AxSTREAM™ - Концептуальное проектирование и оптимизация турбомашин

Руководство Пользователя AxSTREAM A3

Использование 1D2D солвера в системе AxSTREAM

AxSTREAM v2.3.xx

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

Содержание

1 Введение 3
2 Описание солвера 1D2D ....**Error! Bookmark not defined.**
2.1 Окно солвера 1D2D ....**Error! Bookmark not defined.**
2.1.1 Панель управления солвера 1D2D ем....**Error! Bookmark not defined.**
2.1.2 Настройка параметров для запуска солвера 1D2D ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.1.3 Проверка решения ....**Error! Bookmark not defined.**
2.1.4 Ускоренный анализ решения....**Error! Bookmark not defined.**
3 Процедура анализа 3
3.1 Типы задач анализа существующей конструкции, выполняемые с помощью солвера 1D2D 3
3.2 Постановка задачи солвера 1D2D для процедуры анализа 3
3.3 Решение задач проектирования с помощью солвера 1D2D 3
3.3.1 Типы задач проектирования новой конструкции, выполняемые с помощью солвера 1D2D 3
3.3.2 Постановка задачи солвера 1D2D для процедуры проектирования....3
4 Создание проекта для анализа....3
4.1 Создание нового проекта 3
4.1.1 Установка Режима анализа после создания проекта....3
4.2 Ввод исходных данных 3
4.2.1 Ручной ввод....3
4.2.2 Контроль полноты ввода обязательных данных 3
4.2.3 Номенклатура обязательных исходных данных для анализа 3
4.2.4 *Копирование данных из таблиц Excel/Word* 3
4.2.5 *Копирование компонентов проточной части из другого проекта*....3
5 Описание солвера 1D2D прямой задачи 3
5.1 Окно солвера 1D2D 3
5.1.1 Панель управления солвера 1D2D ем прямой задачи....3
5.1.2 Настройка параметров для запуска солвера 1D2D 3
5.1.3 Контроль сходимости решения....3
5.1.4 Представление результатов расчета 3
6 Задачи анализа существующей конструкции, ...3
6.1 Постановки задачи а для процедуры анализа 3
6.2 Задачи проектирования, выполняемые с помощью солвера 1D2D прямой задачи 3
7 Особенности расчета ступеней с парциальным подводом пара и ступеней скорости (Куртиса) 3
7.1 Ступень с парциальным подводом пара....3
7.2 Особенности ввода данных для расчета ступеней скорости (ступеней Куртиса)..3
8 УТОЧНЕНИЕ РАСЧЕТОВ 3
8.1 Учет протечек 3
8.1.1 Выполнение расчета баланса утечек. Задание зазоров. 3
8.2 Настройки для выполнения расчета баланса утечек в солвера 1D2D е среднего сечения....3
8.2.1 Вывод результатов баланса утечек в базе данных проекта....3
8.2.2 Использование функции планирования эксперимента для определения влияния утечек....3
9 Расчеты проточной части с учетом охлаждения 3

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

9.1 Схема охлаждения в AxSTREAM 3
10 Использование солвера 1D2D для сложных задач 3
10.1 Пример 1. Анализ существующей проточной части с расчетом баланса утечек 3
10.1.1 Объем и содержание работ 3
10.1.2 Исходные данные 3
10.1.3 Особенности проекта 3
10.1.4 Ввод дополнительных параметров зазоров 3
10.1.5 Настройка солвера 1D2D 3
10.1.6 Результаты решения 3
10.2 Пример 2. Простой расчет 3
10.2.1 Объем и содержание работ 3
10.2.2 Исходные данные 3
10.2.3 Особенности проекта 3
10.2.4 Настройка проекта 3
10.2.5 Настройка солвера 1D2D 3
10.2.6 Результаты решения 3
10.2.7 Улучшение проточной части 3
10.3 Пример 3. Оптимизация закрутки методом планирования эксперимента AxPLAN 3
10.4 Проект SGT-9-2D 3
10.4.1 Оптимизация закрутки 4-ой ступени для статического КПД 3
10.4.2 Оптимизация закрутки 3-ей и 4-ой ступеней для увеличения мощности 3
10.5 Конструирование проточной части со стандартным призматическим набором лопаток 3
10.5.1 Введение 3
10.5.2 Предварительное проектирование проточной части со стандартными лопатками, сконструированными с помощью стандартных профилей 3
10.5.3 Конструирование стандартной ступени 3
10.5.4 Конструирование проточной части с помощью стандартной ступени 3
10.5.5 Упражнения 3
10.6 Конструирование проточной части со стандартным набором закрученных лопаток 3
10.6.1 Настройка закрученной лопатки и призматического сопла 3
10.6.2 Проверка эффективности с помощью солвера 1D2D 3
10.6.3 Копирование параметров последней ступени в другие ступени проточной части 3
10.6.4 Обрезка лопаток статора и ротора 3
10.6.5 Проверка эффективности доводки 3
Приложение 1 3

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

1 Введение

Система *AxSTREAM* позволяет производить анализ существующих конструкций турбин по среднему сечению (1D) и нескольким сечениям (струйкам тока) (2D). Так как обе обе задачи решаются одним и тем же модулем в дальнейшем для краткости он будет называться “солвера 1D2D” или “солвер”.

1D2D солвер решает **прямую задачу** в отличие от солвера, решающего ***обратную задачу,*** который работает в режиме проектирования.

Как правило, расчет по среднему сечению (1D) может быть применим к проточным частям со сравнительно короткими лопатками (соотношение среднего диаметра к длине лопатки D/l>=10), когда такими факторами как неравномерность продольного движения и радиальное направление потока можно пренебречь. В режиме анализа *AxSTREAM* решает прямые 1D и 2D задачи в двух постановках:

a) определение расхода при заданных давлениях;
b) определение давления на входе при заданном расходе.

Для расчетов по **Среднему сечению** и *AxSTREAM* использует основные параметры решетки – геометрические углы входа, размер горла решетки, высота лопатки, средний диаметр, величины зазоров, но не используется форма профиля (координаты точек).

Для расчета учитываются значения углов и горла для каждого сечения по высоте лопатки.

Благодаря эффективным встроенным средствам моделирования система *AxSTREAM* позволяет точно определить производительность ступени турбины основе данных значений.

Типичный анализ существующей проточной части *AxSTREAM* включает:

- Создание нового проекта для анализа;
- Подготовку обязательных данных для ступеней;
- Подготовку обязательных данных для сечений решетки (для одномерного анализа – по среднему сечению, для анализа – по всем сечениям);
- Выполнение расчета по среднему сечению;
- Выполнение расчета (при необходимости)
- Выполнение расчетов с учетом утечек (баланс протечек);
- Выполнение расчетов с учетом охлаждения.

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

2 Интерфейс 1D2D солвера

Для решения прямой задачи AxSTREAM использует единый солвера 1D2D ь, который может производить расчет как по среднему сечению, так и по нескольким сечениям (струйкам тока) .

2.1 Окно солвера

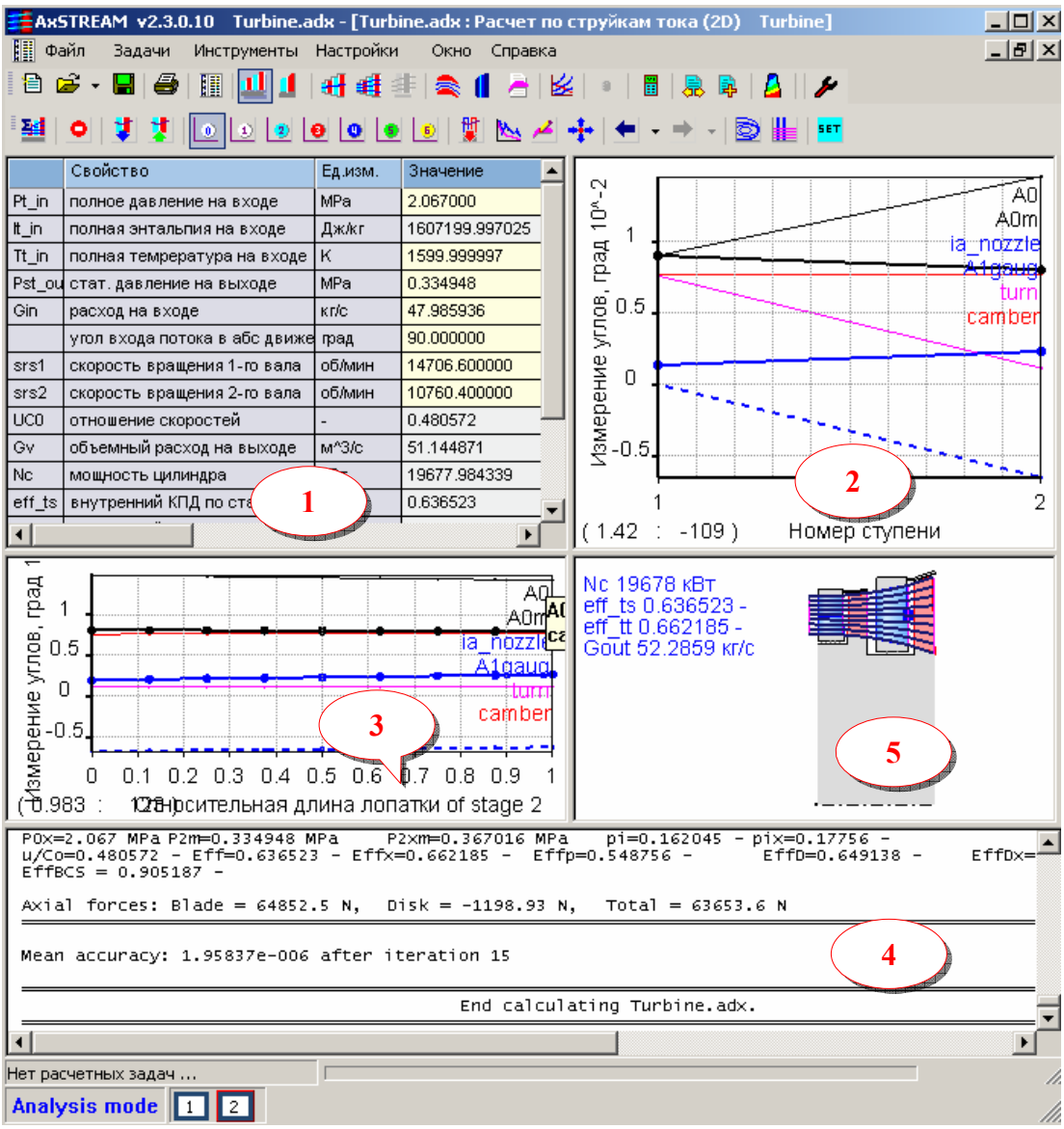


Рисунок 1. Окно солвера 1D2D

1. Параметры на входе/выходе машины и основные результаты расчета
2. Распределение параметров вдоль проточной части в среднем сечении (регулируются выбором кнопок в панели инструментов)
3. Распределение параметров ступени по по высоте (регулируются выбором кнопок в панели инструментов)
4. Окно протокола
5. Окно отображения эскиза ПЧ с линиями тока/диаграммы утечек

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

2.1.1 Панель управления солвера 1D2D ем прямой задачи

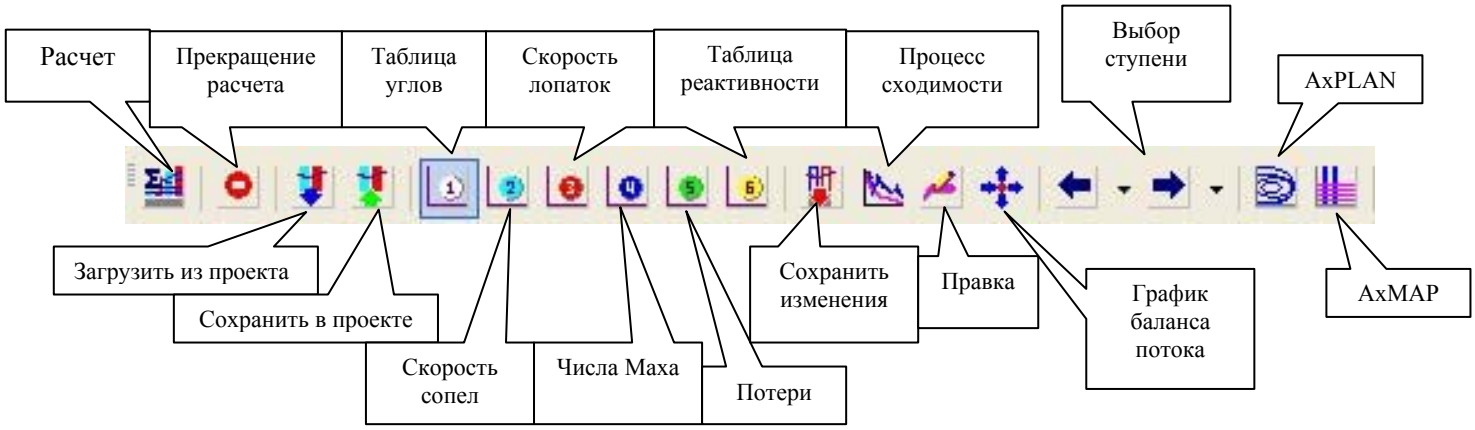


Рисунок 2. Панель управления 1D2D солвера

Настройка параметров для запуска солвера 1D2D

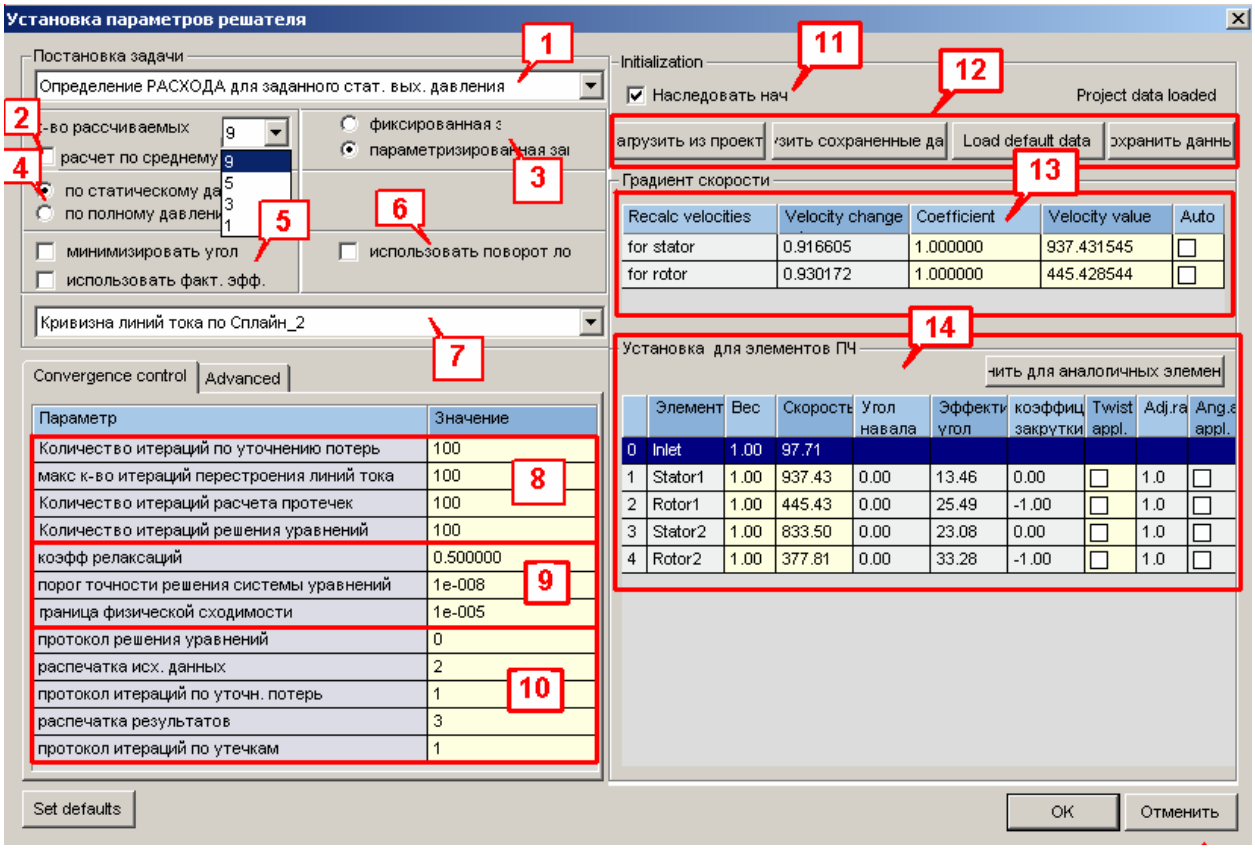


Рисунок 3. Окно параметров солвера 1D2D

Окно параметров отображает параметры используемые для управление процессом выполнения солвера.
Солвер может работатькак в режиме “чистого анализа” когда основным условием для проведения расчета является сохранение текущей геометрии так и в режимах когда геометрия (углы) может частично изменяться.

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

1. ***Постановка задачи***
   - Определение расхода для заданного давления на выходе
   - Определение полного давление на входе для заданного расхода
   - Определение эффективных углов для заданных расхода и давления

2. ***Режим расчета***
   - Параметр "к-во расчитываемых (сечений)", позволяет выбрать количество сечений для проведения расчета. Возможные варианты количества сечений предлагаются системой. После расчете результаты интерполируются на все сечения.
   - Функция «расчет по среднему» позволяет выполнять расчет по среднему сечению с последующей экстраполяцией результатов для других сечений, согласно закону свободного вихря..

3. ***Параметризация закрутки***
   - Фиксированный параметр закрутки– углы выхода потока, заданные в проекте
   - Параметризированная закрутка – распределение угла выхода потока рассчитывается по формуле
     a. (r^m) * ctg (beta) = константа для турбины
     b. (r^m) / beta = константа для компрессора.

   Константой является значение угла выхода в среднем сечении.
   Параметр закрутки **m** может быть задан для каждого компонента проточной части в таблице 15.
   - Закрутка лопатки будет пересчитыватся в соответствии с заданным параметром закрутки , если был устанивлен соответствующий флаг в таблице 15. Если флаг не установлен, то в лопатке сохраняется существующая закрутка.

4. ***Тип давления на выходе***
   - Давление на выходе рассматривается как статической давление
   - Давление на выходе рассматривается как полное давление

5. ***Дополнительная функция***
   - При выставленном флаге «минимизировать угол натекания» солвера 1D2D ь изменяет входные углы лопаток для уменьшения угла натекания. Для выбора венцов, для которых будет производиться уменьшение угла натекания, необходимо для этих венцов установить соответствующие флаги в таблице 14.
   - Функция «фактический эффективный угол» используется, если режим профилирования не обеспечивает сохранения заданных эффективных углов (фиксированный профиль, стандартный профиль и т. д.)

6. Флаг ***Использовать поворот лопатки*** включает/выключает учет поворота лопаток во всей проточной части без изменений настроек поворота в проекте.

7. ***Настройка кривизны линий тока***. В зависимости от выбранного варианта, кривизна линий тока может моделироваться :
   - NURBS (неоднородный рациональный сплайн Безье)
   - Сплайн 1. кубический сплайн с заданными наклонами на концах
   - Сплайн 2 – кубический сплайн со свободными наклонами на концах

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

- Кривизна по умолчанию – кривизна линий тока не вычисляется

Закладка управления сходимостью

Convergence control | Advanced

Параметр	Значение
Количество итераций по уточнению потерь	100
макс к-во итераций перестроения линий тока	100
Количество итераций расчета протечек	100
Количество итераций решения уравнений	100
коэфф релаксаций	0.500000
порог точности решения системы уравнений	1e-008
граница физической сходимости	1e-005
протокол решения уравнений	0
распечатка исх. данных	2
протокол итераций по уточн. потерь	1
распечатка результатов	3
протокол итераций по утечкам	1

8 9 10

8. ***Количество итераций***
   - ***К-во итерации для уточнения потерь*** – количество итераций основного цикла расчета потерь. Количество итераций должно быть установлено достаточным для сходимости решений.
   - ***К-во итерации перестроения линий тока***– количесво первых итераций цикла расчета потерь при которых производится рачет кривизны линий тока.
   - ***К-во итерации расчета протечек*** – количество итераций расчета баланса протечек на каждой итерации расчета потерь.
   - ***К-во итерации для решении уравнения*** – количество итераций для решении уравнения на каждой итерации расчета потерь.

9. ***Контроль сходимости***
   - ***Коэффициент релаксации*** влияет на скорость и равномерность сходимости. При больших значениях уходит меньше времени на решение, но результаты решения могут колебаться. При малых значениях для нахождения решения может потребоваться значительное количество итераций.
   - ***Ограничение точности*** определяет порог точности решения и момент прекращения процесса. Основным критерием является достижение заданного уровня “физической” сходимости . Для задач с определением расхода это сходимость по мощности, а для задач с определением даления - сходимость по давлению

10. *параметры* ***Упраления протоколом*** упраляют степенью детализации данных выводимых в протокол расчета
    - 0 –данные на выводятся
    - 1 – выводятся минимальные данные
    - 2 – выводятся более детальные данные
    - 3 – максимальная степень детализации данных

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

Закладка дополнительных параметров управления сходимостью

Convergence control | Advanced

Параметр	Значение
коэффициент релаксации по потерям	0.000000
коэффициент релаксации по прикорневым протечка	0.200000
тип распределения потерь вдоль радиуса	1
порог точности для уточнения линий тока	1e-006
точность одномерного поиска	1e-008
точность N-мерного поиска по функции	1e-010
приращение аргумента для вычисления градиента	1e-007
начальный шаг одномерного поиска	0.001
начальный шаг изменения mu0	0.001
метод поиска в FR	1
признак внутреннего расчета потерь	0

Рекомендуется использование следующих данных

- Коэффициент релаксации по потерям
- Коэффициент релаксации по прикорневым протечкам
- Тип распределения потерь вдоль радиуса

11. При выставленном флаге ***Наследовать начальные приближения*** солвер использует для следующего выполнения в качестве начальных значений значения скоростей, которые были вычислены ранее,.

12. Источник заданных скоростей
- ***Загрузить данные проекта*** – загружаются значения скоростей из главной базы данных проекта (не из локальной базы солвера.
- ***Загрузить последние сохраненные данные*** – загружаются значения скоростей, которые были сохранены последними
- ***Загрузить данные, выставленные по умолчанию*** –начальные значения скоростей рассчитываются по умолчанию
- ***Сохранить данные*** – текущие значения начальных скоростей сохраняются в специальную базу

13. ***Градиент скорости*** – дополнительная функция для настройки начальных значений скоростей для всех статоров/роторов через значения на первом статоре/роторе и коэффициент изменения (градиент).
- ***velocity change*** **-** расчетный градиент **-** рассчитанное осредненное отношение скоростей за соседними одноименными венцами (за ротором/ за стстором)
- ***coefficient*** - заданный градиент – задаваемое рассчитанное отношение скоростей за соседними одноименными венцами
- ***velocity value*** - скорость за первым венцом

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

- ***флаг "Auto"*** – если этот флаг установлен начальные скорати расситываютса через заданный градиент и начальное значение скорости

14. Установки для элементов проточной части

Таблица настройки компонентов позволяет для каждого компонента проточной части установить начальную скорость, параметр закрутки , значения угла навала и выбрать режим для уменьшения угла натекания и подбора эффективного угла.

- Вес невязки – используется для изменения влияния элемента на сходимость решения
- Скорость – начальное значение скорости за элементом
- Угол навала - угол постоянного осевого навала
- Эффективный угол - Эффективный угол в среднем сечении . От этого угла отсчитывается параметрическая закрутка
- Коэффициент закрутки – параметр используемый для изменения степени закрутки
- Флаг "применение закрутки" – если поднят закрутка будет пересчитана в соответствии с ыглом на среднем диаметре и значением коэффициента закрутки. Если флаг опущен – закрутка сохраняется (углы не меняются)
- Параметр «Коэффициент настройки» позволяет контролировать относительную степень изменения углов выхода для данного элемента для постановки «Определение эффективных углов выхода для заданного расхода».
- Флаг "применение настройки" – если поднят то выходной угол будет подстраиваться для обеспечения требуемого расхода . Если флаг опущен – выходной угол сохраняется .

2.1.2 Контроль сходимости решения

Функция контроля сходимости решения позволяет наблюдать за процессом решения и помогает в принятии решения при регулировании параметров сходимости. Окно контроля сходимости открывается томатически при старте солвера 1D2D . По окончании процесса решешения окно контроля сходимостиможет быть открыто кнопкой на панели инструментов солвера.

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

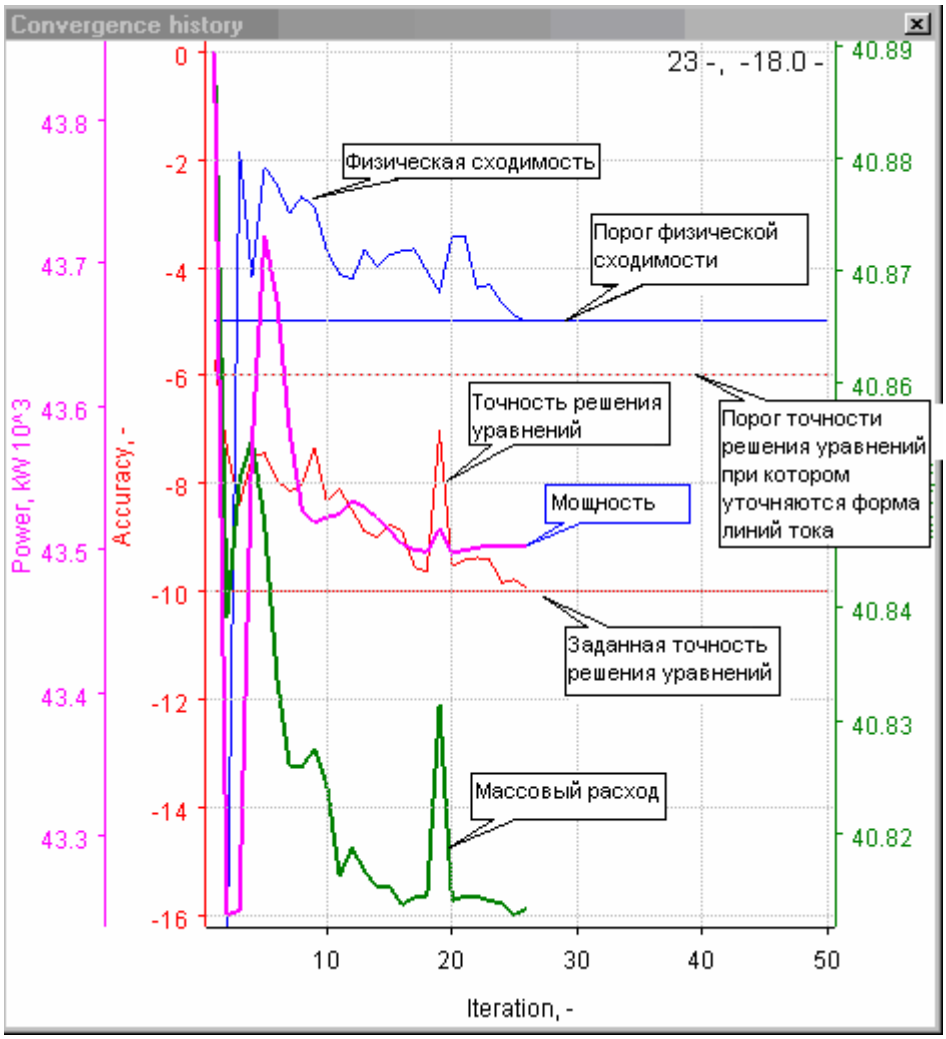


Рисунок 4. Окно контроля сходимости решения

2.1.3 Представление результатов расчета

Для предварительного анализа результаты расчета представляются в виде графиков нв окне солвера 1D2D . Эти графики отображают данные из локальной базы солвера 1D2D . Все графики можно разделить на 6 групп, каждой из которых соответствует определенная кнопка на панели управления среднего сечения. Эти группы включают

- Потоковые и геометрические уголы на входе венцов
- Потоковые и геометрические уголы на выходе венцов
- Скорости за статором
- Скорости за ротором
- Число Маха и КПД
- Потери
- Коэффициенты реактивности, скорости и нагрузки

Внимание: По окончании расчета до закрытия окна солвера 1D2D не забудьте сохранить полученное решение. Для просмотра результатов решения в таблицах проекта, необходимо сохраненнть данные из локальной базы в главную. Эта процедура осуществляется при помощи кнопки ***Сохранить (решение) данные***.

