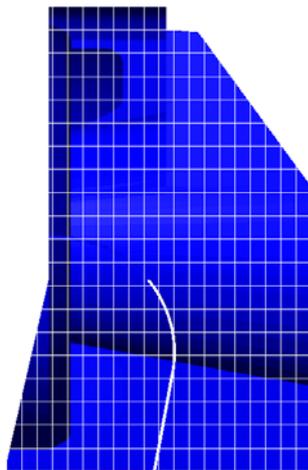


Рис. 4. Расчетная сетка

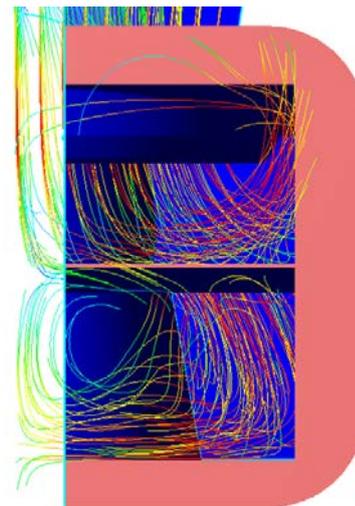


Рис. 5. Линии тока на выходе из патрубка

Благодаря трёхмерному моделированию удалось получить наглядную картину образования вихревых течений на выходе из патрубка (рис. 5), которые значительно ухудшают поле скоростей в нижней половине патрубка и увеличивают потери в нём.

Также была построена и просчитана геометрическая модель конструкции патрубка без поперечной перегородки в проточной части (рис. 6,а). Расчётное поле скоростей на выходе из такой модели представлено на рис. 6,б.

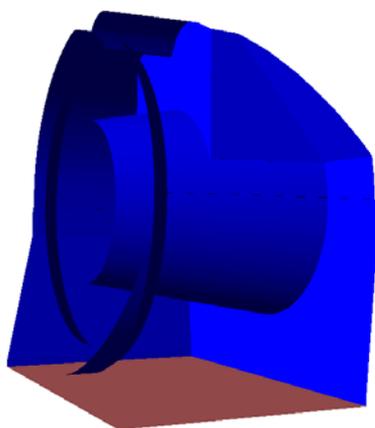


Рис. 6,а. Модель проточной части выхлопного патрубка без поперечной перегородки

Цвет	Значение
Red	130
Orange	117
Yellow	103
Light Green	104
Green	115
Dark Green	97
Cyan	76
Blue	59
Dark Blue	40
Very Dark Blue	22
Black	3

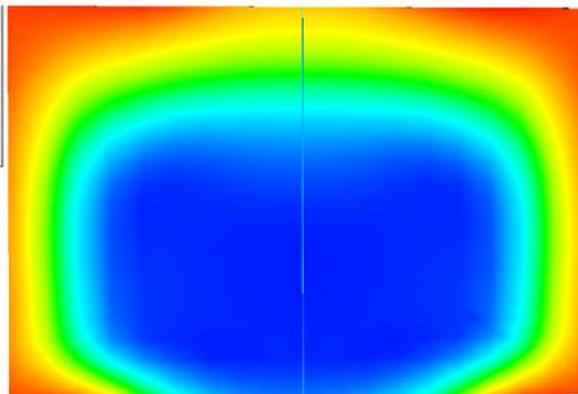


Рис. 6,б. Расчётное поле скоростей на выходе из модели патрубка без поперечной перегородки

Из сравнения рис. 3 и рис. 6,б хорошо просматривается ухудшение распределения скорости на выходе из патрубка. Течение происходит вблизи задней и боковых стенок, вся

остальная большая часть выходного сечения не «работает». Таким образом, эффективная проходная площадь выхлопного патрубка оказывается гораздо меньше геометрической. Увеличилось и гидравлическое сопротивление такой конструкции патрубка.

Была построена и просчитана геометрическая модель конструкции патрубка, в котором для лучшей организации потока помимо профильной поперечной перегородки использованы направляющие лопатки (рис. 7). Однако выбранное расположение направляющих лопаток не уменьшило неравномерность выходного поля скоростей (рис. 8). Не снизился и коэффициент сопротивления по сравнению с исходной конструкцией патрубка.

Тем не менее, опыт показывает, что на стадии проектирования необходимо искать конструктивные решения по снижению потерь в выхлопных патрубках.