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

3 Процедура анализа

3.1 Задачи анализа существующей конструкции,

Для анализа существующей конструкции солвер может:

- Провести расчет проточной части по среднему сечению с/без вычислений баланса утечек.

  Расчет по среднему сечению означает, что вычисления будут производиться для среднего отсека, и результаты будут экстраполированы в другой отсек, согласно закону завихрения.
- Провести расчет проточной части по среднему сечению с/без вычислений баланса утечек.
- Провести расчет проточной части с/без вычислений баланса утечек.
- Построить график турбины для решения по среднему сечению/
- Выполнить расчет охлажденного газа турбины

3.2 Постановка задачи для процедуры анализа

В системе AxSTREAM процедура анализа направлена на оценку работы существующей конструкции. При проведении этой процедуры важно учитывать геометрию проточной части. Далее приводятся постановки задач для проведения анализа.

Анализ может проводиться в таких постановках задач:

15. ***Постановки задач ограничены:***
    - Найти массовый расход для заданного давления на выходе
    - Найти давление на выходе для заданного массового расхода

16. ***Оценивание параметров закрутки ограничено:***
    - Заданный коэффициент закрутки – углы выхода потока, заданные в проекте.

17. ***Дополнительная функция***
    - Функция ***«фактический эффективный угол»*** используется, если выбранный режим профилирования не обеспечивает сохранения эффективных углов заданных в проекте т.е. сохранения горла - (фиксированный и стандартный профили и т. д.)

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

3.3 Решение задач проектирования с помощью 1D2D солвера

3.3.1 Типы задач проектирования новой конструкции, выполняемые с помощью 1D2D солвера.

Проектировочные задачи 1D2D солвера предназначены для улучшение проточной части, полученной во время предварительного проектирования.

Внимание: Нельзя смешивать задачи проектирования решаемые 1D2D солвером в **прямой** постановке и задачами решаемые в режиме проектирования в **обратной** постановкае проектировочным обратным солвером

Во время выполнения процедуры проектирования солвера 1D2D ь **изменяет геометрию проточной части**.

Солвера 1D2D ь может решать задачи проектирования в таких постановках:

- Расчет проточной части по среднему сечению с регулировкой эффективных углов выхода в соответствии с заданным расходом.
- Расчет проточной части с регулировкой эффективных углов выхода в соответствии с заданным расходом с помощью параметрического регулирования коэффициента закрутки.
- Дополнительная функция уменьшения углов наклона и расчет баланса утечек.
- Оптимизация закрутки лопатки методом планирования эксперимента AxPLAN

3.3.2 Постановка задачи для процедуры проектирования

18. ***Постановка задачи***

- Найти массовый расход для заданного давления на выходе
- Найти значение давления на выходе для заданного массового расхода
- Найти полное давление на входе для заданного массового расхода
- Найти эффективные углы выхода для заданного массового расхода и давления

19. ***Режим расчета***

- Номер отсека позволяет выбрать ряд отсеков для проведения вычислений. Все отсеки указаны в последовательности. При расчете выводятся результаты только для выбранных отсеков.
- Функция «Расчет по среднему сечению» позволяет выполнять расчет средних и экстраполированных результатов для других отсеков, согласно закону завихрения.

20. ***Оценивание параметров закрутки***

- Заданный коэффициент закрутки – углы выхода потока заданные в проекте
- Оценивание параметров закрутки лопатки – распределение угла выхода потока рассчитывается формулой (r^m) * ctg (beta) = константа, где константа – значение эффективного угла выхода в среднем сечении.

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

Коэффициент закрутки **m** может быть определен для каждого компонента проточной части в таблице 15.

- Коэффициент закрутки будет использован при анализе, если был выставлен соответствующий флаг в таблице 15.

21. ***Дополнительная функция***

- При выставленном флаге «***уменьшить угол наклона***» солвера 1D2D ь отрегулирует внутренние углы лопаток для уменьшения угла наклона. Для того чтобы при уменьшении угла наклона учитывались компоненты лопаточных венцов, необходимо выставить соответствующих флаг в таблице 14.
- Функция «фактический эффективный угол» используется, если в режиме профилирования не были сохранены углы измерения проекта (заданный и стандартный профили и т. д.)

22. Флаг ***Угол поворота лопатки*** используется для измерения вращения лопатки. Данная функция позволяет включить/выключить поворот лопаток во всей проточной части без изменений настроек поворота для отдельных ступеней.

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

AxSTREAM™ - Концептуальное проектирование и оптимизация турбомашин

Руководство пользователя AxSTREAM
часть 2

Анализ существующих конструкций проточных частей осевых турбин

***Отредактировано для версии v* 2.3.x.x**

Данная информация может быть изменена SoftInWay, Inc. без предварительного уведомления. SoftInWay, Inc. не несет ответственности за возможные ошибки в документе.

Все права защищены. Использование или копирование программного обеспечения осуществляется в соответствии с лицензией.

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

4 Создание проекта для анализа

4.1 Создание нового проекта

Новый проект создается либо при помощи кнопки ***Новый проект*** на панели управления в окне **Проект**, рис. 1, либо посредством выбора опции ***Файл → Новый*** на главном меню.

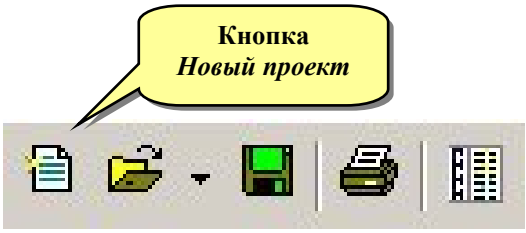


Рисунок 5. Создание нового проекта

Кнопка ***Новый проект*** открывает диалоговое окно для создания проекта, рис. 2.

Рисунок 6. Диалоговое окно для создания *Нового проекта*

Затем необходимо ввести следующие данные:

- Тип и количество цилиндров и ступеней;
- Количество сечений для ступеней, предназначенных для расчета .

После создания нового проекта количество ступеней и сечений может быть изменено, с помощью ***Проект → Ступень*** или ***Сечение → Добавить/Удалить ступень*** и **Изменить *количество ступеней***.

Внимание:
При создании проекта для анализа необходимо установить признак ***Режима анализа***, который обеспечит постоянство введенных геометрических и режимных данных.

4.1.1 Установка Режима анализа после создания проекта

Режим анализа можно установить или удалить вызовом диалогового окна ***Состояние Проекта*** через ***Меню → Настройки → Состояние Проекта***, рис. 3
или щелчком по полю индикатора режима в левом нижнем углу главного окна

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

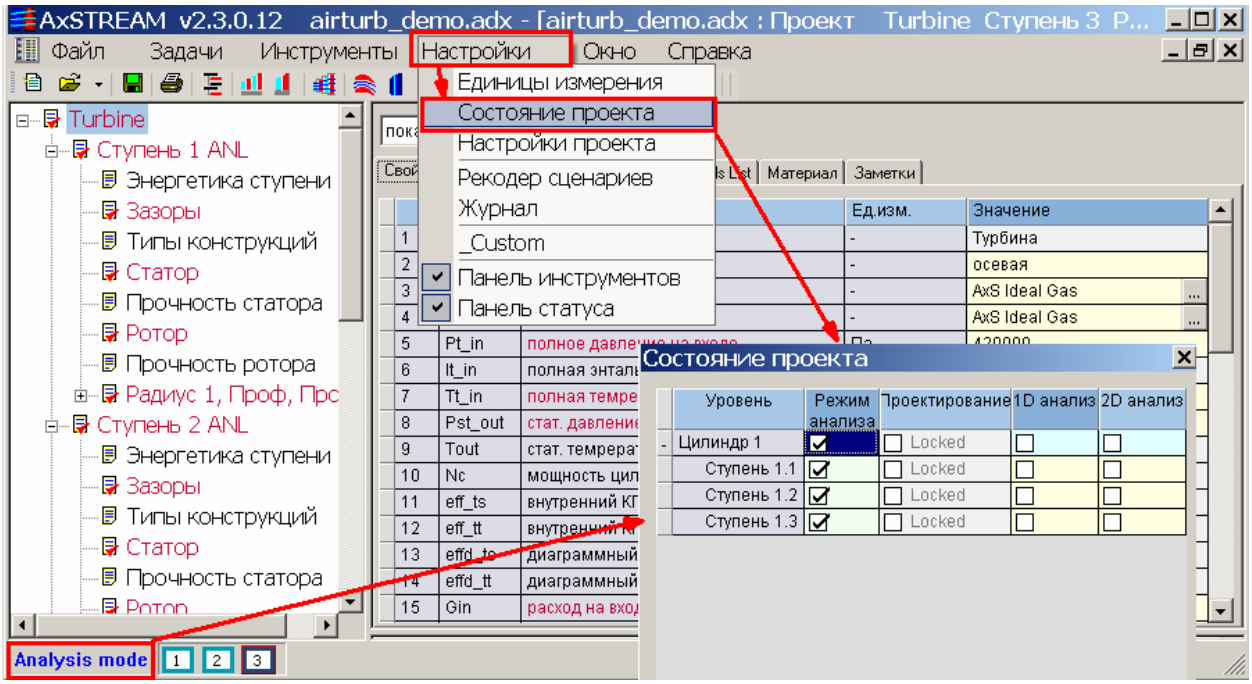


Рисунок 7. Вызов установки состояния проекта

Внимание:

- Пункт меню ***Состояние Проекта*** недоступен, если открыты окна солвера 1D2D или профилирования.

- Установка флага ***Анализа*** автоматически блокирует выполнение задач проектирования.

4.2 Ввод исходных данных

AxSTREAM предлагает следующие способы ввода данных:

- ручной ввод основных геометрических характеристик в таблицы;
- импорт геометрии плоского профиля;
- копирование данных из таблиц Excel/Word;
- копирование компонентов проточной части из других проектов.

4.2.1 Ручной ввод

Для ввода основных геометрических характеристик (углы, хорды и т. д.) пользователь может занести необходимые данные непосредственно в таблицу. Установка фильтра отображения только полей обязательных данных упрощает ручной ввод, рис. 4.

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

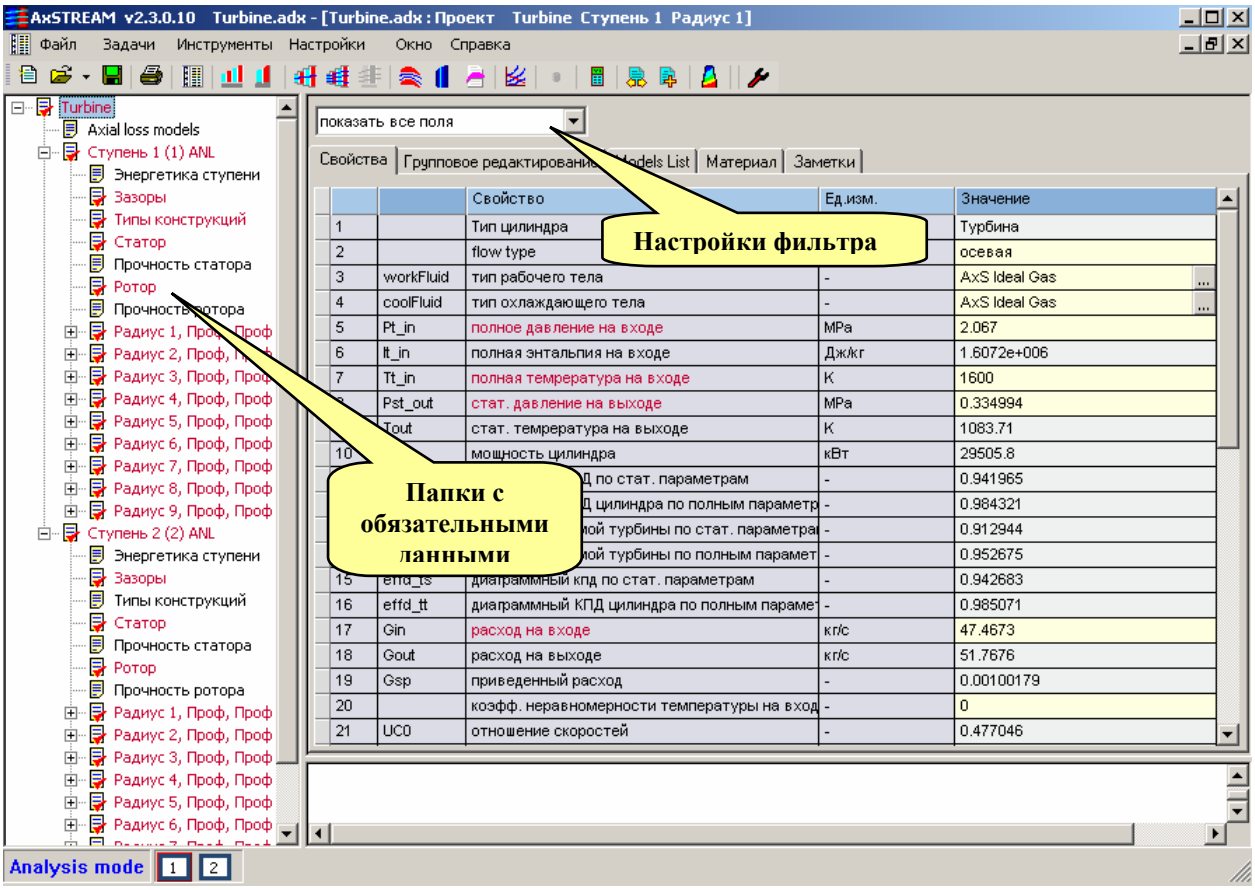


Рисунок 8. Настройка фильтра обязательных полей

Таблицы, содержащие обязательные поля, выделены в дереве проекта красным цветом.

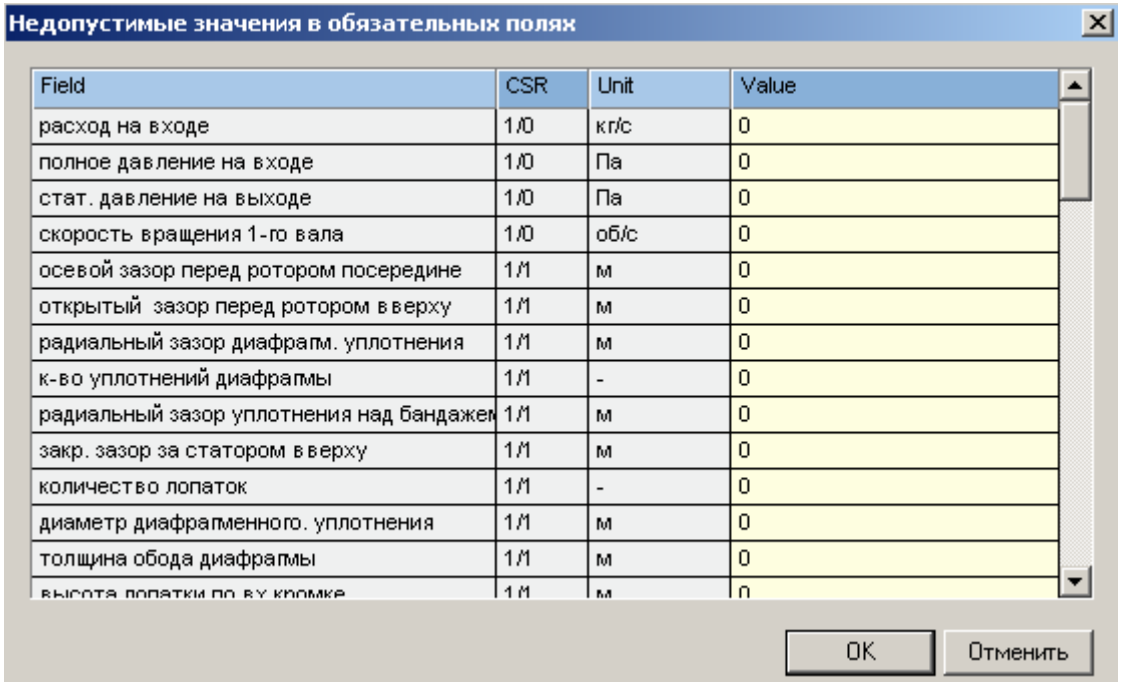
4.2.2 Контроль полноты ввода обязательных данных

Контроль полноты ввода обязательных данных осуществляется с помощью функции ***Список ошибочных данных***. Кнопка-индикатор данной функции расположена на панели управления, рис. 5.

Рисунок 9. Кнопка-индикатор *Список ошибочных данных*

До тех пор пока хотя бы одно поле для обязательных данных остается незаполненным, кнопка-индикатор ***Список ошибочных данных*** горит красным цветом. При нажатии на кнопку отображаются пропущенные обязательные поля, которые можно заполнить в диалоговом окне.

Copyright © 2000-2008. All rights reserved



Недопустимые значения в обязательных полях

Field	CSR	Unit	Value
расход на входе	1/0	кг/с	0
полное давление на входе	1/0	Па	0
стат. давление на выходе	1/0	Па	0
скорость вращения 1-го вала	1/0	об/с	0
осевой зазор перед ротором посередине	1/1	м	0
открытый зазор перед ротором в верху	1/1	м	0
радиальный зазор диафрагм. уплотнения	1/1	м	0
к-во уплотнений диафрагмы	1/1	-	0
радиальный зазор уплотнения над бандажем	1/1	м	0
закр. зазор за статором в верху	1/1	м	0
количество лопаток	1/1	-	0
диаметр диафрагменного. уплотнения	1/1	м	0
толщина обода диафрагмы	1/1	м	0
высота лопатки по вх.кромке	1/1	м	0

OK Отменить

Рисунок 10. Образец *Списка Ошибочных Данных*

4.2.3 Номенклатура обязательных исходных данных для анализа

Для ступеней: **Таблица 1**

		ХАРАКТЕРИСТИКА	Единица измерения	ЗНАЧЕНИЕ
Турбина				
1	Pt_in	полное давление на входе	MPa	
2	Tt_in	полная темрература на входе	K	
3	Pst_out	стат. давление на выходе	MPa	
4	Gin	расход на входе	кг/с	
5	srs1	скорость вращения 1-го вала	об/мин	
Ступень N				
Ступень N		**Зазоры**		
1	d1	осевой зазор перед ротором посередине	м	
2	b1t	открытый зазор перед ротором вверху	м	
3	a1t	закр. зазор за статором вверху	м	
4	drd	радиальный зазор диафрагм. уплотнения	м	
5	Zrd	к-во уплотнений диафрагмы	-	
6	drr	радиальный зазор уплотнения над бандажем	м	
Ступень N		**Статор**		
1	z	количество лопаток	-	
2	l0	высота лопатки по вх.кромке	м	
3	D0	meanline diameter at LE	м	
4	l1	высота лопатки по вых.кромке	м	
5	D1	средний диаметр по ЗК	м	
6	dss	диаметр диафрагменного. уплотнения	м	
7	dort	толщина обода диафрагмы	м	

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

Ступень N		Ротор		
1	z	количество лопаток	-	
2	l1	высота лопатки по вх.кромке	м	
3	D1	meanline diameter at LE	м	
4	l2	высота лопатки по вых.кромке	м	
5	D2	средний диаметр по ЗК	м	
6	vt	толщина бандажа	м	
7	idShaft	номер вала	-	

Для каждой ступени по сечениям: **Таблица 2**

		ХАРАКТЕРИСТИКА	Единица измерения	ЗНАЧЕНИЕ
Ступень N		**Сопловая решетка**		
1	b	хорда	м	
2	a	горло решетки	м	
3	A0m	геометрический угол входа	град	
4	A1gaug	эффективный угол выхода	град	
5	r2	радиус вых. кромки	м	
Ступень N		**Рабочая решетка**		
1	b	хорда	м	
2	a	горло решетки	м	
3	B1m	геометрический угол входа	град	
4	B2gaug	эффективный угол выхода	град	
5	r2	радиус вых. кромки	м	

Необходимо задать горло решетки или эффективный угол выхода.
[Эффективный угол выхода angle = arcsin(горло/шаг)]

4.2.4 *Копирование данных из таблиц Excel/Word*

Таблицы данных *AxSTREAM* поддерживают операции ***Копировать/Вставить*** для таблиц и столбцов в Excel и Word. Таким образом, данные из таблиц могут быть скопированы в соответствующие таблицы *AxSTREAM.*

Чтобы скопировать данные в таблицы проекта, используйте контекстное меню, нажав на заголовок таблицы/столбца правой кнопкой мыши.

Контекстное меню таблицы

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

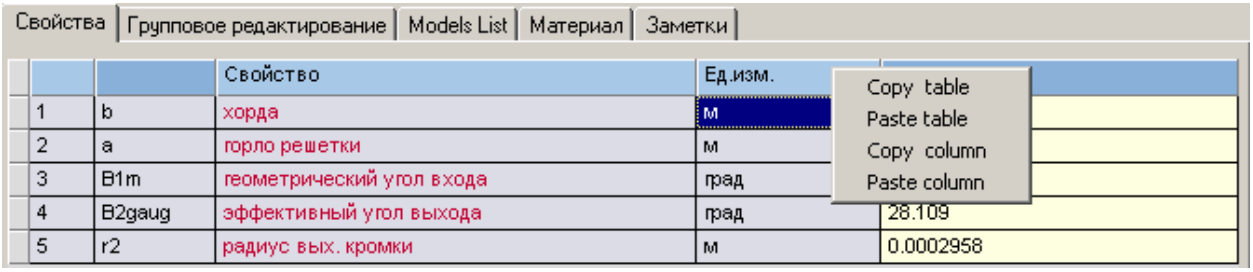


Рисунок 11. Контекстное меню таблицы

4.2.5 *Копирование компонентов проточной части из другого проекта*

AxSTREAM предоставляет возможность переноса (копирования) объектов из одного проекта в другой. Благодаря этому, а также функции ***Вставить/Удалить***, пользователь может формировать проект на основе ранее созданных проектов.

Поскольку данные записываются в уже существующий объект, необходимо прежде всего добавить новую ступень. Чтобы включить новую ступень в дерево проекта, оспользуйтесь функцией ***Добавить***, рис. 8.

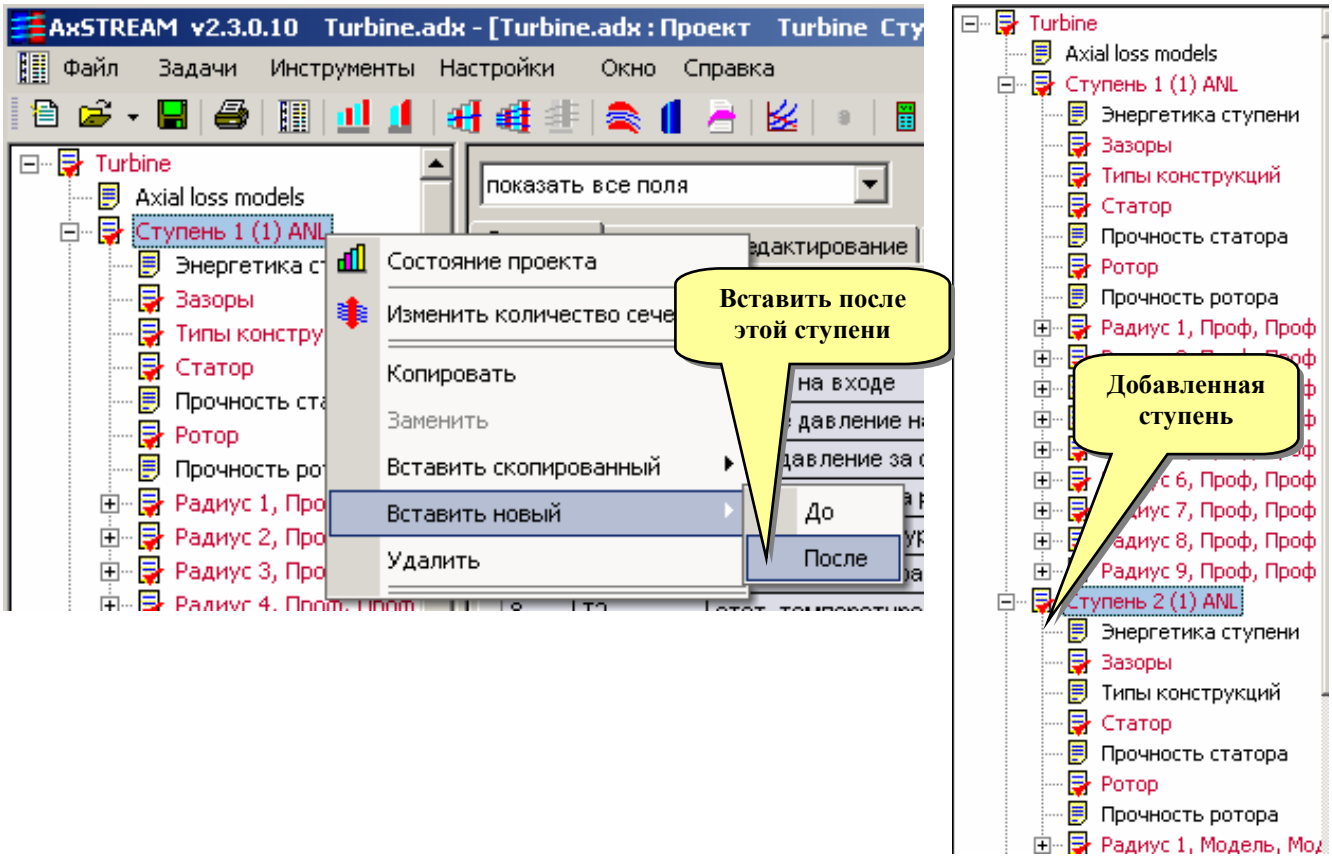


Рисунок 12. Добавление новой ступени

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

После этого выберите функцию ***Копировать*** в контекстном меню, как это показано на рис. 9, чтобы скопировать исходную ступень.

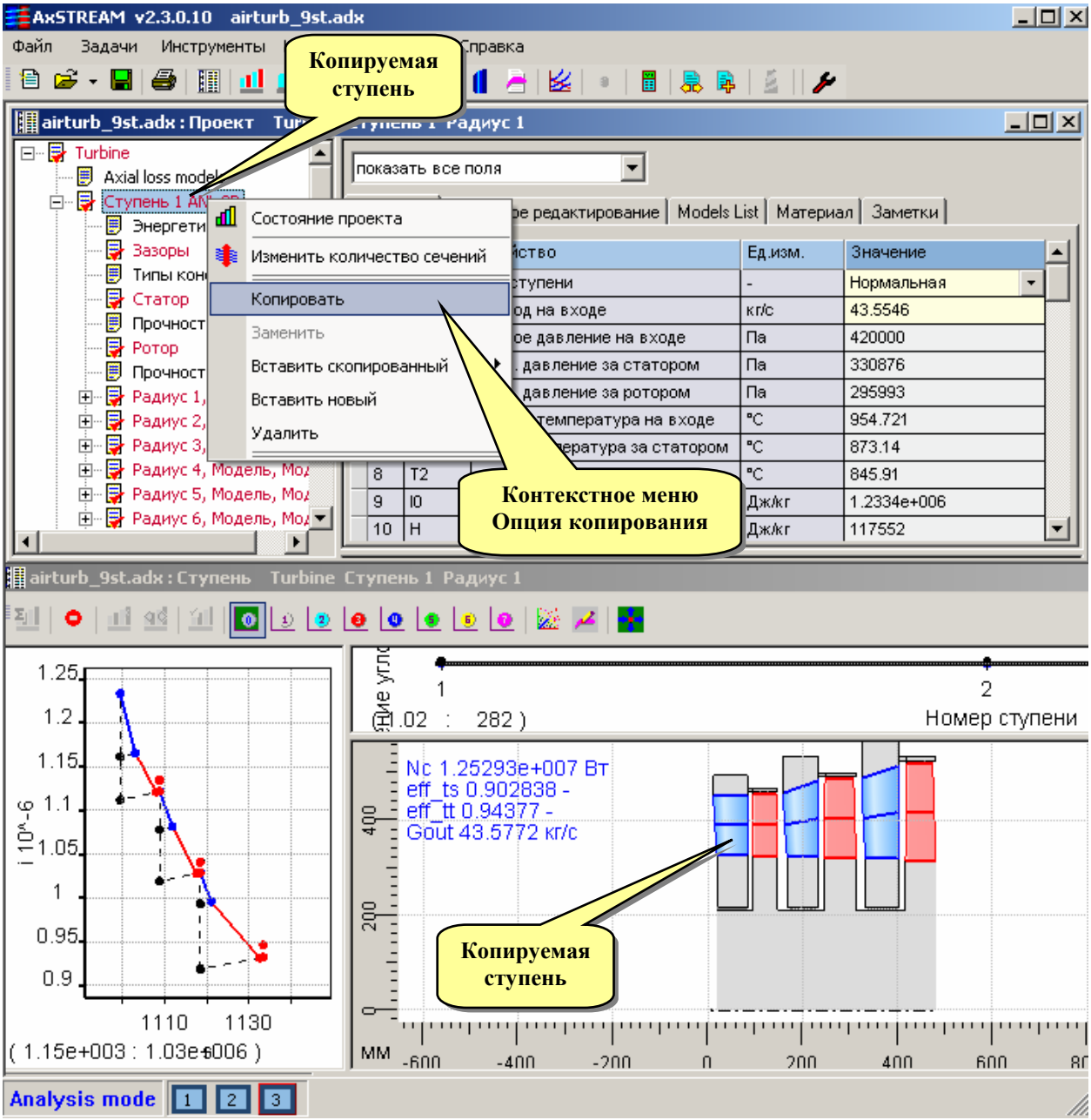


Рисунок 13. Копирование ступени

Скопированные данные могут быть записаны в объект того же типа в этом или другом проекте с помощью функции ***Вставить***, рис. 10.

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

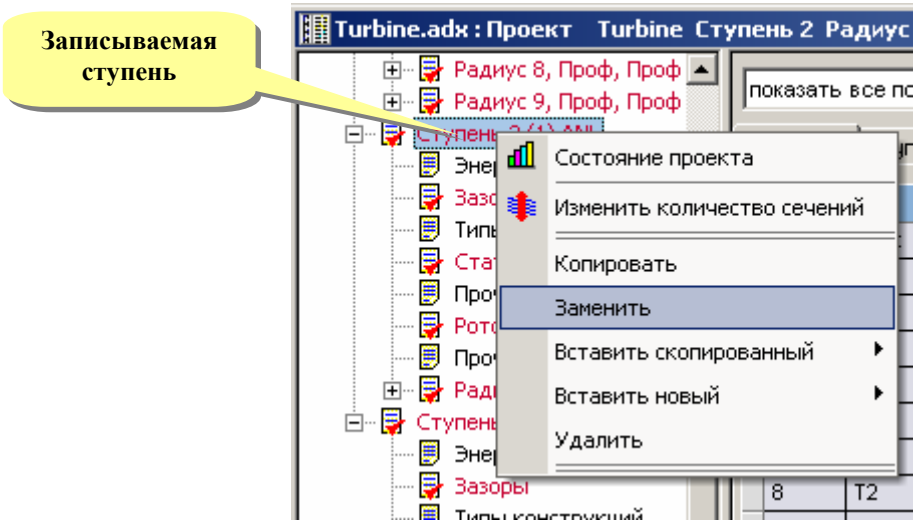


Рисунок 14. Запись скопированных данных в ступень

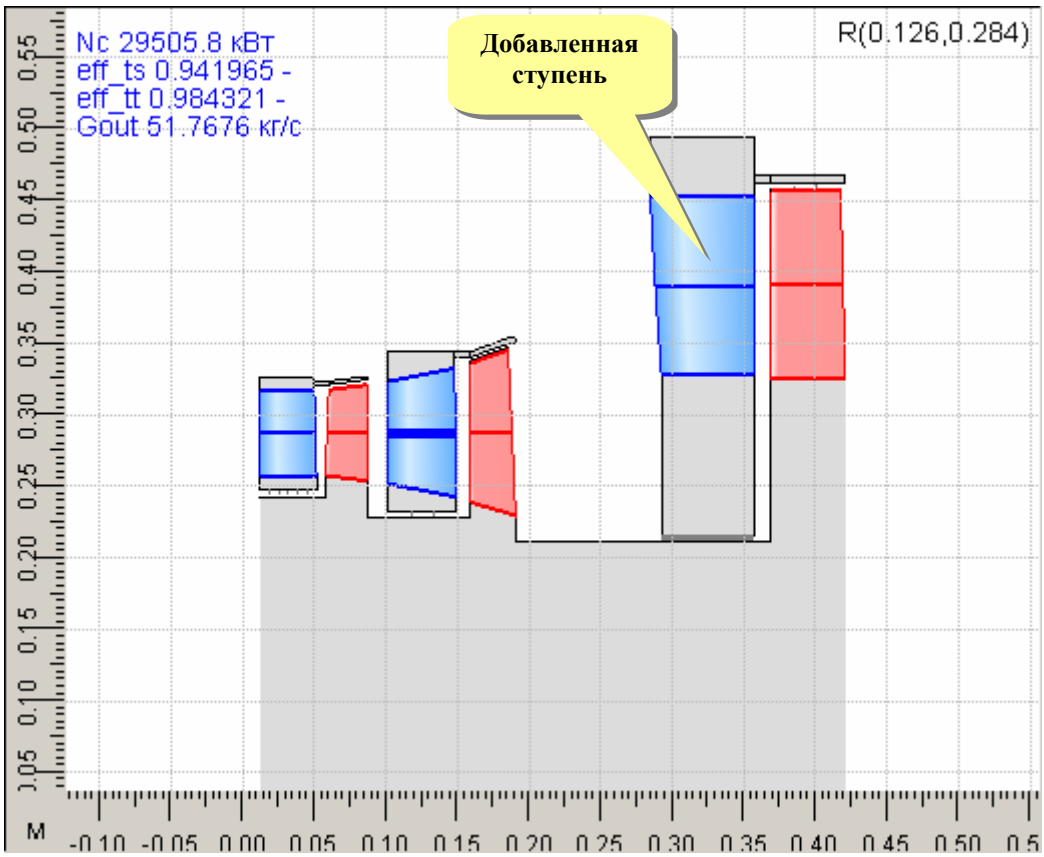


Рисунок 15. Результат добавления ступени

Можно также ***Добавить/Копировать/Вставить*** цилиндр или ступень.

Применительно к сечениям, доступны лишь функции ***Копировать/Вставить***. Изменения количества сечений регулируется специальной опцией в контекстном меню.

Функция ***Удалить*** служит для удаления цилиндра или ступени. В каждом проекте должно быть не менее одного цилиндра и ступени.

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

5 Задачи анализа существующей конструкции,

Для анализа существующей конструкции солвера 1D2D ь может:

- Провести расчет проточной части ***по среднему сечению*** с/без вычислений баланса утечек.

  Расчет по среднему сечению означает, что вычисления будут производиться для среднего сечения, и результаты будут экстраполированы на другие сечения, согласно закону свободного вихря.
- Провести расчет проточной части с/без вычислений баланса утечек.
- Построить ***характеристику*** турбины для решения по среднему сечению/
- Выполнить расчет турбины с учетом ***охлаждения***

5.1 Постановки задачи а для процедуры анализа

В системе AxSTREAM процедура анализа предназначена для оценки работы существующей конструкции при фиксированной геометрии.
К режимам “чистого анализа” относятся постановки задач

- С определением расхода для заданного давления на выходе
- С определением давления на выходе для заданного расхода
- Найти полное давление на входе для заданного массового расхода

Во избежание изменения геометрии при анализе не не должены использоваться минимизация углов натекания и параметризация закрутки.

5.2 Задачи проектирования, выполняемые с помощью 1D2D солвера

Напяду с задачами “чистого анализа” солвера 1D2D ь AxSTREAM может выпонять задачи с частичным изменениям геометрии (углов) т.е. свое рода проектировочные задачи.
Эта функциональность позволяет проводить оптимизацию проточной части, полученной во время предварительного проектирования или модернизацию существующей ПЧ.

Внимание: Нельзя смешивать задачи проектирования решаемые в **прямой** и **обратной** постановках.

К режимам с частичным изменениям геометрии (углов) относятся постановка задач

- Расчет проточной части по среднему сечению с регулировкой эффективных углов выхода в соответствии с заданным расходом.
- Расчет проточной части с регулировкой эффективных углов выхода в соответствии с заданным расходом с помощью параметрического регулирования коэффициента поворота.
- Дополнительная функция уменьшения углов натекания
- Оптимизация закруток и навала лопатки с помощьэ модуля планирования эксперимента AxPLAN

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

6 Особенности расчета ступеней с парциальным подводом пара и ступеней скорости (Куртиса)

6.1 Ступень с парциальным подводом пара

Помимо функции расчета по ступени полного впуска, система *AxSTREAM* также позволяет выполнять расчет по ступени с парциальным подводом пара.

Система рассматривает степень парциальности ступени как отношение открытой части ступени к общей площади поперечного сечения ступени. Специальная опция *AxSTREAM* позволяет вносить степень парциальности ступени и количество сегментов подвода в базу данных проекта. Таким образом, расчет по ступени с парциальным подводом пара осуществляется по тому же принципу, что и расчет по ступени полного впуска. Солвера 1D2D ь системы производит расчеты степени парциальности и оценивает вентиляционные потери и потери от выколачивания.

показать в водные поля только

Свойства | Групповое редактирование | Models List | Материал | Заметки

		Свойство	Ед.изм.	Значение
1	stg_t	Тип ступени	-	Нормальная
2	G0	расход на входе	кг/с	49.584
3	Gex1	отбор рабочего тела за статором	кг/с	0
4	Gex2	отбор рабочего тела за ротором	кг/с	0
5	VI	наличие сепарационных камер	-	Нет
6	NSEGM	количество сегментов сопел	-	1
7		парциальность	-	1
8	t1sp	ср. наклон линий тока за статором	град	-1.11874
9	t2sp	ср. накл. линий тока за ротором	град	6.01451
10	sec_t	Тип отсека	-	осевая
11	sec_n	номер отсека	-	1
12	nFlows	к-во потоков	-	1

Рисунок 16. Области с настройками ступеней с парциальным подводом пара

6.2 Особенности ввода данных для расчета ступеней скорости (ступеней Куртиса)

Система *AxSTREAM* также производит расчеты ступеней скорости. Эти ступени, с двумя и более парами венцов моделируются определенным количеством ступеней давления. Поскольку для ступеней скорости используется парциальность, при проектировании этих ступеней с *n* ступеней давления нужно учитывать такие факторы:

- Степень парциальности и количество сегментов сопел должны быть настроены соответственно всем эквивалентным ступеням давления, которые заменяют ступени Куртиса;
- Количество сопловых лопаток для всех эквивалентных ступеней давления нужно отрегулировать таким образом, чтобы лопатки составляли единое кольцо.
-

Солвер для определения угла выхода потока использует т.н. эффективный угол (arcsin (горло/шаг)). В случае применения сверхзвуковых сопел угол выхода потока из таких сопел сильно зависит от формы канала и не определяются соотношением arcsin (горло/шаг).

Для расчета таких ступеней необходимо принудительно задавать угол выхода свверхзвукового потока определенный для сопла с помощью других средств.

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

7 УТОЧНЕНИЕ РАСЧЕТОВ

7.1 Учет протечек

Для корректного анализа проточной части должно быть учтено влияние протечек рабочего тела.

Система *AxSTREAM* при расчетах по среднему сечению и позволяет рассчитывать баланс прикорневых протечек и осевые усилия в проточных частях диафрагменного типа. При этом учитываются протечки через разгрузочные отверстия, изменение давления вдоль диска передней и задней камеры, соотношение расхода через отверстия с учетом геометрических и операционных параметров, а также взаимное влияние основного и вторичного потоков рабочего тела.

7.1.1 Выполнение расчета баланса утечек. Задание зазоров.

Область расчета баланса утечек может быть доступна только после введения минимальных (более 0) значений для утечек в таблицы **Зазоров** по **всем ступеням**. В таблице 3 ниже есть 3 области обязательных данных:

1. Обязательные данные для расчета зазоров
2. Обязательные данные для расчета утечек
3. Данные для установки разгрузочных отверстий

Ниже на рисунке приведен образец ступени с отмеченными зазорами.

Таблица 3 – Таблица обязательных данных зазоров

1. Обязательные данные для расчета зазоров	
d1	зазор по среднему сечению за лопаткой
b1t	открытый зазор перед лопаткой
a0t	закрытый зазор перед лопаткой
a1t	закрытый зазор за лопаткой
drd	радиальный зазор диафрагм. уплотнения
Zrd	количество уплотнений диафрагмы
drr	радиальный зазор уплотнения над бандажем
Zrr	количество уплотнений бандажа
2. Обязательные данные для расчета утечек	
b1h	открытый зазор перед лопаткой
b0h	открытый зазор за лопаткой
s1	ширина передней камеры диска
s2	ширина задней камеры диска
3. Разгрузочные отверстия	
Zpo	количество разгрузочных отверстий
Dpo	диаметр расположения разгрузочных отверстий
dpo	диаметр разгрузочных отверстий

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

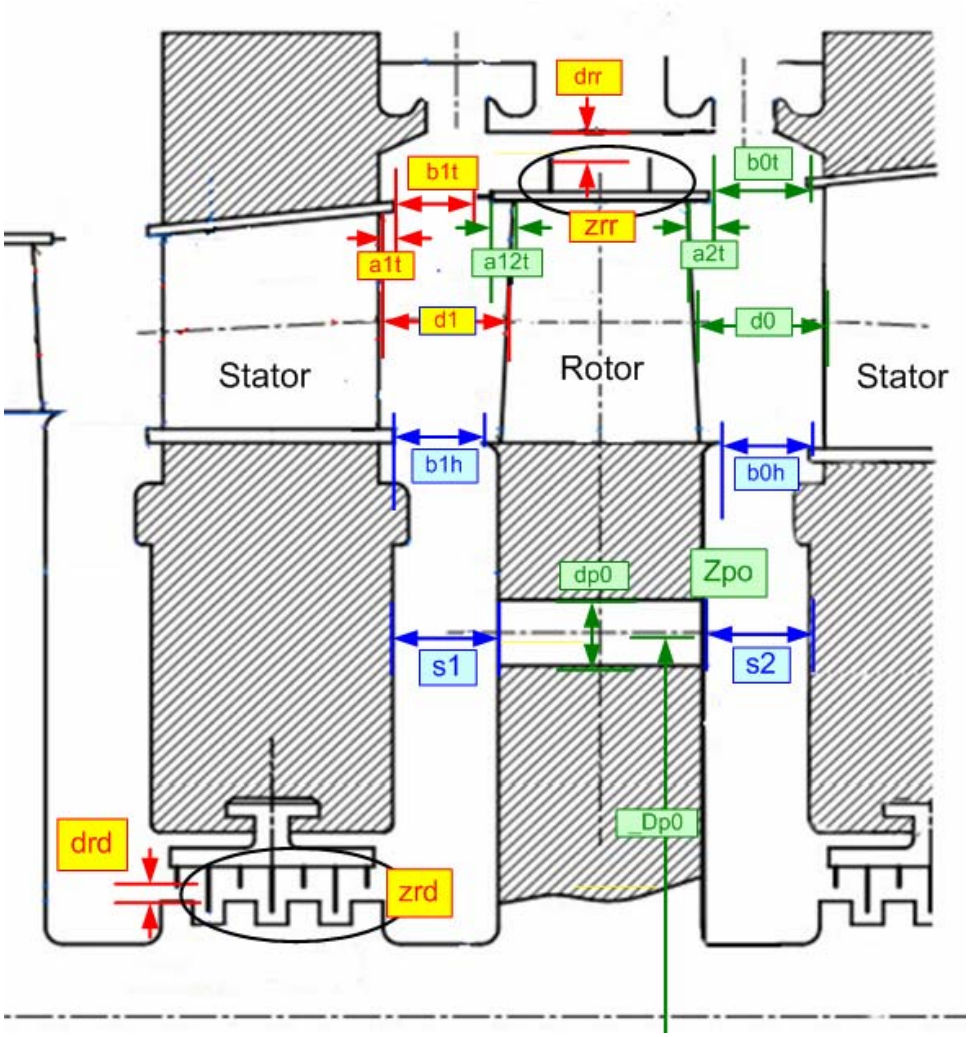


Рисунок 17. Схема зазоров ступени

Расчет баланса утечек осуществляется в рамках солвера 1D2D ей по среднему сечению и .

Чем детальнее были введены данные по зазорам, тем точнее будут результаты подсчетов.

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

7.2 Настройки для выполнения расчета баланса утечек в солвера 1D2D е среднего сечения

Для проведения расчета баланса утечек в рамках расчета по среднемы сечению иили нужно установить количество итераций для расчета утечек в окне параметров солвера 1D2D .

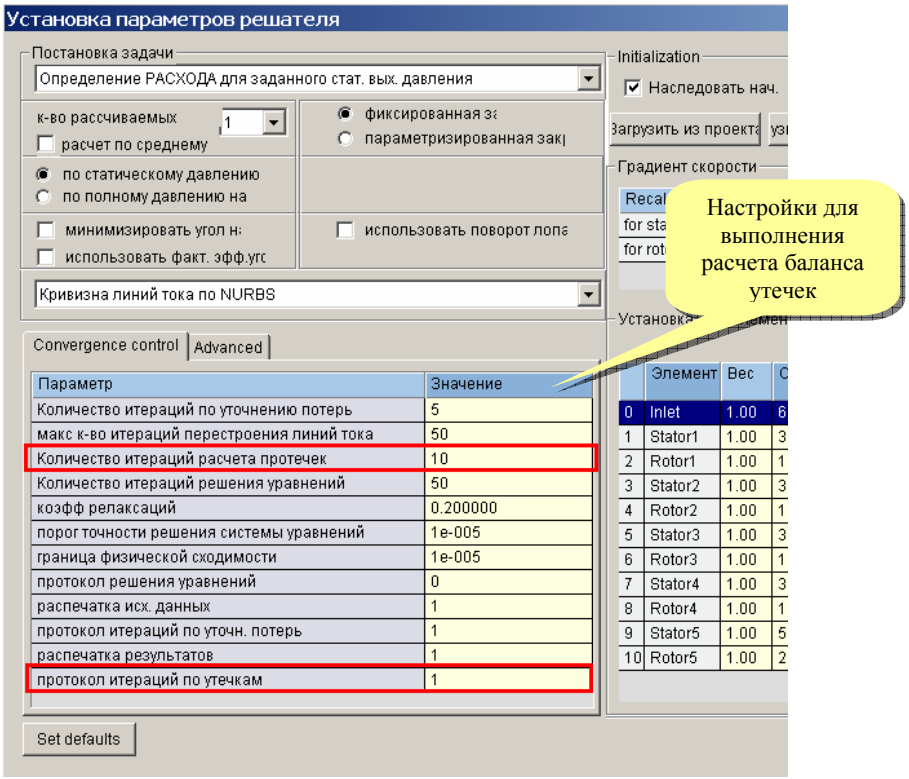


Рисунок 18. Настройки для выполнения расчета баланса утечек в окне параметров солвера 1D2D

Параметр ***Количества итераций при расчете протечек*** становится доступным после заполнения всех необходимых полей в диалоговом окне.. Рекомендуется устанавливать количество итераций для расчета протечек в диапазоне 10-20. Критерием является сходимость решения.

7.2.1 Вывод результатов баланса утечек в базе данных проекта

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

Численные данные по протечкам выводятся в таблицу “Ступень”Диаграмма баланса протечек может быть выведена в в окне Турбины (Цилиндра) и в окне солвера 1D2D .

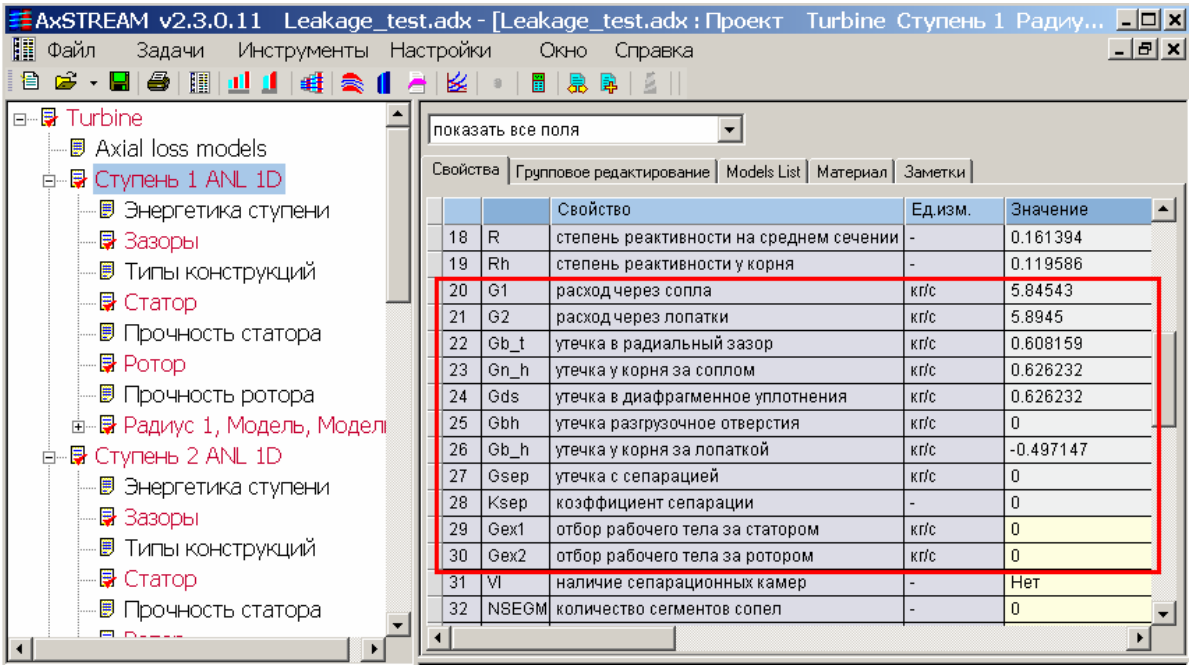


Рисунок 19. Результаты расчета утечек в базе проекта

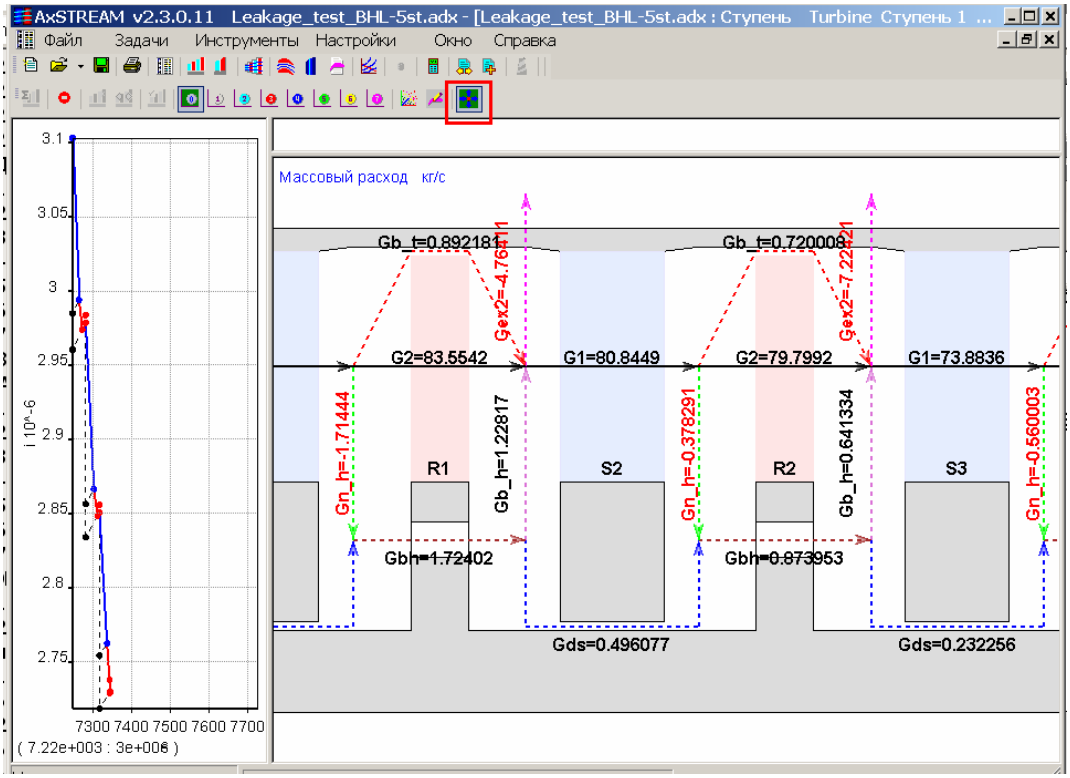


Рисунок 20. Результаты расчета утечек в окне цилиндра (турбины)

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

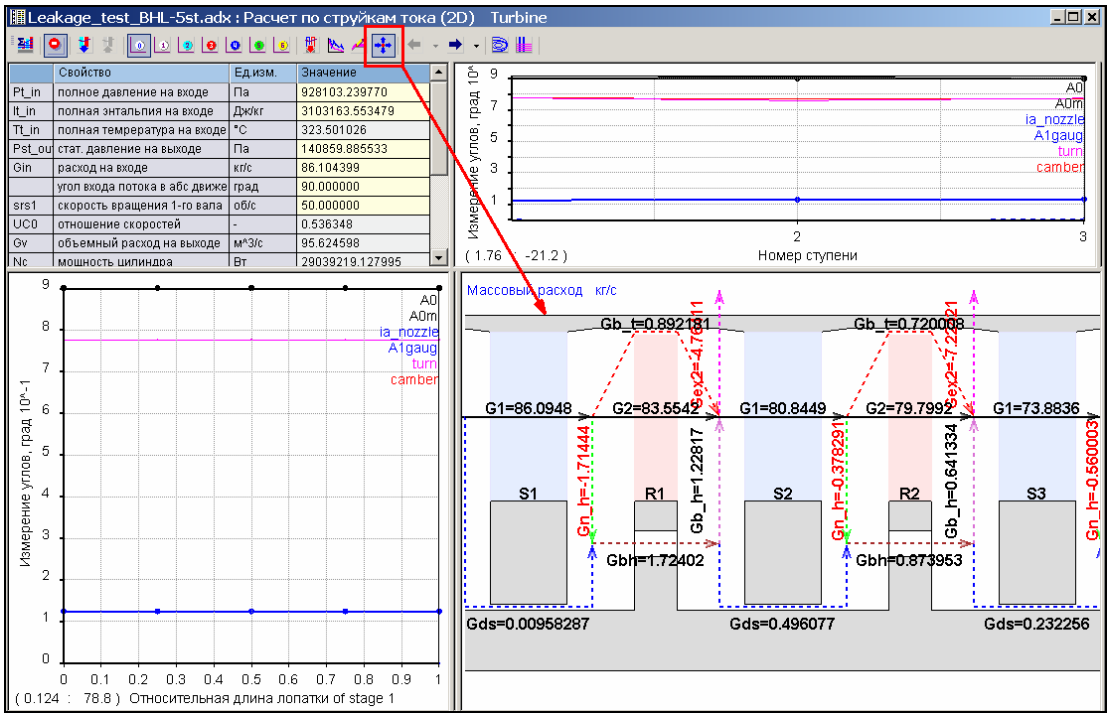


Рисунок 21. Результаты расчета утечек в окне солвера 1D2D

7.2.2 Использование функции планирования эксперимента для определения влияния утечек

В систему *AxSTREAM* встроен модуль планирования эксперимента *AxPLAN*. Планирования эксперимента может быть эффективно использовано для анализа зависимостей экономичности ступени от размеров зазоров в ступени.