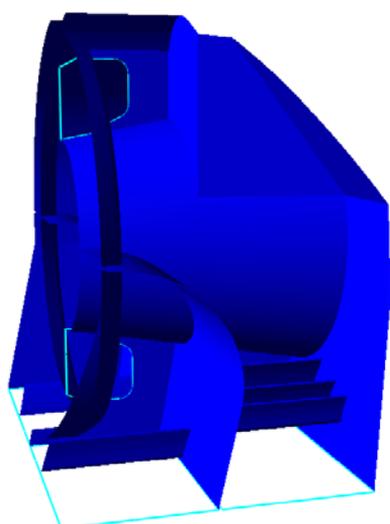


Рис. 7. Модель проточной части патрубка с поперечным ребром и направляющими лопатками

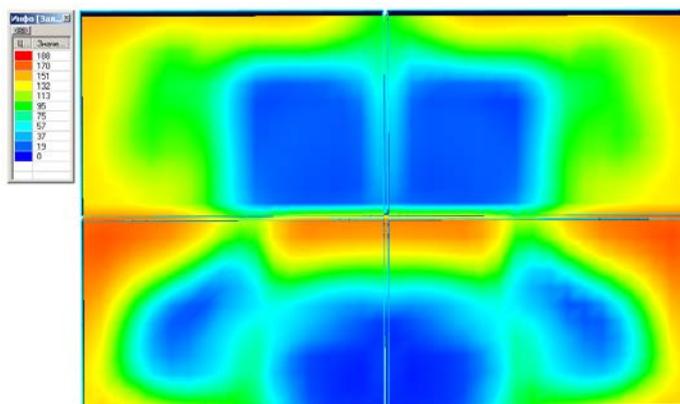


Рис. 8. Расчётное поле скоростей на выходе из модели патрубка с поперечным ребром и направляющими лопатками

### Модернизация клапана травления

Трёхмерное моделирование было также использовано при анализе результатов модернизации проточной части клапана травления.

Исходный клапан травления был спроектирован на пропуск расходов пара значительно превышающих реально достижимые расходы. Поэтому основная работа клапана происходит при частичных открытиях. Клапанный канал исходного клапана травления (рис.9),

образованный обтекаемой поверхностью чаши и входным участком седла, при частичных открытиях представляет собой осесимметричное криволинейное кольцевое сопло Лавала с большой степенью расширения. Перепад давления на клапане при таких открытиях сверхзвуковой.

Поэтому работа исходного клапана при частичных открытиях сопровождалась сильным шумом и высоким уровнем вибрации [8-10].

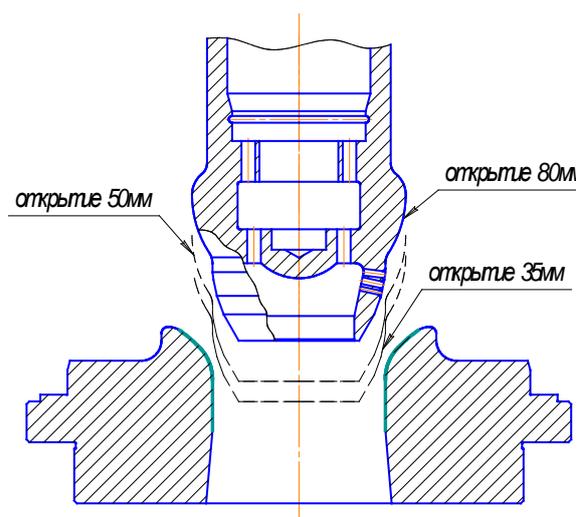


Рис. 9. Исходная конструкция клапана

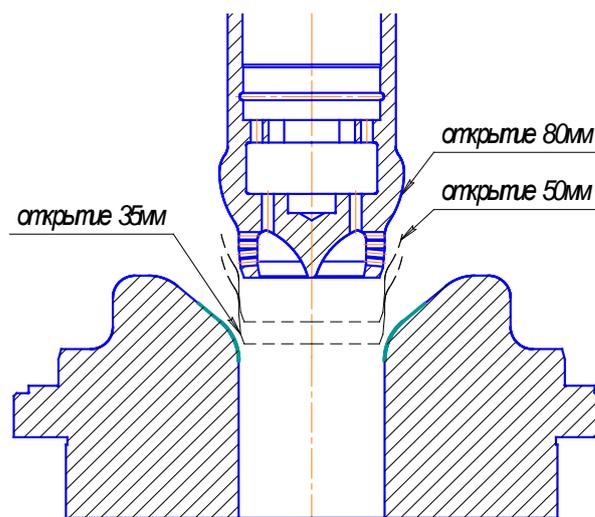


Рис. 10. Новый клапан

Модернизированный клапан травления был пересчитан на пропуск реально достижимых расходов пара. Кроме этого был несколько изменен профиль обтекаемой поверхности чаши клапана таким образом, что практически при всех открытиях клапанный канал имеет только сужающуюся часть (рис. 10).

Была увеличена площадь отверстий перфорации чаши клапана, для того чтобы при частичных открытиях увеличить часть потока, проходящего через отверстия в чаше клапана, и уменьшить аэродинамическую тень за ней.