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

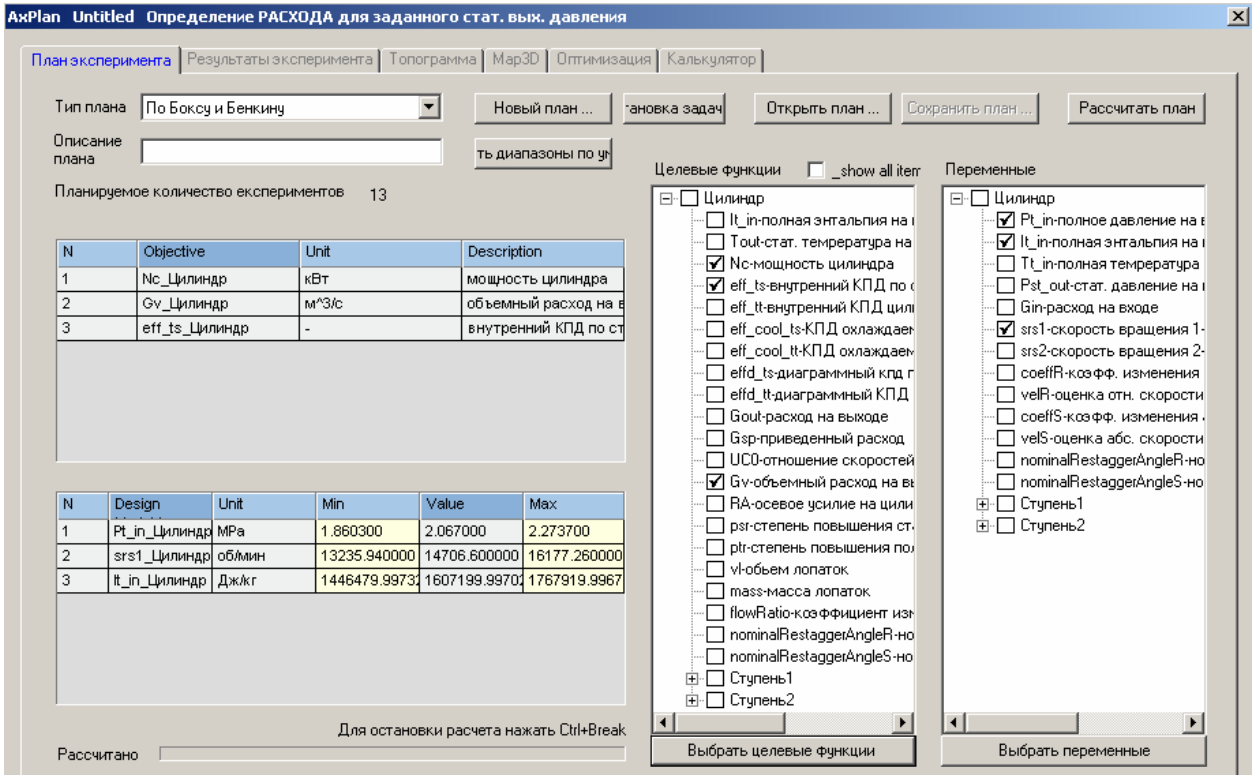


Рисунок 22. План эксперимента для расчета ступени по среднему сечению

На Рисунке 30 представлены графики КПД ступени в зависимости от величин надбандажного (слева) и диафрагменного (справа) зазоров.

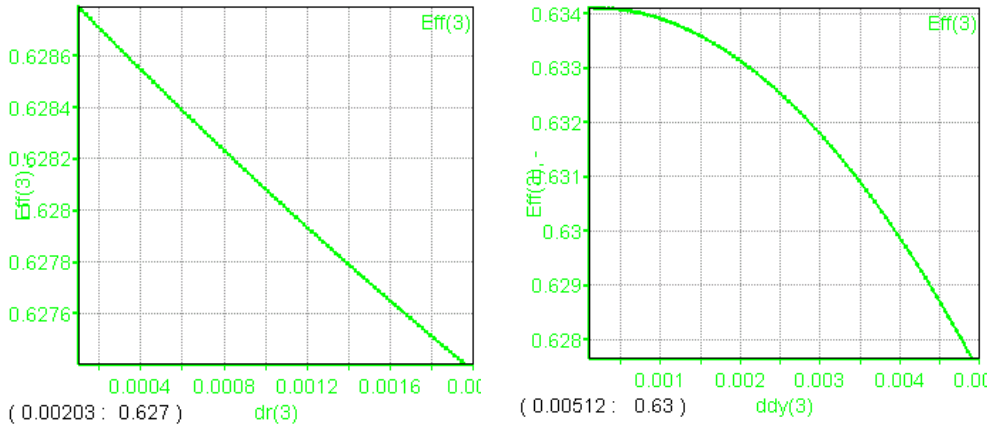


Рисунок 23. Отношение КПД ступени к величинам зазоров

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

8 Расчеты проточной части с учетом охлаждения

8.1 Схема охлаждения в AxSTREAM

При расчете влияния охлаждения *AxSTREAM* использует следующую схему выдувов охлаждающего воздуха(газа) в проточную часть, рис. 31:

1. выдув через переднюю кромку
2. выдув через заднюю кромку (за горлом)
3. выдув через торец рабочей лопатки
4. выдув в зазор (за горлом) на внутренней поверхности ПЧ
5. выдув в зазор (за горлом) на внешней поверхности ПЧ.

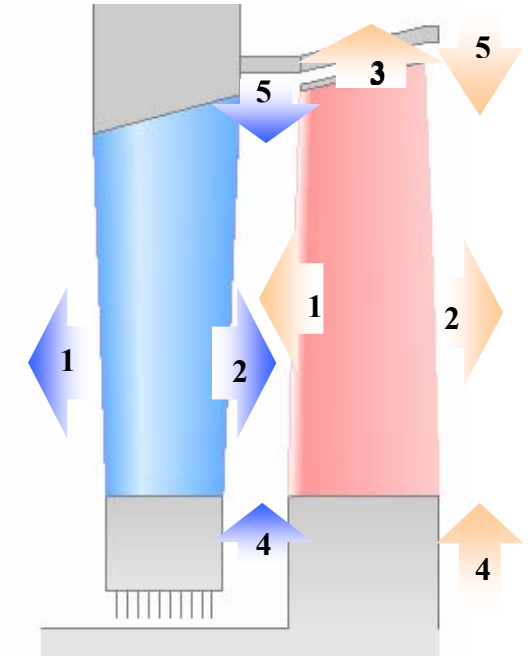


Рисунок 24. Схема попадания охлажденного воздуха в проточную часть, используемая в *AxSTREAM*

Расходы охлаждающего воздуха (газа) для выходной кромки и торца рабочей лопатки задаются как доля (0-1.0) от общего расхода охлаждения через лопатку.

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

26	Gcool	расход на охлаждение лопатки	кг/с	7.325
27	Tcool	температура охл. воздуха	K	846
28	Pcool	давление охл. воздуха	MPa	2
29	fractLE	доля охл. воздуха через вх. кромку	-	1
30	GcoolLE	расход охлаждения через ПК	кг/с	7.325
31	GcoolTE	расход охлаждения через ЗК	кг/с	0
32	CcoolTE	скорость охл. воздуха на вых. кромке	м/с	71
33	CcoolLE	скорость охл. воздуха на вх. кромке	м/с	24
34	GcoolS	расход в зазоре у корня	кг/с	0.884
35	TcoolS	температура охл. воздуха в зазоре у корня	K	832
36	PcoolS	давление охл. воздуха в зазоре у корня	MPa	2
37	ccoolS	скорость охл. воздуха в зазоре у корня	м/с	33.4
38	AcoolS	угол закрутки охл. воздуха в зазоре у корня	град	0
39	GcoolH	расход в зазоре вверху	кг/с	1.542
40	TcoolH	температура охл. воздуха в зазоре вверху	K	873
41	PcoolH	давление охл. воздуха в зазоре вверху	MPa	2
42	ccoolH	скорость охл. воздуха в зазоре вверху	м/с	56
43	AcoolH	угол закрутки охл. воздуха в зазоре вверху	град	0

Рисунок 25. Задание параметров охлаждения для статора

Gcool	расход на охлаждение лопатки	кг/с	1.996
Tcool	температура охл. воздуха	K	953
Pcool	давление охл. воздуха	MPa	2
fractLE	доля охл. воздуха через вх. кромку	-	1
fractTip	доля охл. воздуха через торец	-	0
GcoolLE	расход охлаждения через ПК	кг/с	1.996
GcoolTE	расход охлаждения через ЗК	кг/с	0
GcoolTip	расход охлаждения через торец лопатки	кг/с	0
CcoolTE	скорость охл. воздуха на вых. кромке	м/с	174.5
CoolLE	скорость охл. воздуха на вх. кромке	м/с	42
CcoolTip	скорость охл. воздуха через торец	м/с	0
GcoolS	расход в зазоре у корня	кг/с	0.374
TcoolS	температура охл. воздуха в зазоре у корня	K	0.937
PcoolS	давление охл. воздуха в зазоре у корня	MPa	1
CcoolS	скорость охл. воздуха в зазоре у корня	м/с	12.2
AcoolS	угол закрутки охл. воздуха в зазоре у корня	град	0
GcoolH	расход в зазоре вверху	кг/с	1.722
TcoolH	температура охл. воздуха в зазоре вверху	K	856
PcoolH	давление охл. воздуха в зазоре вверху	MPa	1
ccoolH	скорость охл. воздуха в зазоре вверху	м/с	63
AcoolH	угол закрутки охл. воздуха в зазоре вверху	град	0

Рисунок 26. Задание параметров охлаждения для ротора

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

Последняя страница Руководства, ч. 2

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

Использование солвера 1D2D для анализа и проектирования

9 Использование 1D2D солвера для сложных задач

9.1 Пример 1. Анализ существующей проточной части с расчетом баланса утечек

9.1.1 Объем и содержание работ

Рассчитать производительность и баланс утечек для трехступенчатой ЦВД с разгрузочными отверстиями.

9.1.2 Исходные данные

Потери проекта_тест_BHL.adx

9.1.3 Особенности проекта

Необходимо понимать, что при вводе только обязательных данных солвера 1D2D ь будет работать, но результаты могут оказаться неточными.
Для вычисления баланса утечек нужно также ввести дополнительные данные:

- все необходимые параметры зазоров, включая зазоры у корня за соплом и у корня за лопаткой;
- параметры разгрузочных отверстий.

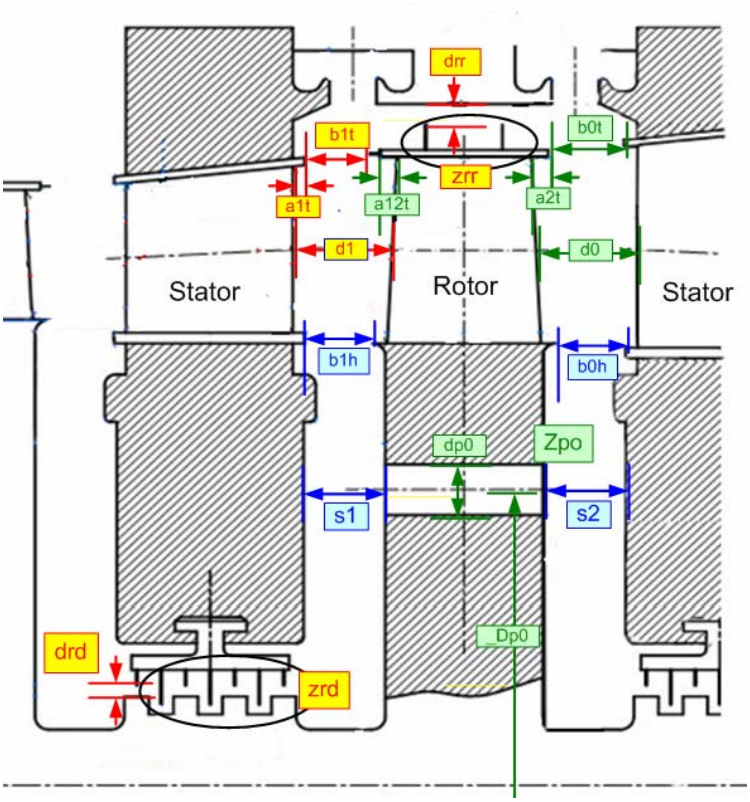


Рисунок **27.** Полный набор зазоров для выполнения расчета баланса утечек

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

9.1.4 Ввод дополнительных параметров зазоров

Дополнительные параметры зазоров, необходимые для расчета баланса утечек, отмечены в Таблице 1 черным цветом; обязательные параметры выделены красным.

Таблица 1.

		Параметры		Ступень 1	Ступень 2	Ступень 3
1	d0	осевой зазор перед статором посередине	мм	15	90	115
2	d1	осевой зазор перед ротором посередине	мм	30	25	32
3	b0t	открытый зазор перед статором вверху	мм	10	50	85
4	b0h	открытый зазор перед статором у корня	мм	10	45	55
5	b1t	открытый зазор перед ротором вверху	мм	1,4	1,4	1,8
6	b1h	открытый зазор перед ротором у корня	мм	1,4	1,4	1,8
7	a0t	закрытый зазор перед статором вверху	мм	2	2	2
8	a1t	закрытый зазор за статором вверху	мм	41	10	10
9	a12t	закрытый зазор перед ротором вверху	мм	2	2	2
10	a2t	закрытый зазор за ротором вверху	мм	2	2	2
11	s1	ширина передней камеры диска	мм	25	25	30
12	s2	ширина задней камеры диска	мм	30	30	40
13	drd	радиальный зазор диафрагм. уплотнения	мм	0,03	0,9	0,9
14	Zrd	количество уплотнений диафрагмы	-	50	14	14
15	drr	радиальный зазор уплотнения над бандажем	мм	1,3	1,3	1,6
16	Zrr	количество уплотнений бандажа	-	6	3	3
19	Dpo_	диаметр расположения разгрузочных отверстий	мм	1350	1350	1350
20	dpo	диаметр разгрузочных отверстий	мм	25	25	25
21	Zpo	количество разгрузочных отверстий	-	7	7	7

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

9.1.5 Настройка солвера 1D2D

Для проведения расчета баланса утечек, количество итераций расчета утечек должно быть >0.
Чтобы получить более точные результаты через экстраполяцию результатов по среднему сечению у корня и на периферии, нужно выставить флаг решения по среднему сечению.

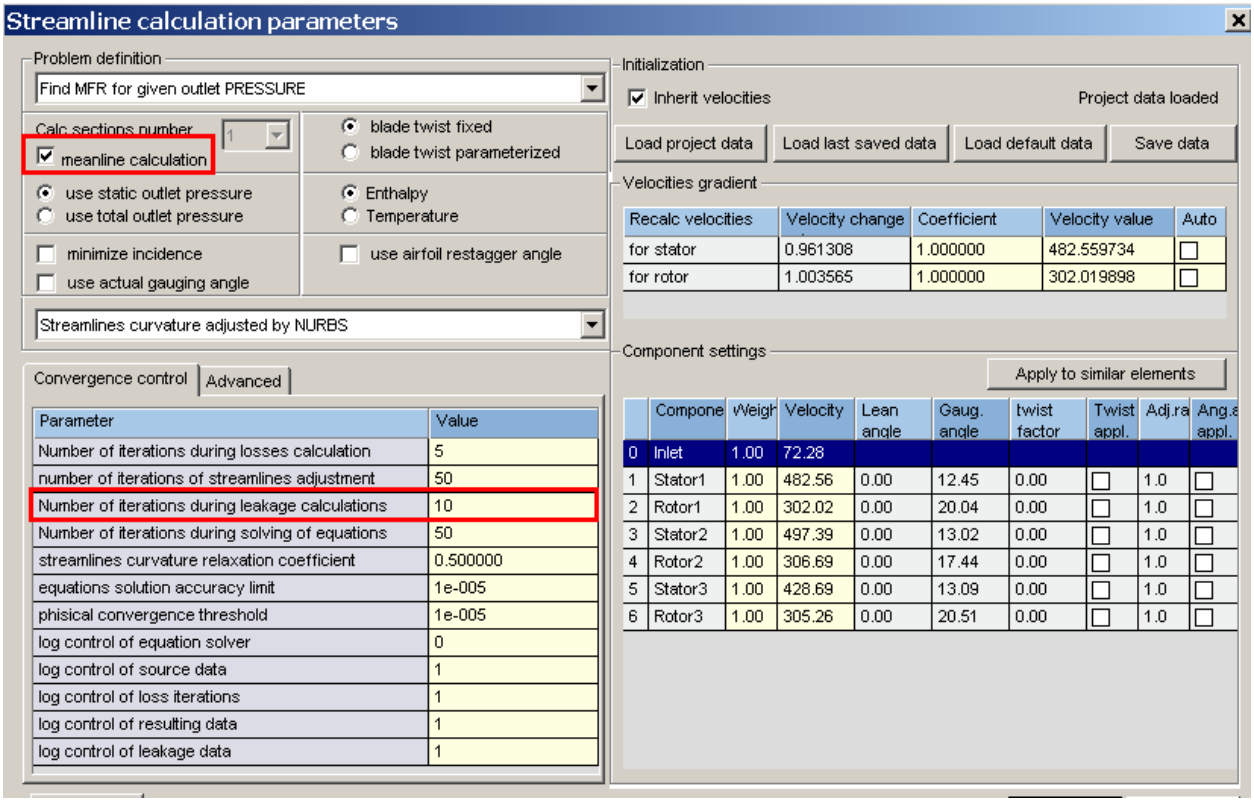
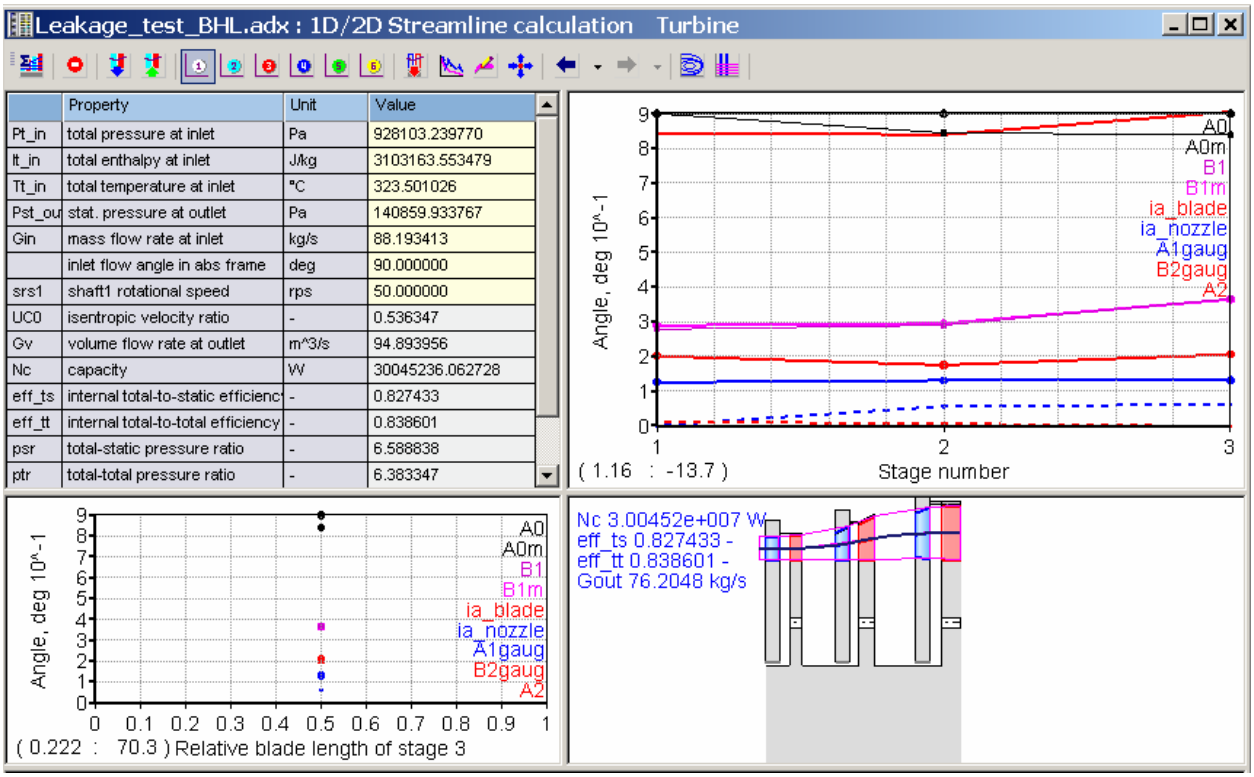


Рисунок **28.** Настройка солвера 1D2D для расчета баланса утечек

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

9.1.6 Результаты решения



	Property	Unit	Value
Pt_in	total pressure at inlet	Pa	928103.239770
It_in	total enthalpy at inlet	J/kg	3103163.553479
Tt_in	total temperature at inlet	°C	323.501026
Pst_ou	stat. pressure at outlet	Pa	140859.933767
Gin	mass flow rate at inlet	kg/s	88.193413
	inlet flow angle in abs frame	deg	90.000000
srs1	shaft1 rotational speed	rps	50.000000
UC0	isentropic velocity ratio	-	0.536347
Gv	volume flow rate at outlet	m^3/s	94.893956
Nc	capacity	W	30045236.062728
eff_ts	internal total-to-static efficienc	-	0.827433
eff_tt	internal total-to-total efficiency	-	0.838601
psr	total-static pressure ratio	-	6.588838
ptr	total-total pressure ratio	-	6.383347

Рисунок **29.** Результаты расчета баланса утечек, выведенные солвера 1D2D ем

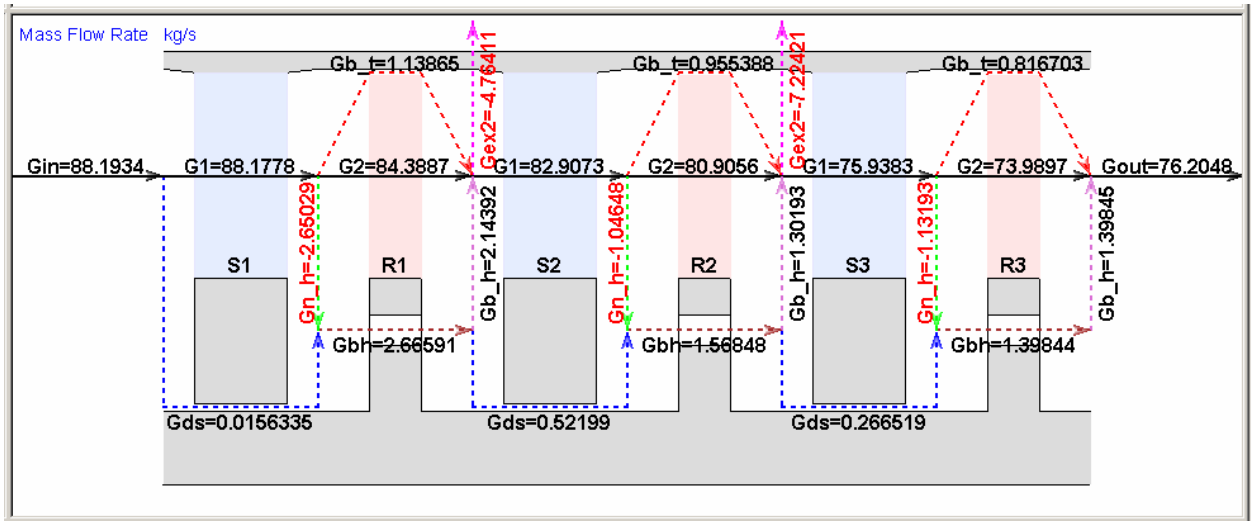


Рисунок **30.** График баланса утечек

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

9.2 Пример 2. Простой расчет

9.2.1 Объем и содержание работ

- Установить дополнительные линии тока для проточной части по среднему сечению.
- Произвести расчет баланс утечек для трехступенчатой ЦВД с разгрузочными отверстиями.

9.2.2 Исходные данные

Проект ***GT-210-1D.adx***

9.2.3 Особенности проекта

Для расчетов с солвера 1D2D ем необходимо одинаковое количество сечений по высоте для всех ступеней. Система AxSTREAM позволяет регулировать количество сечений по высоте, благодаря чему можно

- Задать одинаковое количество сечений для всех ступеней
- Применить одинаковый закон закрутки ко всем ступеням или сохранить уже существующий
- Изменить количество сечений и/или коэффициент закрутки для определенной ступени

Функция изменения количества сечений вызывается из контекстного меню турбины и ступени.

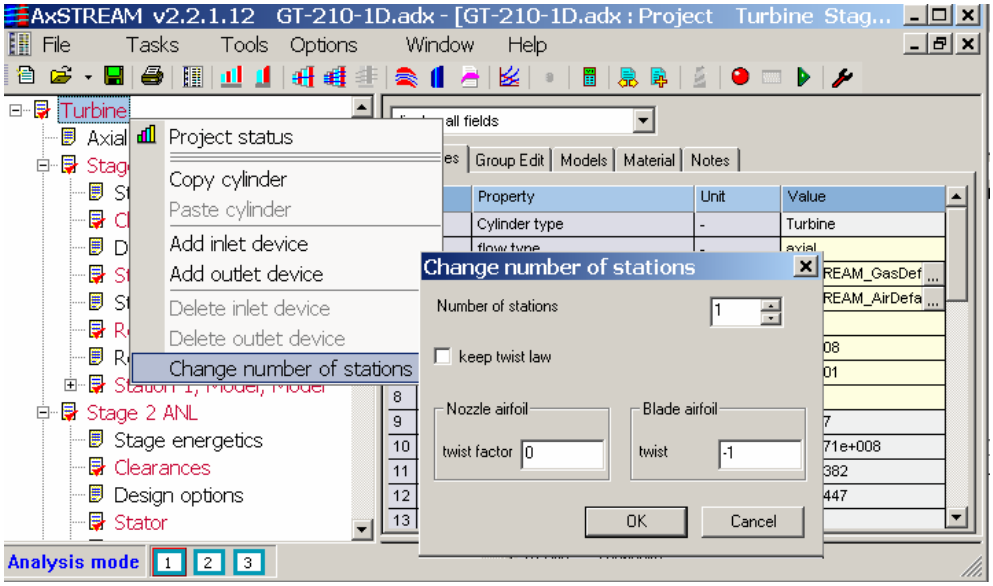


Рисунок **31.** Изменение количества сечений во всей проточной части

Внимание: Регулирование коэффициента закрутки проводится в режиме Анализа и недоступно в режиме Проектирования

Внимание: Количество сечений должно быть выставлено таким образом, чтобы, при необходимости, можно было уменьшить размеры. Например: 3,5,9,17,..

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

9.2.4 Настройка проекта

Увеличить количество сечений по высоте для всех ступеней до 9, с коэффициентом закрутки сопел равным 0 и коэффициентом закрутки лопатки 1.

9.2.5 Настройка солвера 1D2D

Для проведения расчета необходимо

- Задать максимальное количество отсеков (сечений)
- Выбрать значение кривизны линий тока, кроме «заданной по умолчанию»
- Установить необходимое количество итераций регулирования линий тока

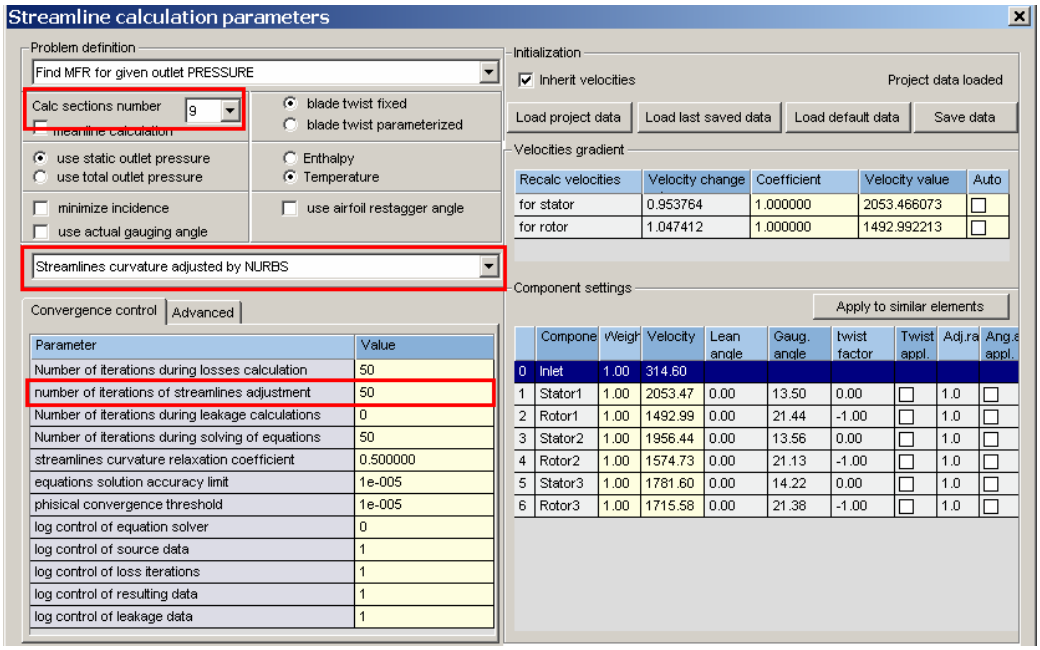


Рисунок **32.** Начальные настройки солвера 1D2D

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

9.2.6 Результаты решения

Для наблюдения за процедурой решения нужно открыть окно процесса сходимости.

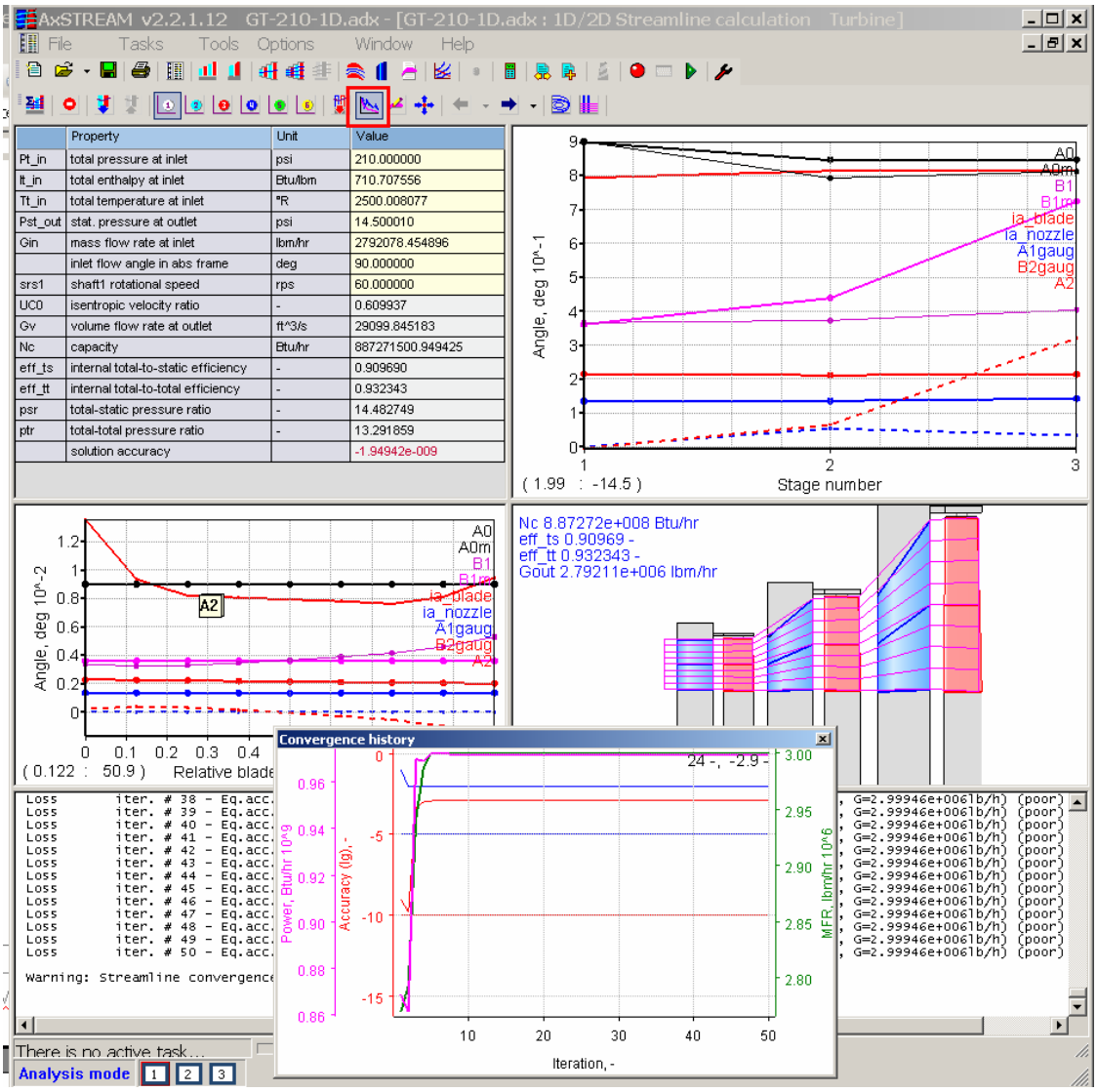


Рисунок **33.** Первый этап работы солвера 1D2D – сходимости нет

Расчет зависит от параметров релаксации в большей степени, чем расчет по среднему сечению. Первый этап работы солвера 1D2D был неудачным вследствие слишком высокого коэффициента релаксации.
Для получения решения необходимо уменьшить коэффициент релаксации линии тока или коэффициент релаксации потерь (в таблице Сложных задач).

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

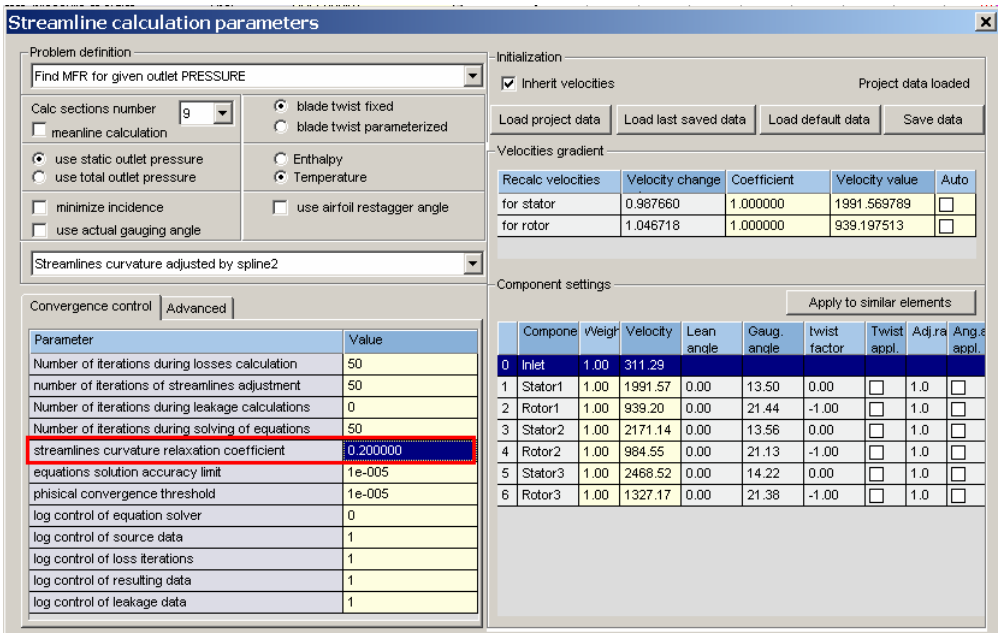


Рисунок **34.** Настройка солвера 1D2D по умолчанию

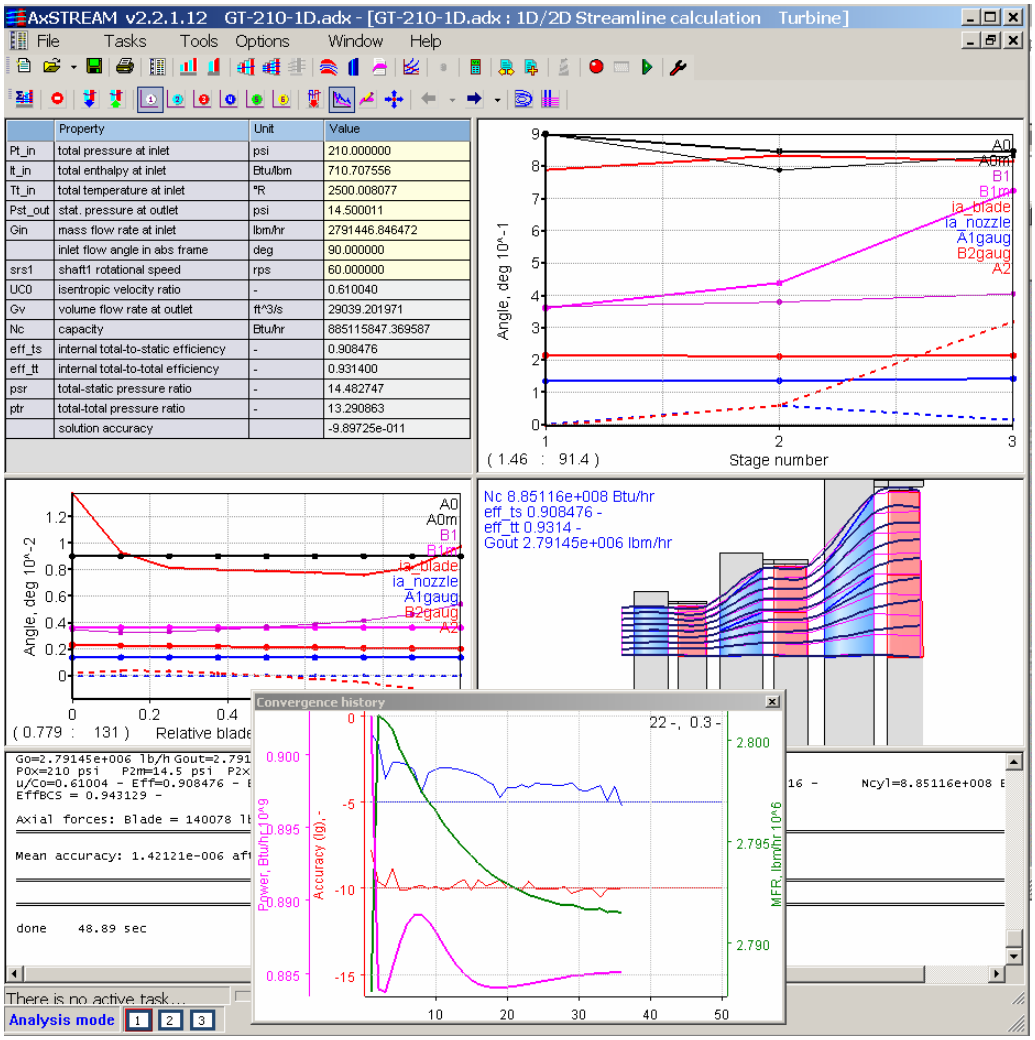
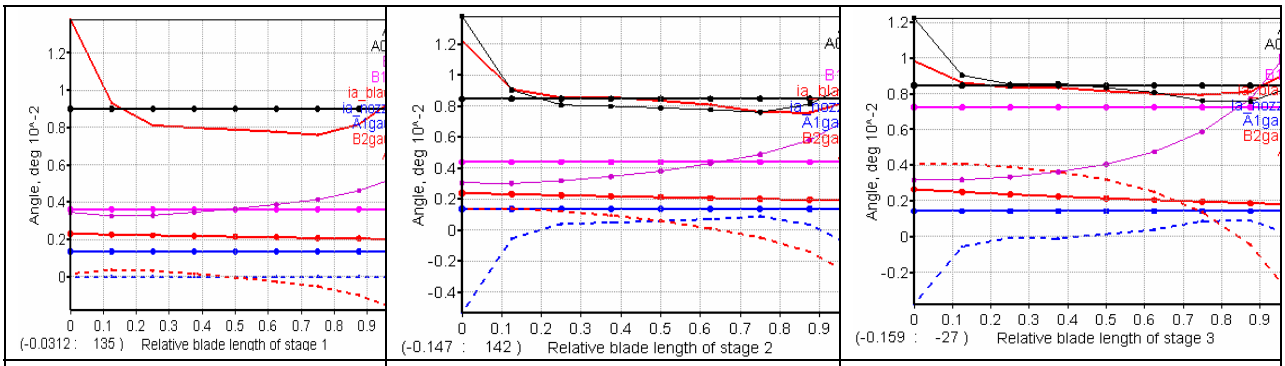


Рисунок **35.** Сходимость расчета

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

9.2.7 Улучшение проточной части

Анализ распределения углов натекания в меридиональном направлении для всех ступеней показывает, что есть большой наклон на 2-ой и 3-ей ступенях.



Ступень 1	Ступень 2	Ступень 3

Рисунок **36.** Распределения углов натекания в меридиональном направлении

Специальная функция солвера 1D2D предназначена для снижения потерь от наклона.

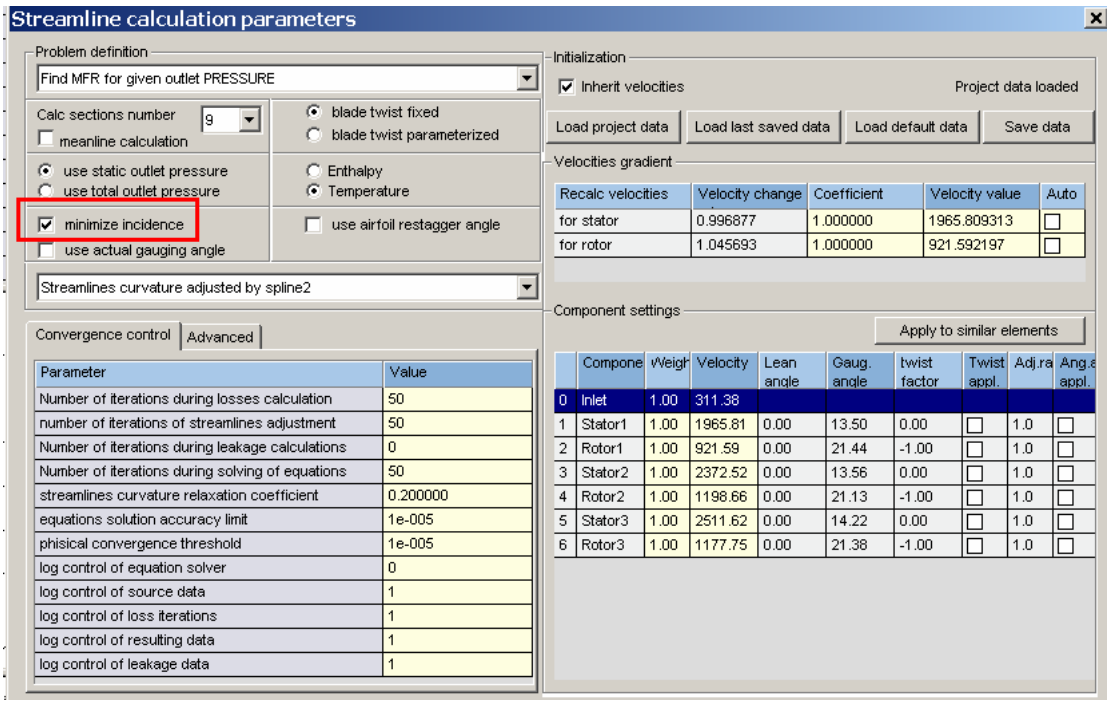


Рисунок **37.** Установка «минимального наклона»

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

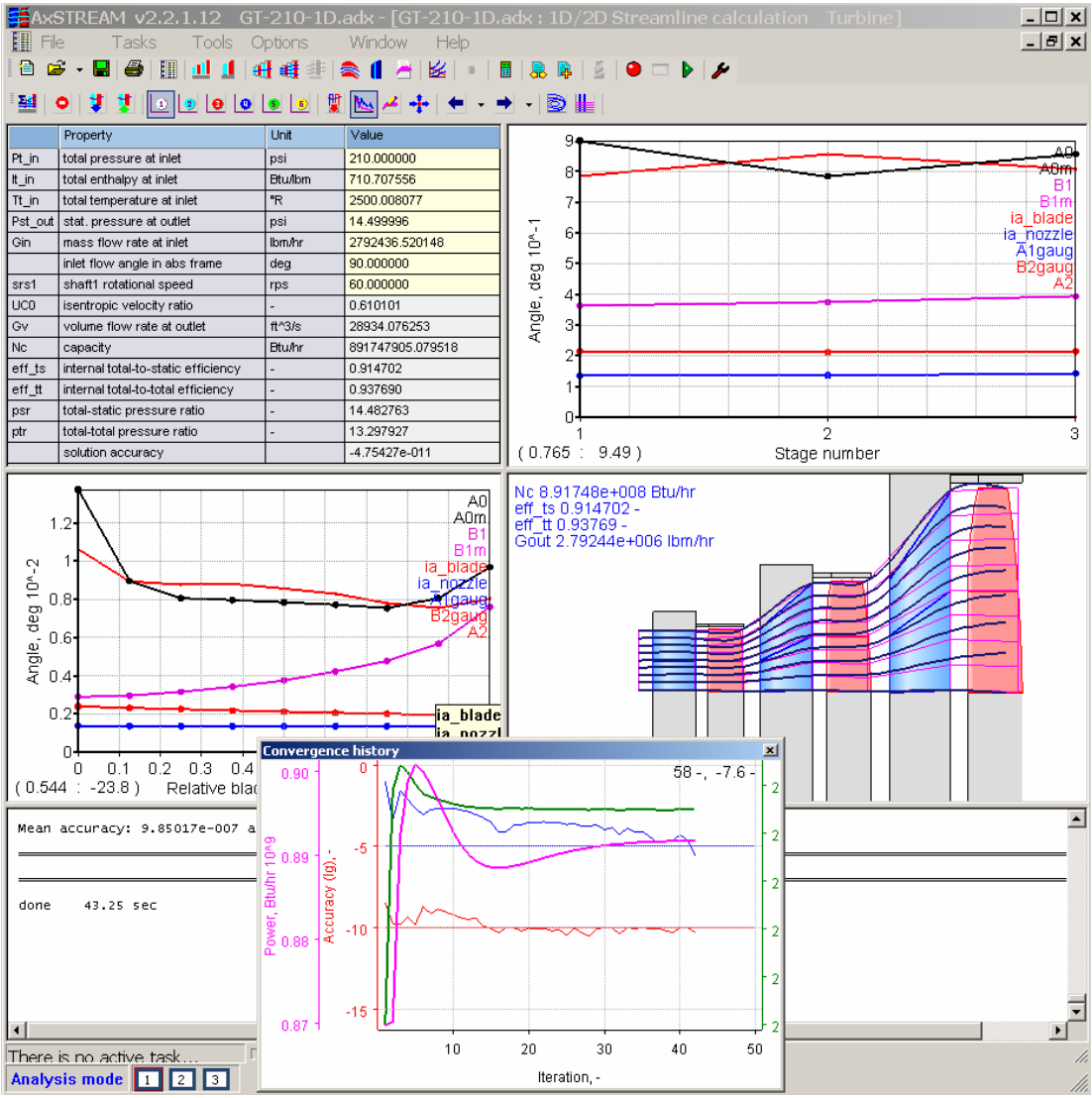
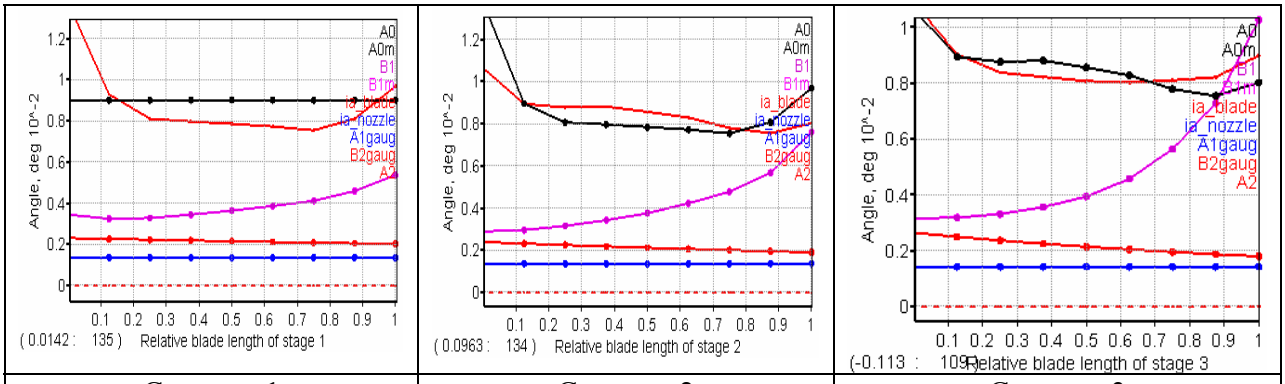


Рисунок **38.** Решение, полученное при использовании функции «минимальный наклон»



Ступень 1	Ступень 2	Ступень 3

Рисунок **39.** Распределения углов натекания в меридиональном направлении после минимизации

Внимание: После минимизации наклона возрастают КПД и мощность.

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

9.3 Пример 3. Оптимизация закрутки методом планирования эксперимента AxPLAN

9.4 Проект SGT-9-2D

9.4.1 Оптимизация закрутки 4-ой ступени для статического КПД

9.4.1.1 Настройка метода планирования эксперимента AxPLAN

В отличие от прежнего солвера 1D2D , настоящий солвера 1D2D ь позволяет использовать разные коэффициенты закрутки для разных рядов ротора/статора. Для активации коэффициента закрутки нужно выставить флаг поворота.