В исходном варианте седло после горла имело расширяющийся участок с углом раскрытия  $10^\circ$ . В новом варианте расширяющийся участок заменен цилиндрическим. Это позволило избежать дополнительного разгона потока при сверхкритических перепадах давления на клапане.

В SolidWorks были построены геометрические модели исходного и модернизированного клапана. Течение в них было просчитано с помощью программного комплекса FlowVision. Результаты расчета представлены на рис. 11 и 12.

Как видно из рис. 11, в исходном клапане основная часть потока протекает в кольцевой щели, доля пара протекающего через отверстия перфорации незначительна. Поэтому поле скоростей в горле седла имеет большую неравномерность. Скорости в кольцевой щели околосвуковые.

В новом клапане поле скоростей значительно равномернее (рис. 12). Меньше и уровень скоростей в клапанном канале нового клапана.

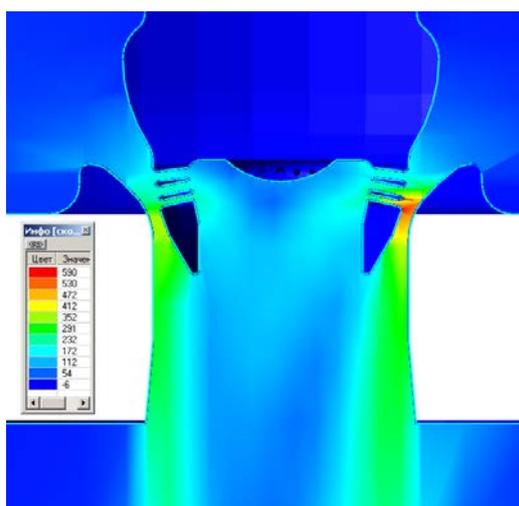


Рис. 11. Расчётное поле скоростей  
в исходном клапане

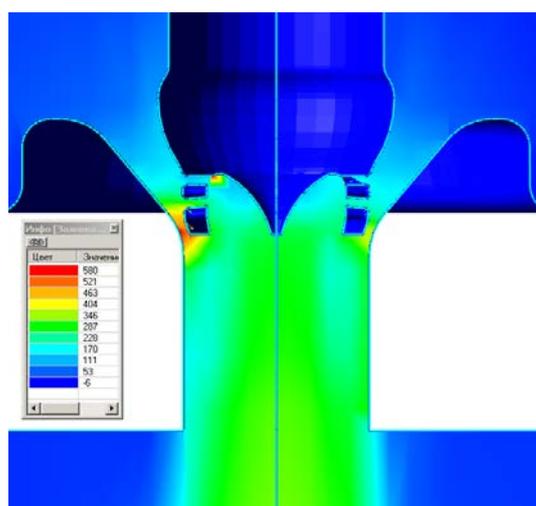


Рис. 12. Расчётное поле скоростей  
в новом клапане

Таким образом, теоретический расчет подтвердил правильность заложенных нами принципов модернизации исходного клапана травления. Это подтвердил и последующий опыт эксплуатации модернизированного клапана.

### Список литературы

1. Трухний А.Д., Костюк А.Г., Трояновский Б.М. Основные научные проблемы создания паротурбинных установок для энергоблоков нового поколения // Теплоэнергетика. 2000. №11. С.2-9.
2. Зарянкин А.Е., Симонов Б.П. Выхлопные патрубки паровых и газовых турбин. М.: Издательство МЭИ, 2002. 274 с.
3. Грибин В.Г. Разработка методов повышения эффективности диффузорных элементов турбомашин : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1984.

4. Денисов В.Н., Юрбев Ю.Н., Касилов В.Ф., Агафонов Б.Н. Выбор конструкции выходного патрубка ЦНД повышенной пропускной способности // Теплоэнергетика. 1995. №1. С.68-72.
5. Касилов В.Ф. Исследование средств активного воздействия на закрученное течение в сборной камере выходных патрубков цилиндров низкого давления паровых турбин // Теплоэнергетика. 2000. №11. С.28-34.
6. Симою Л.Л., Лагун В.П., Гудков Н.Н., Кириллов В.И. Влияние кинематики потока пара при входе в выходной патрубок турбины на его характеристики // Теплоэнергетика. 1997. №1. С.25-30.
7. Stastny M. Advanced Steam Flow Path of Scoda new Generation Turbines. Steam and Gas Turbines for Power and Cogeneration plants Karlovy Vary. Czech Republic. 1994. С.299-304.
8. Зарянкин А.Е., Симонов Б.П. Регулирующие и стопорно-регулирующие клапаны паровых турбин. М.: Издательство МЭИ, 2005. 360 с.
9. Жинов А.А. Совершенствование регулирующих клапанов паровых турбин в трансзвуковой области течения : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1994.
10. Коротков В.В. Исследование и разработка стопорно-регулирующих клапанов, обладающих повышенной надёжностью и низким аэродинамическим сопротивлением : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2003.