Внимание: Значения коэффициента закрутки появятся в списке переменных AxPLAN только после выставления флага применения закона закрутки.

Для выполнения оптимизации закрутки лопатки в солвера 1D2D е нужно задать такие настройки:

- Оценивание параметров закрутки лопатки
- Флаг применения закона закрутки для Статора 4 и Ротора 4.

Другие настройки не являются обязательными, но будет целесообразнее их выставить. Для сокращения процесса расчета выставленное количество отсеков (сечений) уменьшено до 5.

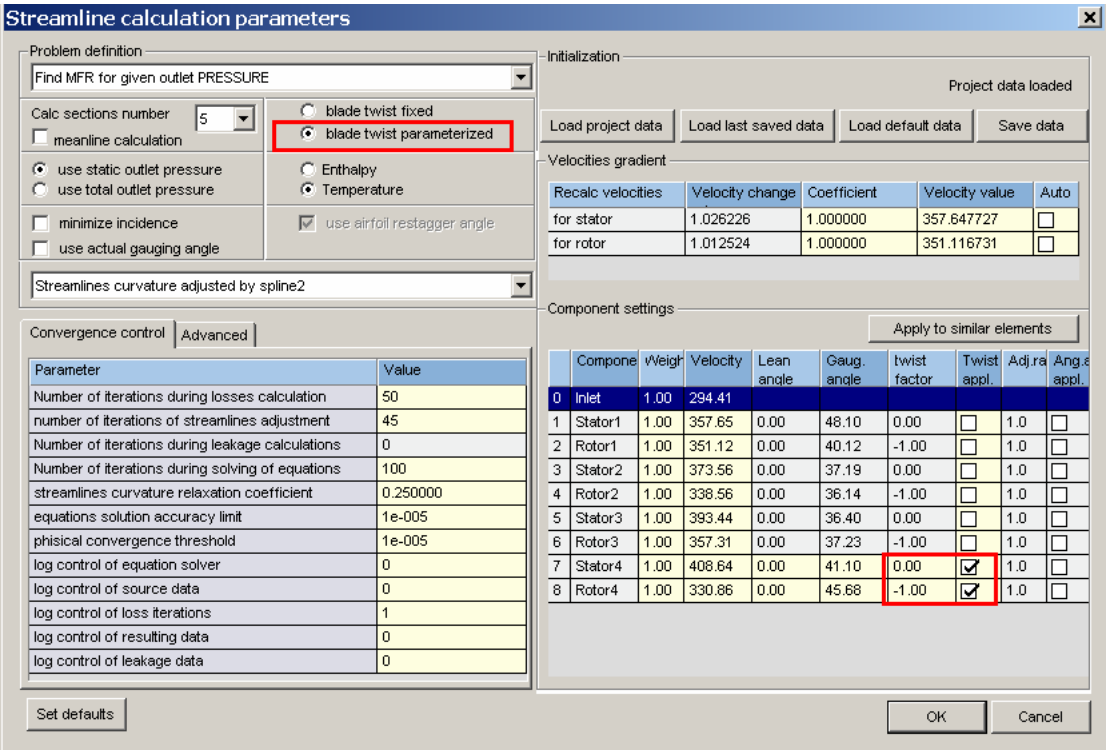


Рисунок **40.** Настройки солвера 1D2D для оптимизации закрутки 4-ой ступени методом планирования эксперимента AxPLAN

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

Коэффициенты закрутки для Статора 4 и Ротора 4 выставляются как переменные метода планирования эксперимента. Объектом метода является мощность турбины (цилиндра) по полным—статическим параметрам КПД.

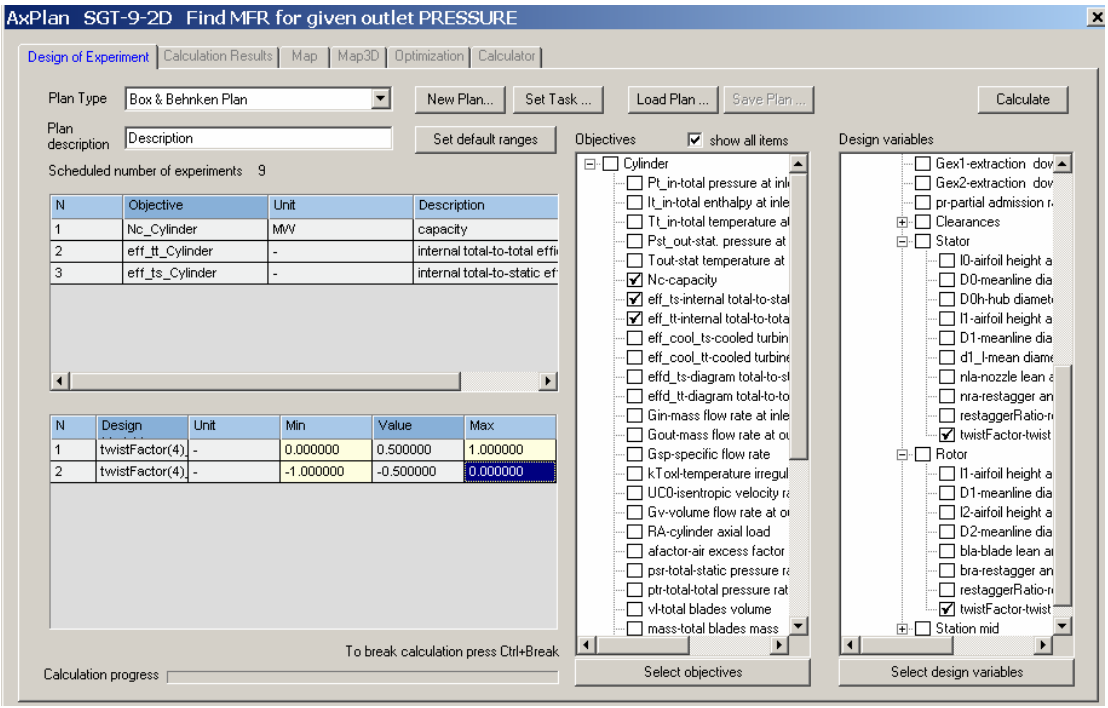


Рисунок **41.** Настройка начальных переменных и объектов для оптимизации закрутки 4-ой ступени методом планирования эксперимента AxPLAN

Во время проведения оптимизации методом планирования эксперимента необходимо задать такие настройки переменных, которые способствовали бы максимальной мощности.

Благодаря своей интерактивной функции, система AxSTREAM позволяет определить диапазон поиска в интерактивной режиме.

Удерживая клавишу Ctrl нажатой, потяните угол прямоугольника диапазона, так чтобы максимальное (или любое другое) значение оказалось внутри прямоугольника.

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

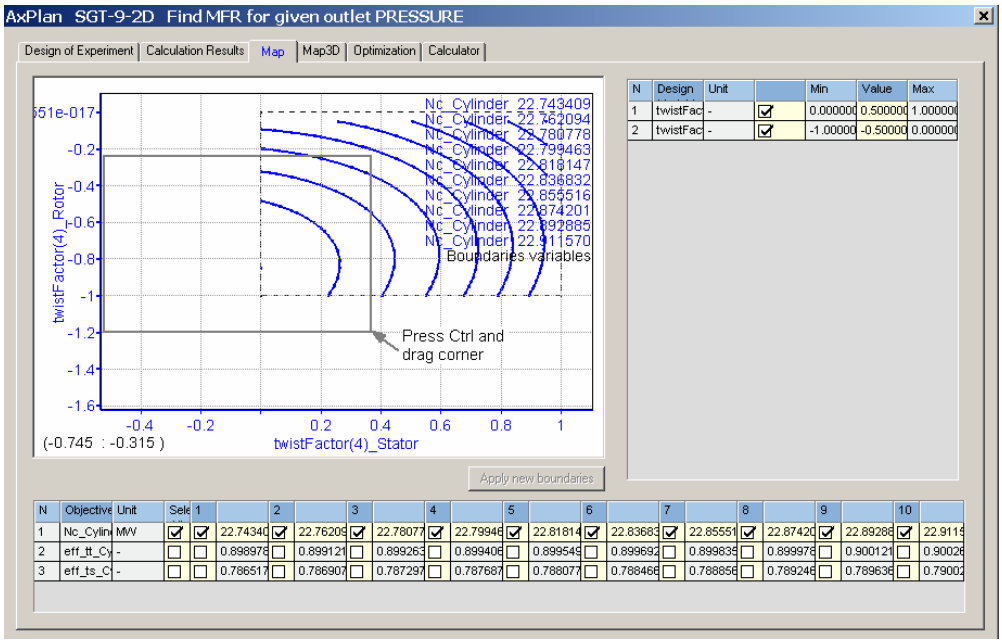


Рисунок **42.** Интерактивный прибор для определения диапазона поиска в интерактивном режиме

После нескольких итераций достигается максимальный КПД

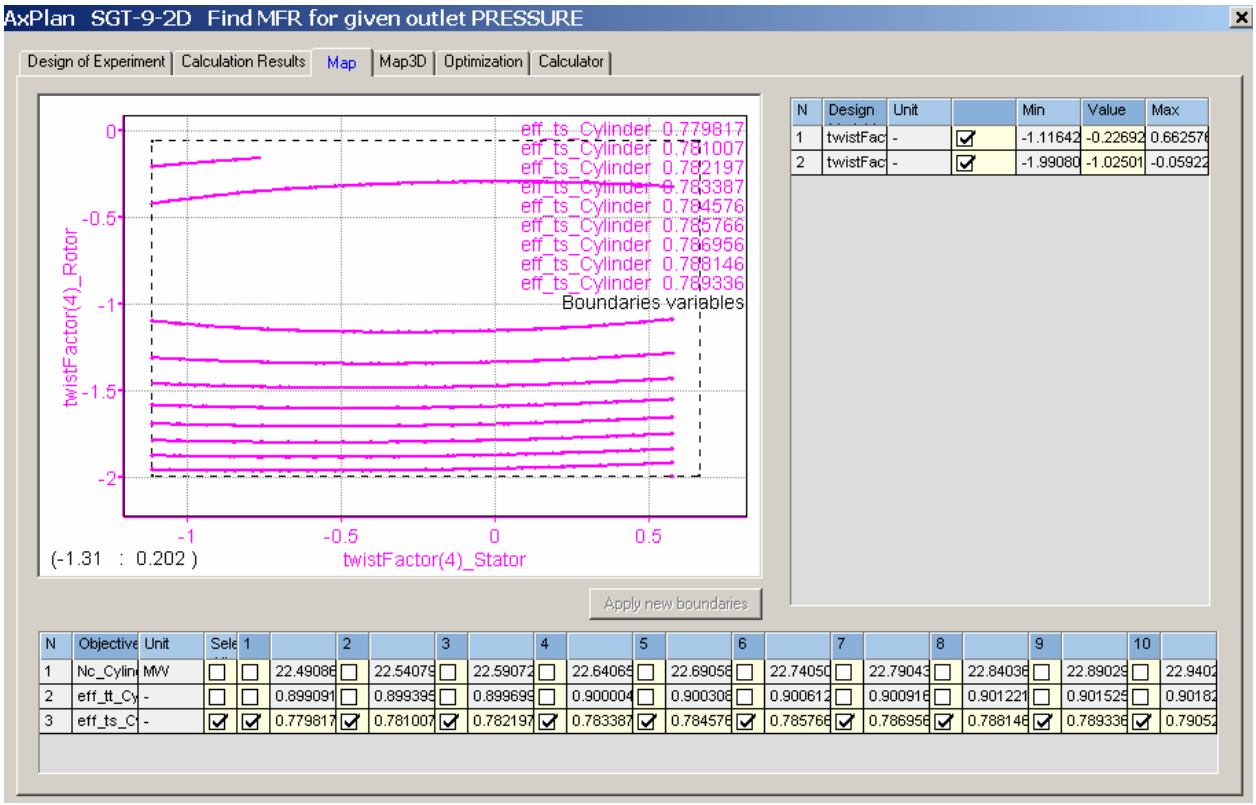


Рисунок **43.** Максимумы расположены внутри окна диаграммы

Конечные диапазоны (next final ranges) выводятся, если у пользователя возникли трудности с интерактивным поиском.

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

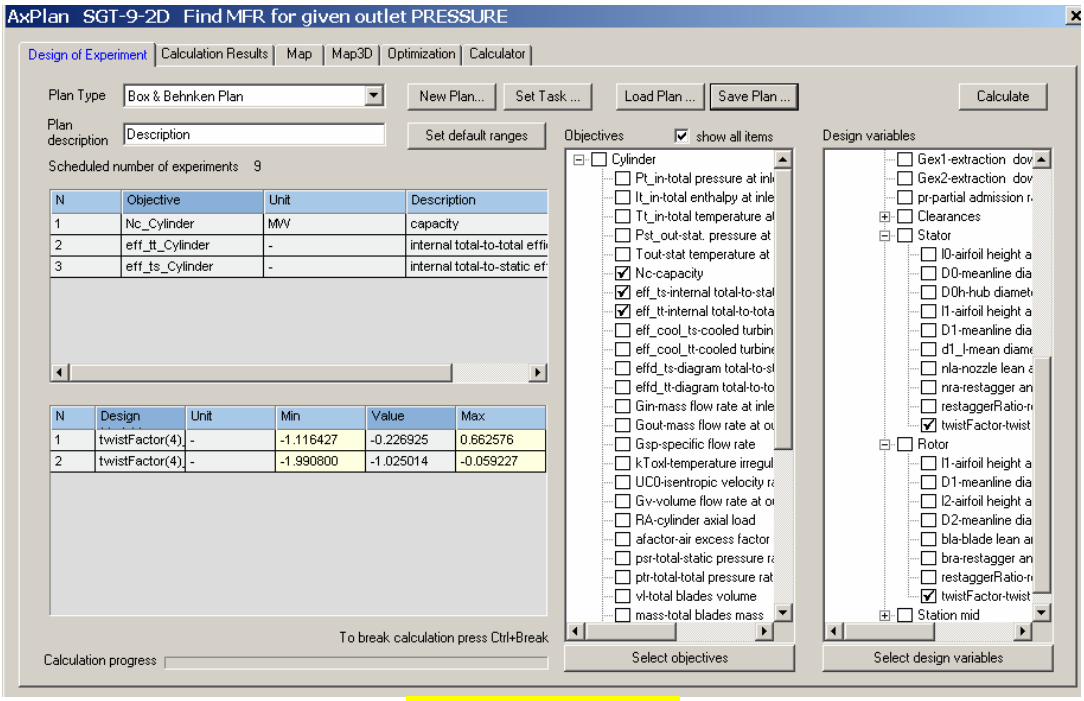


Рисунок **44.** Конечный диапазон переменных

Для просмотра результатов поверхности отклика, созданной посредством оптимизации методом планирования эксперимента, используйте презентацию 3DMap (соответствующая таблица в диалоге AxPLAN)

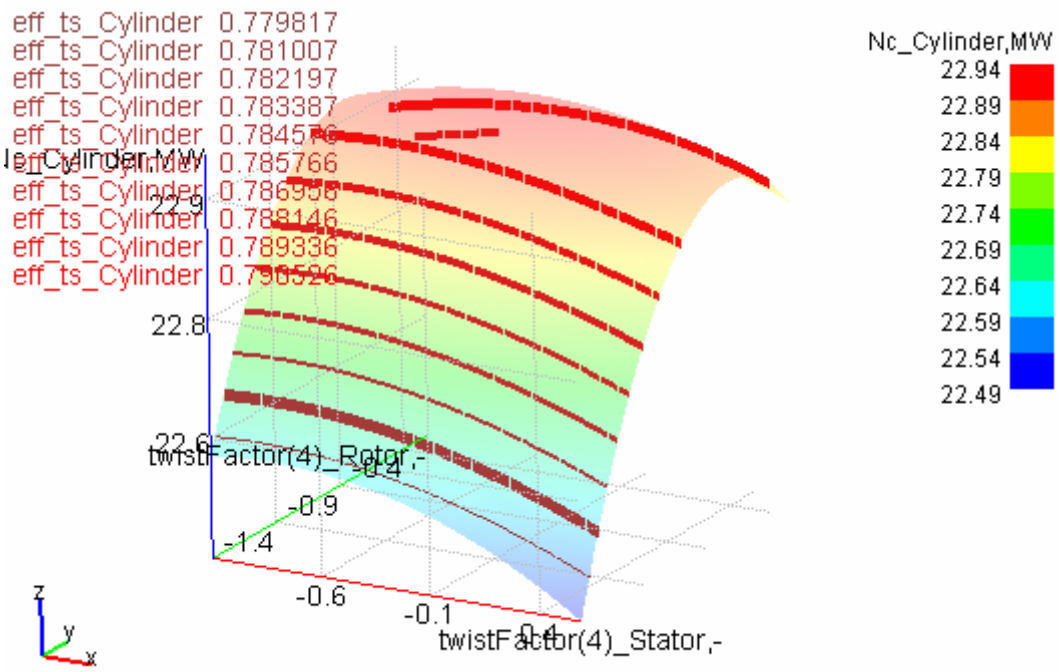


Рисунок **45.** Поверхность отклика мощности с обозначением КПД

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

9.4.2 Оптимизация закрутки 3-ей и 4-ой ступеней для увеличения мощности

9.4.2.1 Настройка оптимизации методом планирования эксперимента AxPLAN

Помимо настроек солвера 1D2D , использованных в предыдущем эксперименте, необходимо также выставить флаги закона применения закрутки для Статора 3 и Ротора 3.

Component settings

Apply to similar elements

	Compone	Weigh	Velocity	Lean angle	Gaug. angle	twist factor	Twist appl.	Adj.ra	Ang.a appl.
0	Inlet	1.00	294.41				☐		☐
1	Stator1	1.00	357.65	0.00	48.10	0.00	☐	1.0	☐
2	Rotor1	1.00	351.12	0.00	40.12	-1.00	☐	1.0	☐
3	Stator2	1.00	373.56	0.00	37.19	0.00	☐	1.0	☐
4	Rotor2	1.00	338.56	0.00	36.14	-1.00	☐	1.0	☐
5	Stator3	1.00	393.44	0.00	36.40	0.00	☑	1.0	
6	Rotor3	1.00	357.31	0.00	37.23	-1.00	☑	1.0	☐
7	Stator4	1.00	408.64	0.00	41.10	0.00	☑	1.0	☐
8	Rotor4	1.00	330.86	0.00	45.68	-1.00	☑	1.0	☐

Рисунок **46.** Настройка солвера 1D2D для оптимизации закрутки 3-ей и 4-ой ступени методом планирования эксперимента

AxPlan SGT-9-2D Find MFR for given outlet PRESSURE

Design of Experiment | Calculation Results | Map | Map3D | Optimization | Calculator

Plan Type: Box & Behnken Plan — New Plan... — Set Task

Plan description: Description — Set default ranges

Scheduled number of experiments 25

N	Objective	Unit	Description
1	Nc_Cylinder	MW	capacity
2	eff_tt_Cylinder	-	internal total-to-total effi
3	eff_ts_Cylinder	-	internal total-to-static ef

N	Design	Unit	Min	Value	Max
1	twistFactor(4)	-	0.000000	0.500000	1.000000
2	twistFactor(3)	-	-1.000000	-0.500000	0.000000
3	twistFactor(3)	-	0.000000	0.500000	1.000000
4	twistFactor(4)	-	-1.000000	-0.500000	0.000000

Рисунок **47.** Начальная настройка переменных и объектов

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

9.4.2.2 Интерактивный поиск максимумов

Поскольку оптимизация методом планирования эксперимента проводится для двух пар переменных, диапазоны поиска для каждой пары (ступени) нужно настраивать вручную: выберите соответствующие переменные в верхней таблице справа.

Внимание: После настройки диапазонов для 3-ей и 4-ой ступеней нажмите кнопку «Применить новые границы».

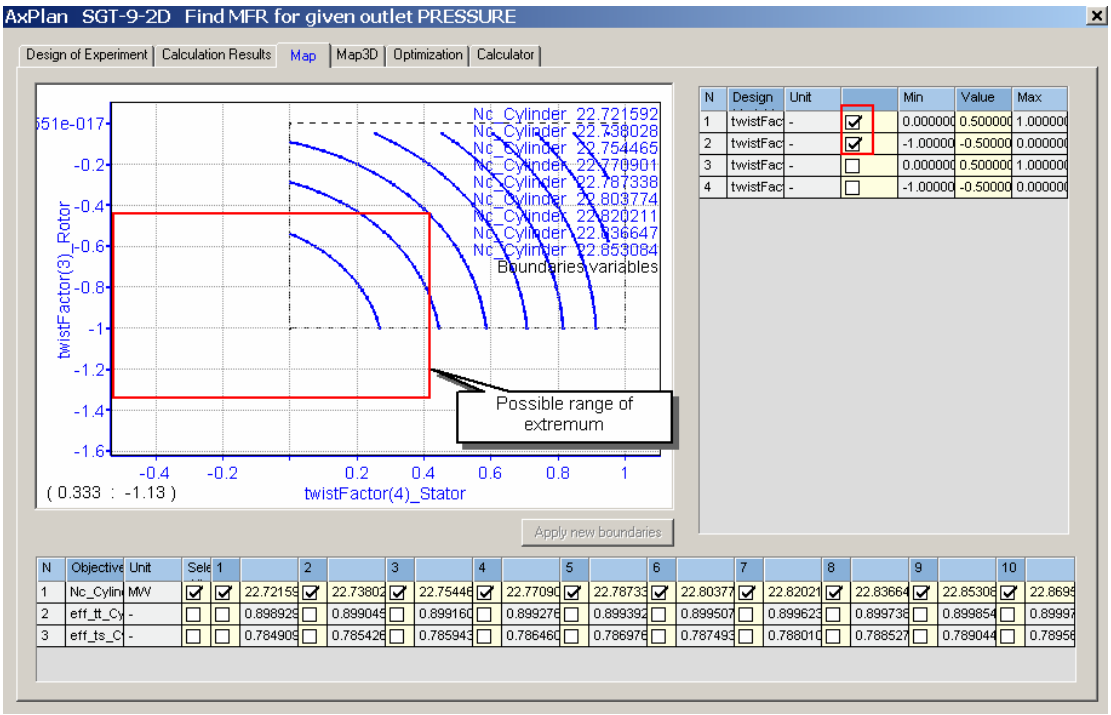


Рисунок **48.** Настройка диапазонов поиска для закрутки 3-ей и 4-ой ступеней

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

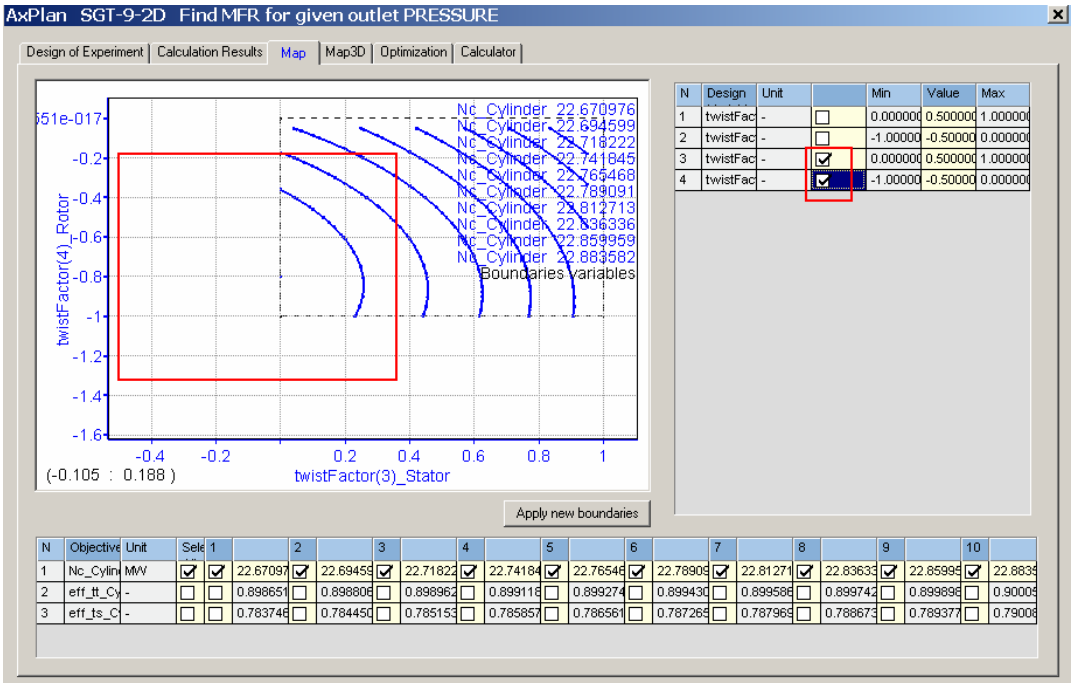


Рисунок **49.** Настройка диапазонов поиска для закрутки 4-ой ступени

После настройки обоих диапазонов и применения новых границ необходимо повторно провести вычисления. После вычислений снова проводится настройка, до тех пор, пока максимумы для обеих ступеней не будут отображены в пределах окна диаграммы AxPLAN.

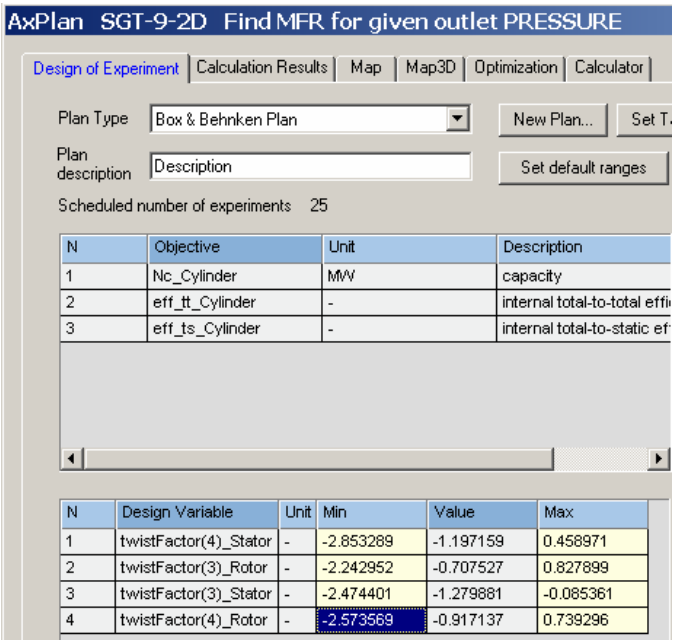


Рисунок **50.** Конечная настройка диапазонов переменных

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

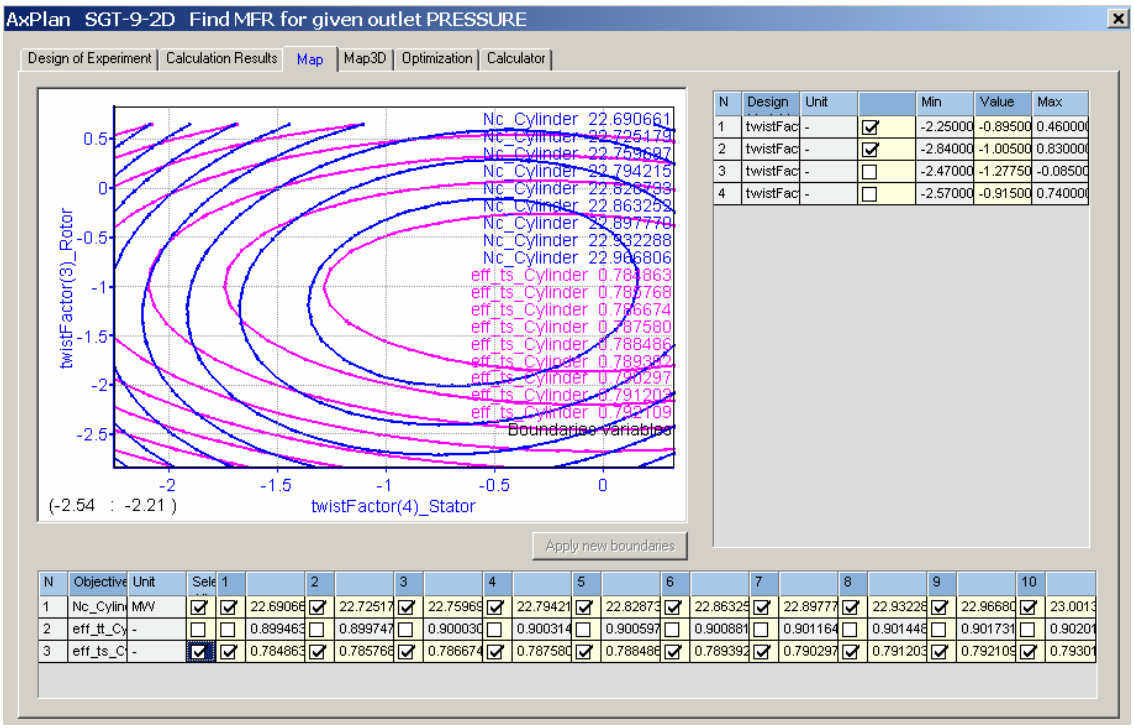


Рисунок **51.** Максимумы параметров 3-ей ступени расположены внутри окна диаграммы

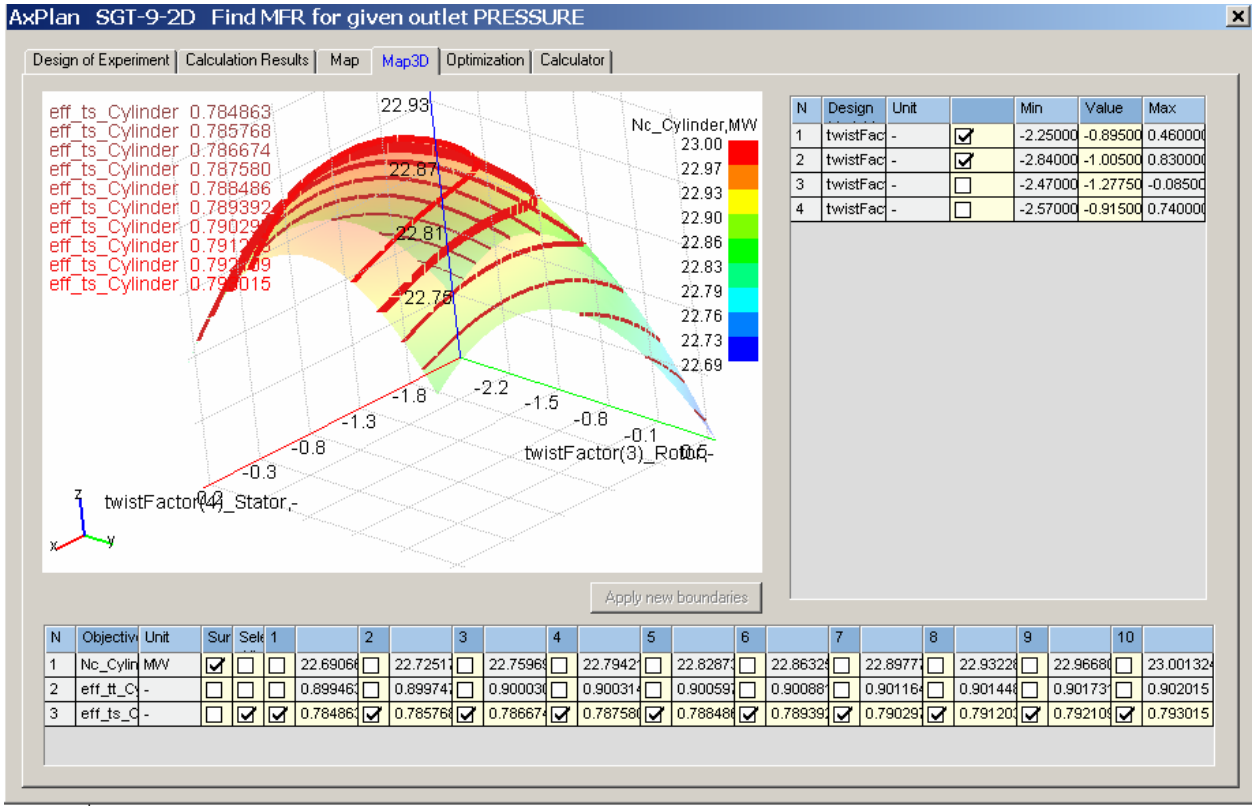


Рисунок **52.** Поверхность отклика мощности для закрутки 3-ей ступени с линиями КПД

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

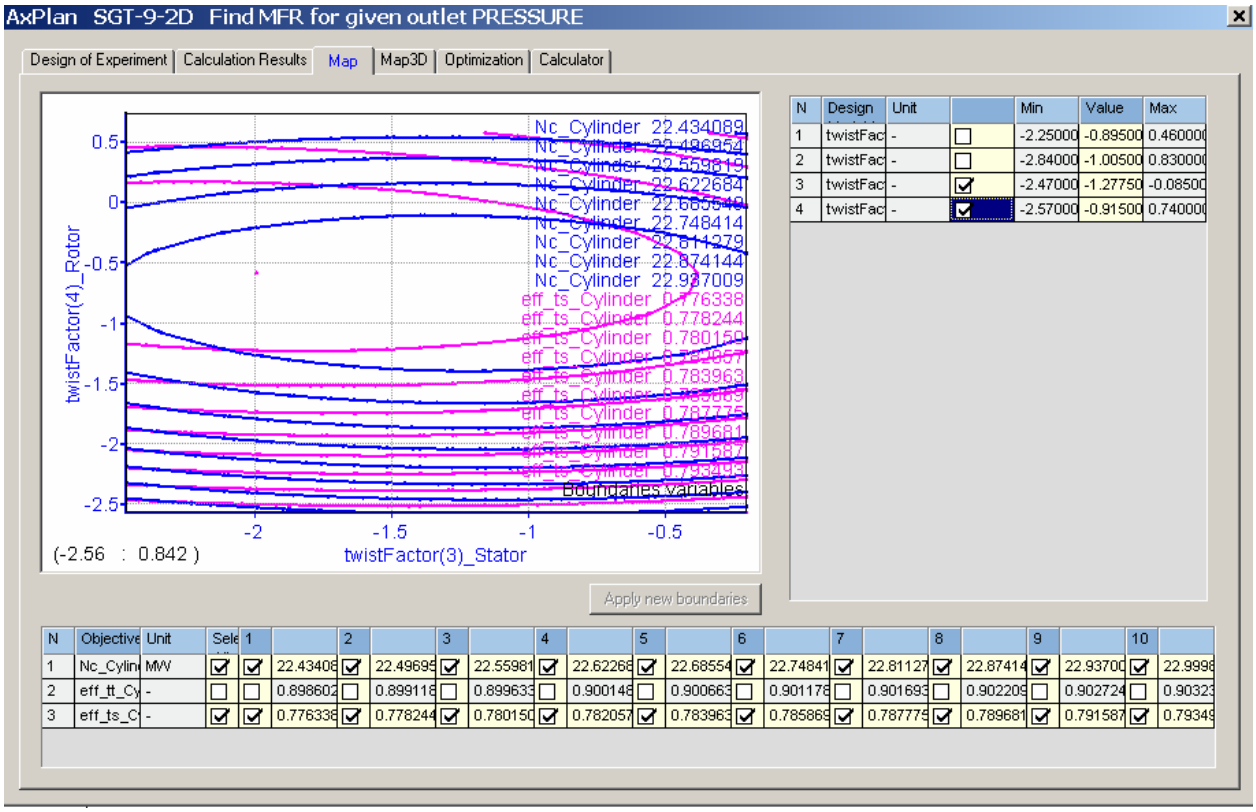


Рисунок **53.** Максимумы параметров 4-ой ступени расположены внутри окна диаграммы

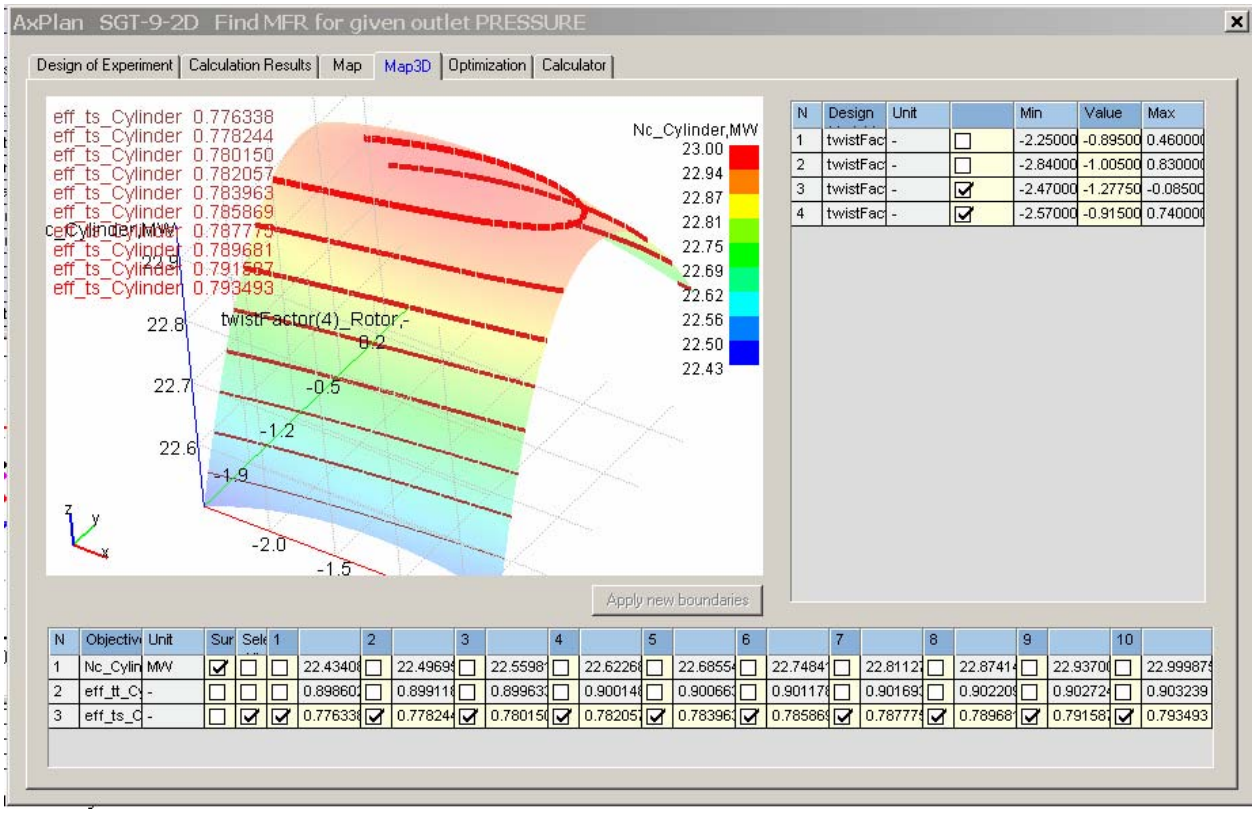


Рисунок **54.** Поверхность отклика мощности для закрутки 4-ой ступени с линиями КПД

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

9.4.2.3 Оптимизация с помощью поверхности отклика, полученной методом планирования эксперимента

Система AxSTREAM включает автоматических поиск максимумов с помощью поверхностей отклика, полученных в результате проведения эксперимента.

AxPlan SGT-9-2D Find MFR for given outlet PRESSURE

Design of Experiment | Calculation Results | Map | Map3D | Optimization | Calculator

Parameters | Objective Functions | Design Variables | Solutions

N	Objective	Unit		Weight	Min	Max
1	Nc_Cylinder	MW	☑	0.333333	22.356024	22.995918
2	eff_tt_Cylinder	-	☐	0.000000	0.897826	0.903525
3	eff_ts_Cylinder	-	☐	0.000000	0.771392	0.793284

Рисунок **55.** Настройка целевых функций для поиска максимума мощности

AxPlan SGT-9-2D Find MFR for given outlet PRESSURE

Design of Experiment | Calculation Results | Map | Map3D | Optimization | Calculator

Parameters | Objective Functions | Design Variables | Solutions

N	Design Variable	Unit	Min	Max
1	twistFactor(4)_Stator	-	-2.250000	0.460000
2	twistFactor(3)_Rotor	-	-2.840000	0.830000
3	twistFactor(3)_Stator	-	-2.470000	-0.085000
4	twistFactor(4)_Rotor	-	-2.570000	0.740000

Рисунок **56.** Настройка переменных для поиска максимума мощности

После проведения оптимизации система AxSTREAM выводит на поверхности отклика 5 лучших результатов, найденных случайным поиском.

AxPlan SGT-9-2D Find MFR for given outlet PRESSURE

Design of Experiment | Calculation Results | Map | Map3D | Optimization | Calculator

Parameters | Objective Functions | Design Variables | Solutions

N	Objective	Unit	1	2	3	4	5
1	Nc_Cylinder	MW	23.006657	23.006063	23.006063	23.004875	23.004417
2	eff_tt_Cylinder	-	0.900172	0.900168	0.900168	0.900158	0.900247
3	eff_ts_Cylinder	-	0.793239	0.793214	0.793214	0.792967	0.793267
4	twistFactor(4)_S	-	-0.502411	-0.656237	-0.656237	-0.480577	-0.454319
5	twistFactor(3)_R	-	-0.924920	-1.113528	-1.113528	-1.008248	-0.877825
6	twistFactor(3)_S	-	-1.236668	-1.177567	-1.177567	-1.024137	-1.336928
7	twistFactor(4)_R	-	-0.750854	-0.662366	-0.662366	-0.787218	-0.793532

Рисунок **57.** Пять лучших результатов, найденных случайным поиском, на поверхности отклика

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

9.5 Конструирование проточной части со стандартным призматическим набором лопаток

9.5.1 Введение

Стандартизация проточной части многоступенчатой турбины (цилиндра) объясняет распространенность ПЧ с лопатками с ограниченным количеством типов профилей (одинаковые профили). Причем, можно стандартизировать как всю турбину целиком, так и ее отдельные отсеки, в случае если первый вариант окажется нецелесообразным из-за больших потерь в КПД. Лопаточные венцы статора и ротора ПЧ стандартизованной турбины/отсека могут состоять либо из одного типа профиля (для реактивной турбины), либо из двух типов профилей – ротора и статора (для активной турбины). Однако это двойственная задача. С одной стороны, стандартизация упрощает и делает дешевле весь производственный цикл турбины, от проектирования до пробной эксплуатации, но с другой стороны, подобный подход неизбежно ведет к снижению КПД турбины.

Солвера 1D2D ь AxSTREAM позволяет точно определить все преимущества и недостатки стандартизации лопаток.

Одним из принятых в турбомашиностроении методов стандартизации ПЧ является соблюдение единого диаметра у корня во всей турбине или в одном из ее отсеков. В этом случае лопаточные венцы статора и ротора сформированы с одинаково обрезанной лопаткой (чаще всего призматической).

При этом степень реактивности у корня и эффективный угол выхода, также как и количество лопаток в венцах, одинаковы для всей ПЧ. Как правило, при повышении высоты лопатки, угол натекания в среднем сечении профилей может доходить до недопустимых пределов. То же самое касается и движения угла натекания в меридиональном направлении. Поскольку угол вращения потока в решетках определяет допустимые значения для данного параметра, количество ступеней с одинаковыми лопатками может возрасти, в том случае если наблюдается меньшее расширение ПЧ при увеличении степени реактивности у корня.

Если проточная часть не состоит из одинаковых ступеней, рекомендуется разделить турбину на отсеки. Таким образом, в каждом отдельном отсеке будут идентичные друг другу ступени. В более сложных конструкциях стандартизованной ПЧ только лопатки статора являются призматическими. Лопатки ротора, сформированные одним профилем, либо закручены, либо имеют одно поперечное сечение, что достигается с помощью обрезки.

В следующих двух разделах будут рассмотрены оба случая:

- Стандартные профили из базы данных ATLAS используются для конструирования призматической лопатки.
- Стандартная лопатка с завихрением сконструирована с помощью пользовательских профилей.

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

9.5.2 Предварительное проектирование проточной части со стандартными лопатками, сконструированными с помощью стандартных профилей

Для проектирования ПЧ со стандартным набором лопаток напротив *параметра отсека* необходимо выбрать «Ступень давления с постоянной реактивностью».

Выделенные области параметров проектирования являются обязательными при выборе «Ступени давления с постоянной реактивностью».

Проект STB_1_0.adx

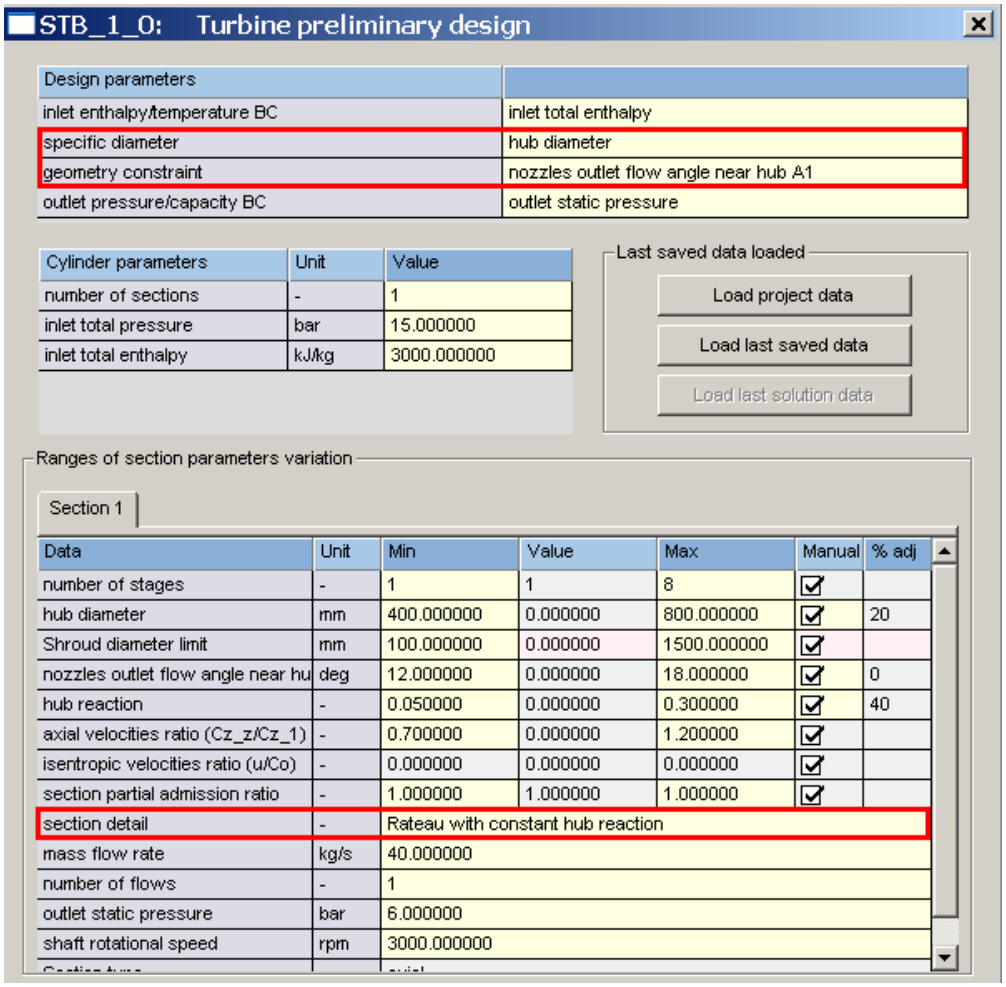


Рисунок 58. Настройки для предварительного проектирования стандартного набора лопаток

.

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

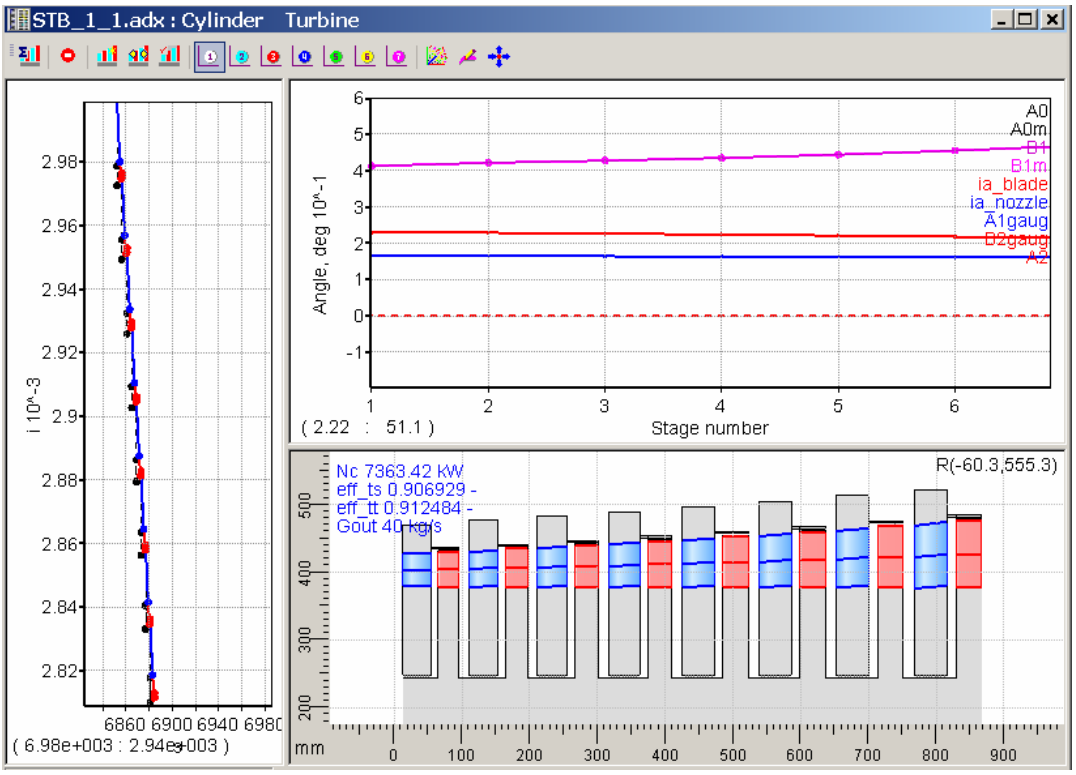


Рисунок 59. Вид проточной части и распределения углов после предварительного проектирования

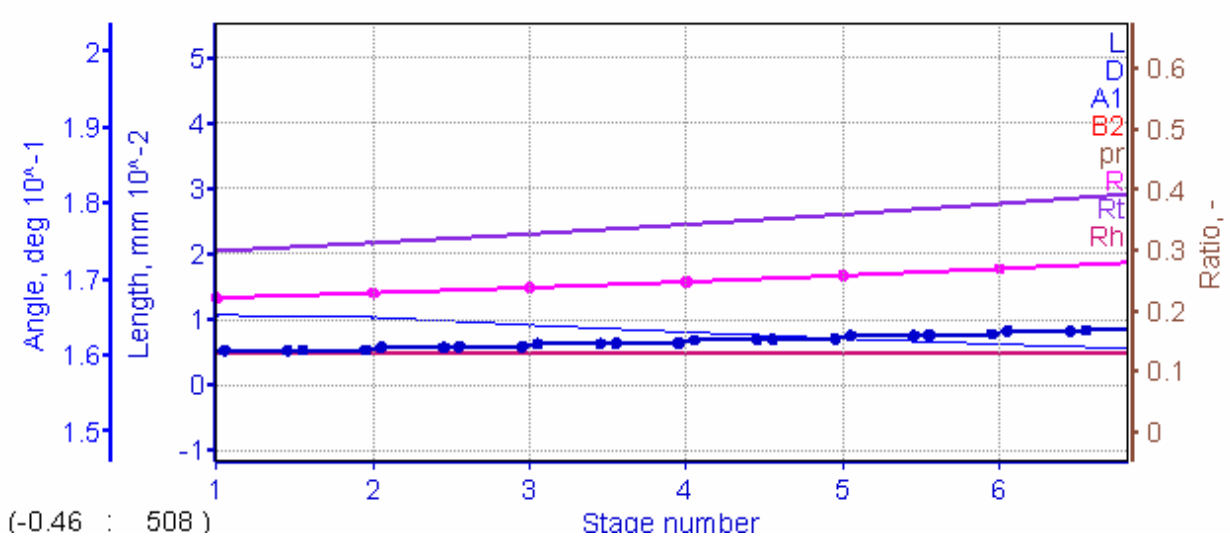


Рисунок 60. Распределение реактивности после предварительного проектирования

На этом этапе проект сохраняется в виде файла STB_1_1.adx

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

9.5.3 Конструирование стандартной ступени

Самые длинные ступени спроектированной ПЧ будут использованы для конструирования стандартной ступени, которая позже будет использована для заполнения области ПЧ.

Внимание: Начиная с этого пункта все шаги выполняются в режиме Анализа

Процедура включает следующие шаги:

- Перейдите в режим Анализа;
- Увеличьте количество отсеков в последней ступени, оставив ее призматической;
- Задайте стандартный профиль для корневого отсека как *Настройка _измерения*
- Выберите *Настройка_ поворота* для корневого отсека
- Перенесите настройки корневого отсека в области других отсеков

9.5.3.1 Увеличение количества отсеков

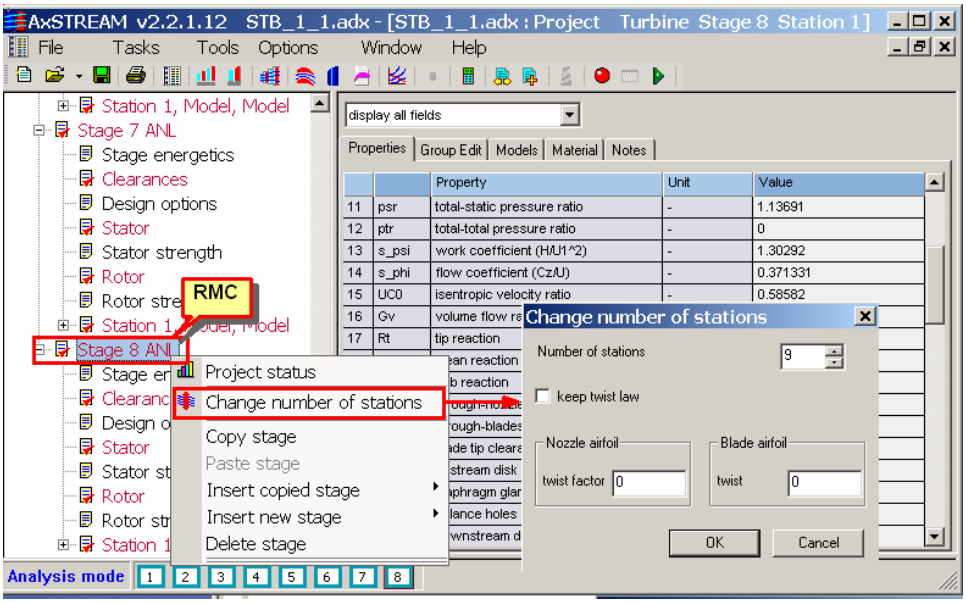


Рисунок 61. Увеличение количества сечений в последней ступени

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

9.5.3.2 Выбор стандартных профилей в базе данных ATLAS

Для выбора подходящих стандартных профилей необходимо воспользоваться базами данных ATLAS. В данном случае нужный профиль находится в DEMO_STB atlas.

Внимание: Профили, использованные в примере ниже, были выбраны только для демонстрации. В реальности необходимо тщательно выбирать профили для обеспечения оптимального наклона.

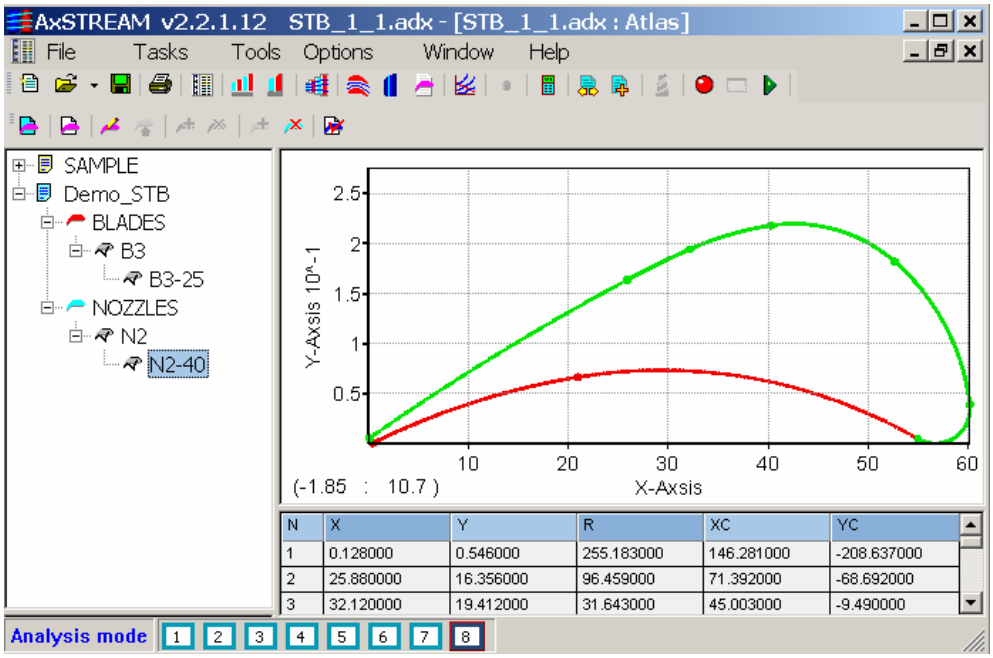


Рисунок 62. Профиль сопла из базы данных ATLAS

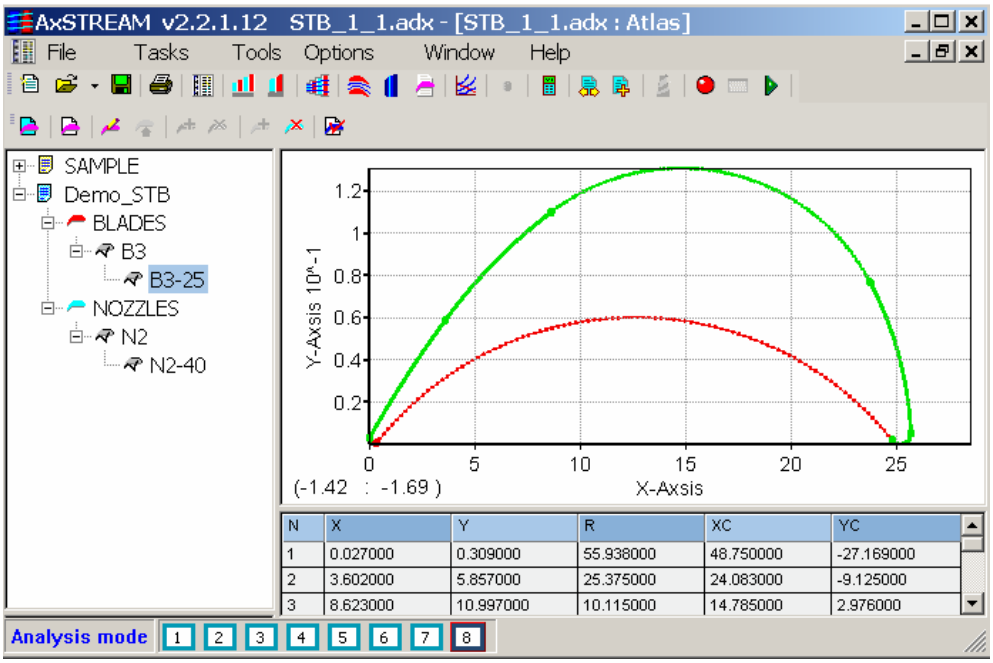


Рисунок 63. Профиль лопатки из базы данных ATLAS

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

9.5.3.3 Использование стандартного профиля для сопловой и рабочей решеток

Задайте стандартный профиль для корневого сечения и прейдите к режиму измерения, сохранив параметры конструирования горла.

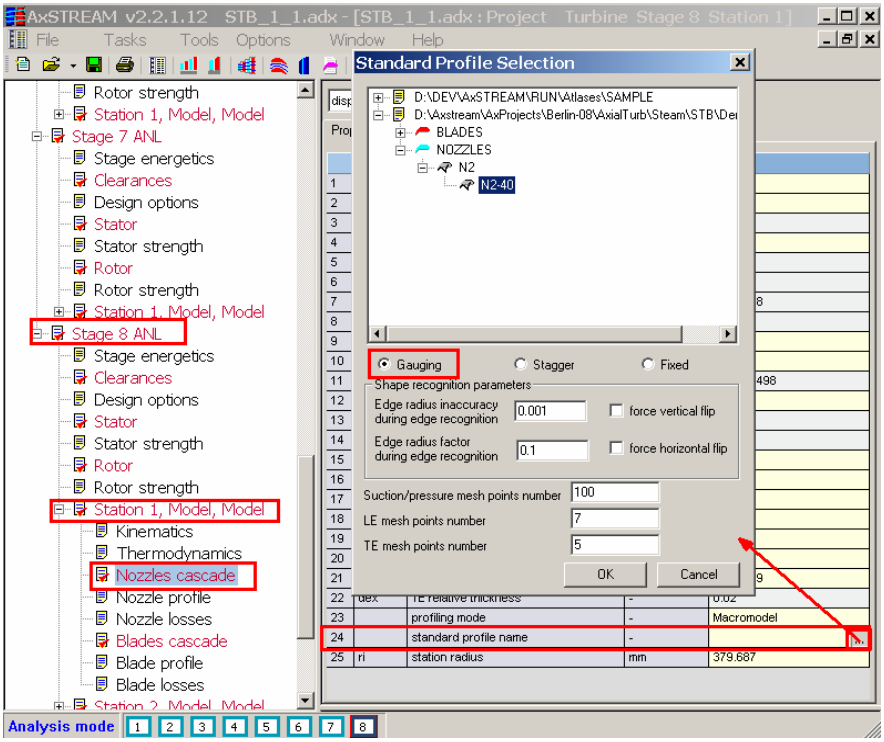


Рисунок 64. Задание стандартного профиля из базы данных ATLAS для сопловой решетки у корня

С помощью опции профилирования рекомендуется проверить, насколько стандартный профиль соответствует решетке. Как вариант, можно выбрать стандартный профиль непосредственно в окне Профилирования.

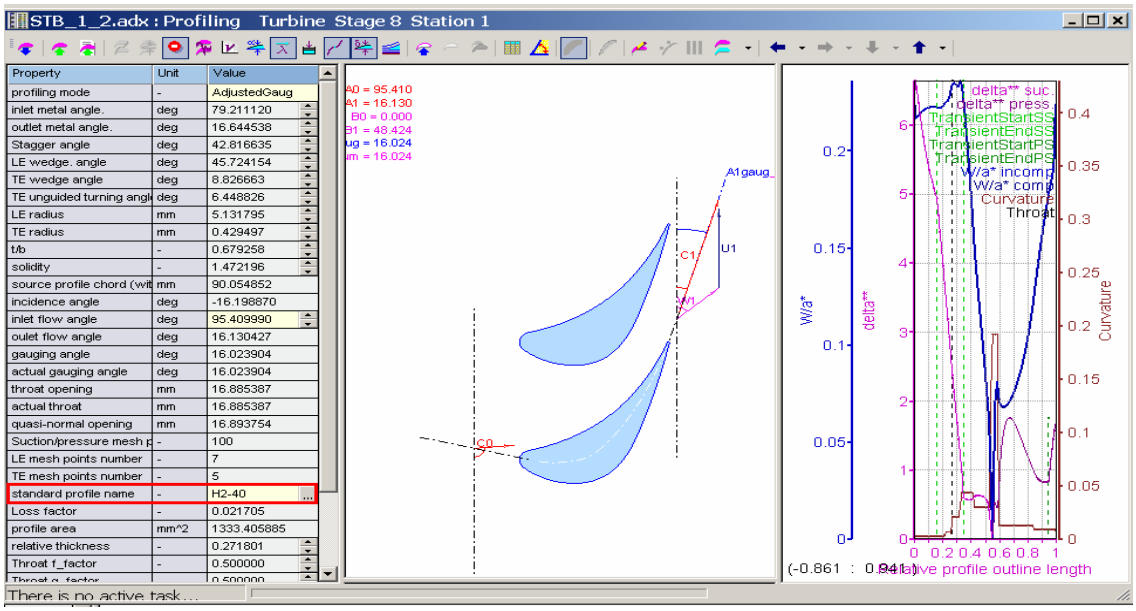


Рисунок 65. Стандартный профиль сопла в окне Профилирования

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

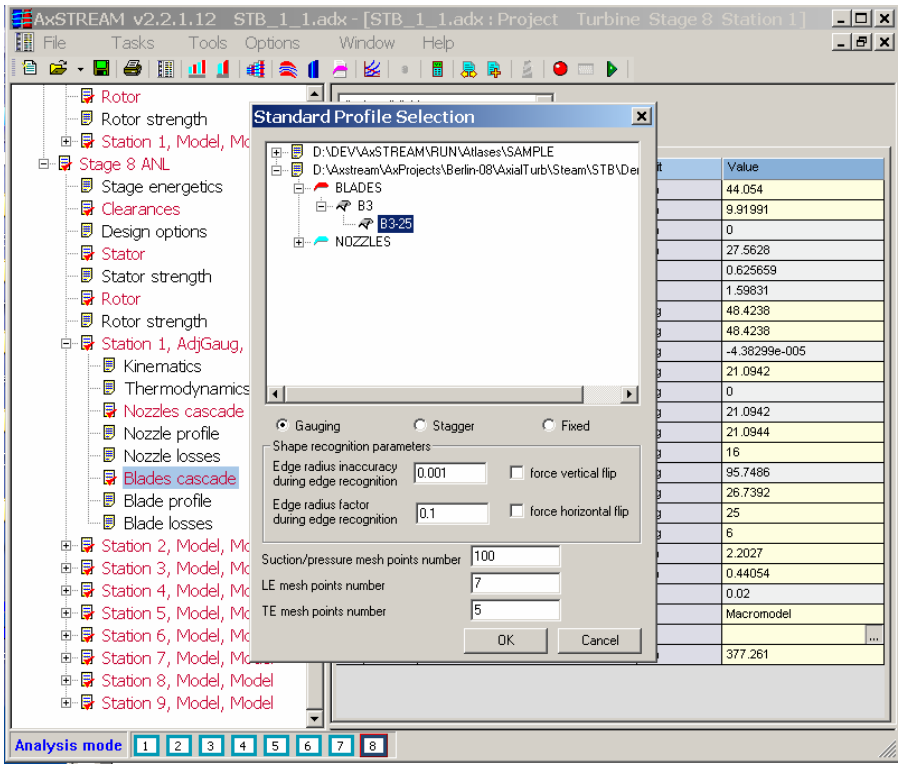


Рисунок 66. Задание стандартного профиля из базы данных ATLAS для рабочей решетки у корня

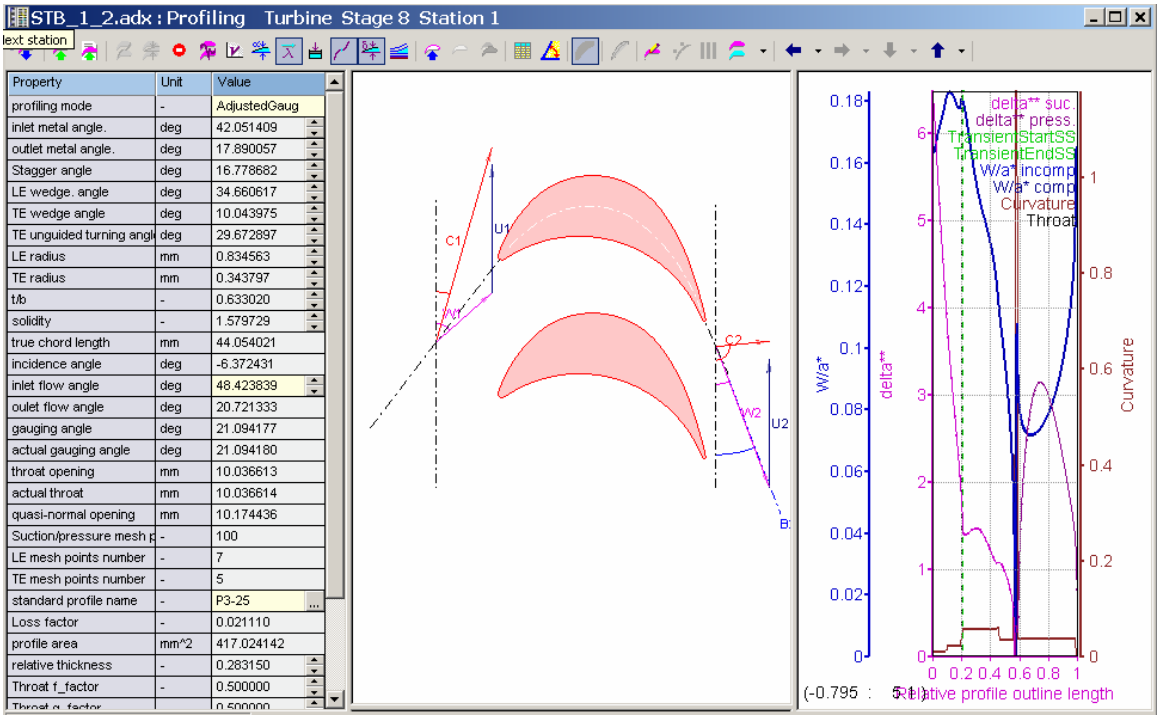


Рисунок 67. Профиль лопатки в окне Профилирования

На этом этапе проект сохраняется как файл STB_1_2.adx

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

9.5.3.4 Копирование параметров корневого сечения для сечений ступеней

Перед тем как копировать параметры корневого сечения для сечений ступеней необходимо переключить режим профилирования сопловой и рабочей решеток на *Настройку поворота*.

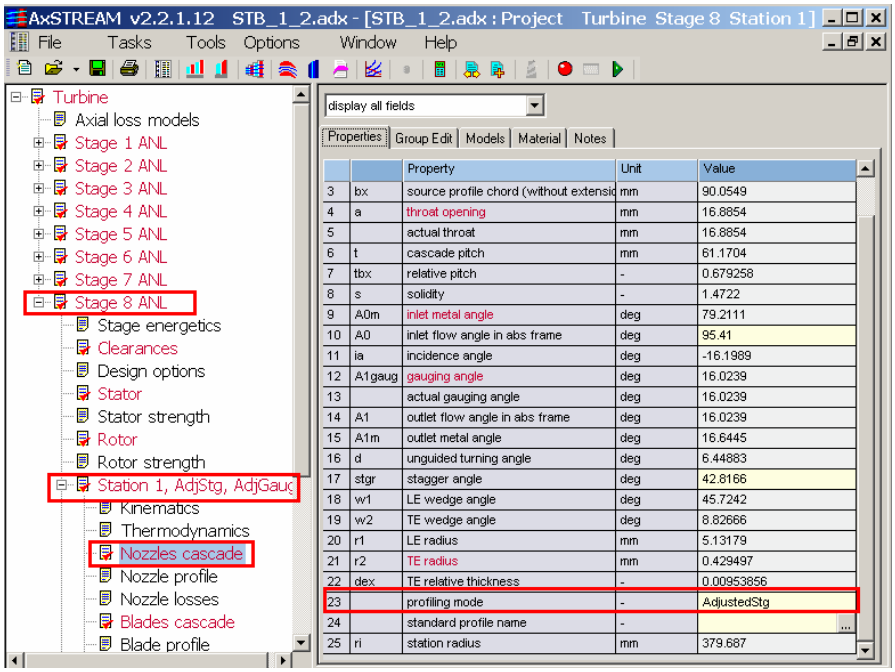


Рисунок 68. Переключение сопловой решетки на *Настройку поворота*

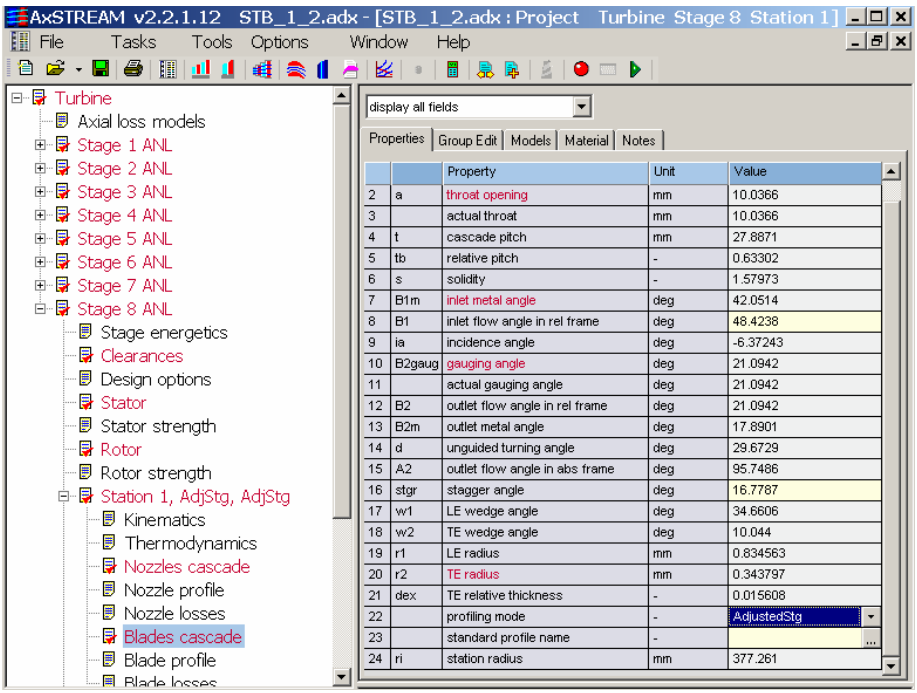


Рисунок 69. Переключение рабочей решетки на *Настройку поворота*

После того как решетка корневого сечения переключена на *Настройку поворота,* ее параметры можно копировать для других решеток последней ступени. Профилям всех решеток будет задан одинаковый угол поворота, и лопатки будут призматическими.

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

9.5.3.5 Копирование параметров корневого отсека в другой отсек

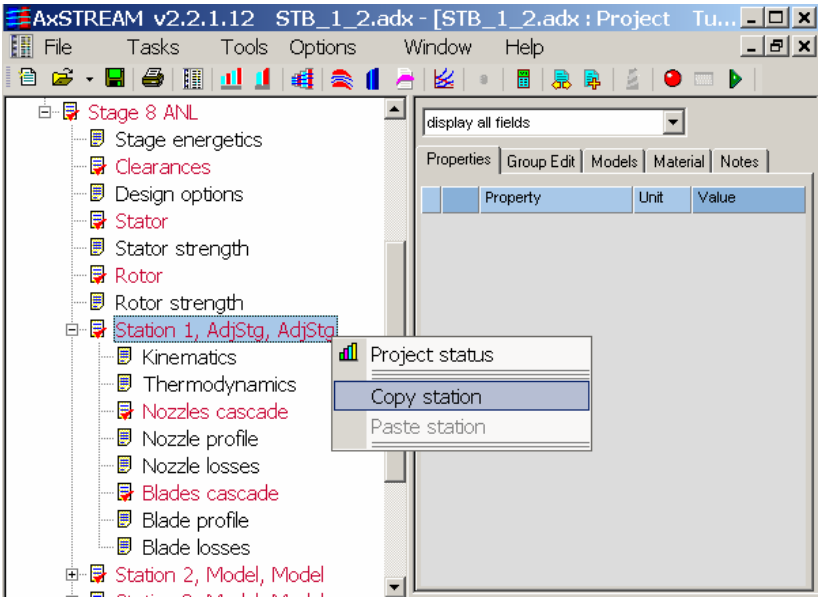


Рисунок 70. Копирование параметров корневого сечения в буфер обмена

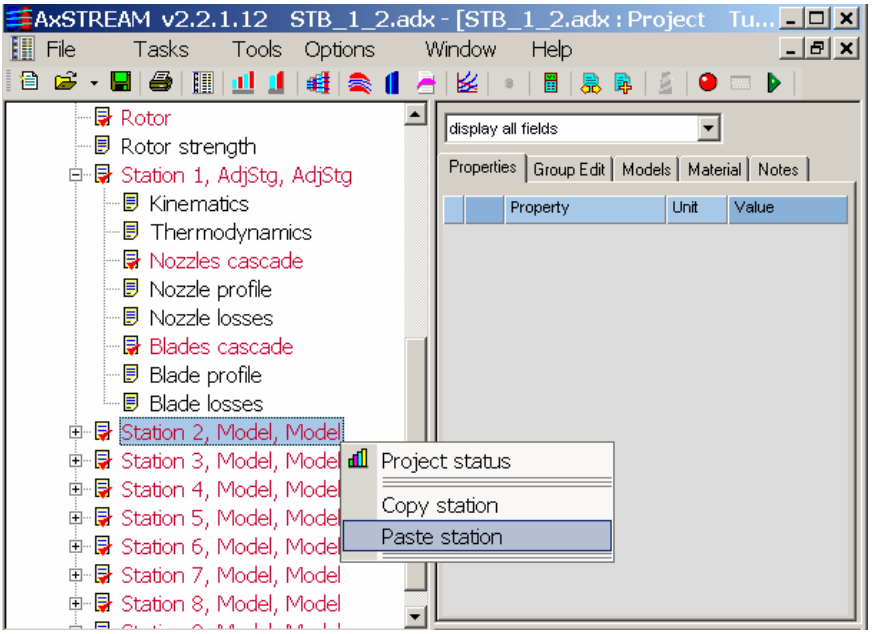


Рисунок 71. Копирование параметров сечения из буфера обмена в соответствующее сечение

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

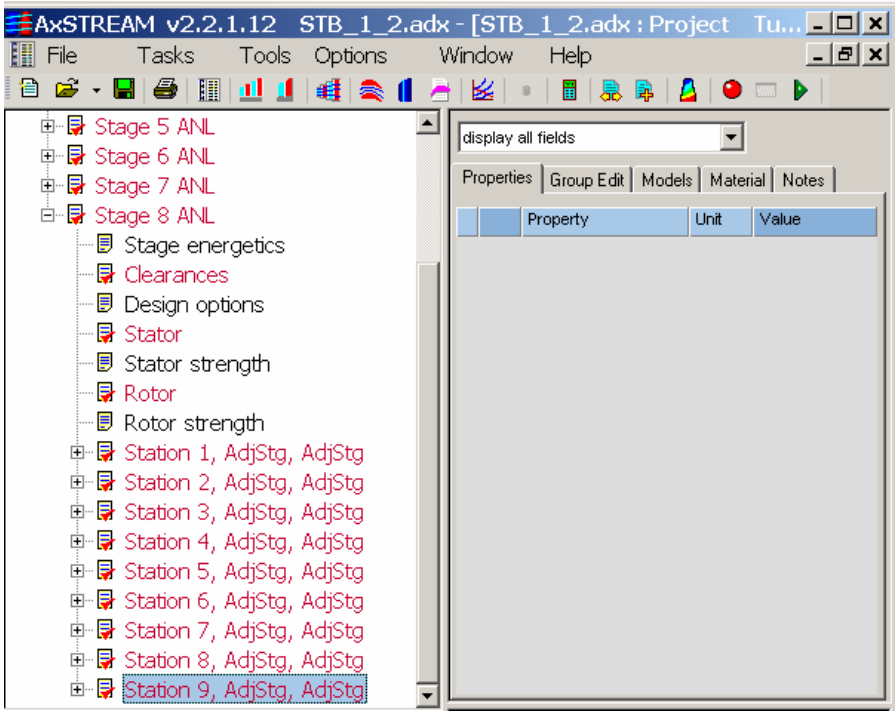


Рисунок 72. Последний этап: параметры корневого сечения скопированы в другие сечения ступени

Быстрым и надежным способом проверки результатов является просмотр последней ступени в окне проектирования лопатки. Горизонтальные схемы геометрических углов и поворота ясно показывают, что лопатка является призматической. Увеличение эффективного угла выхода – норма для призматических лопаток.

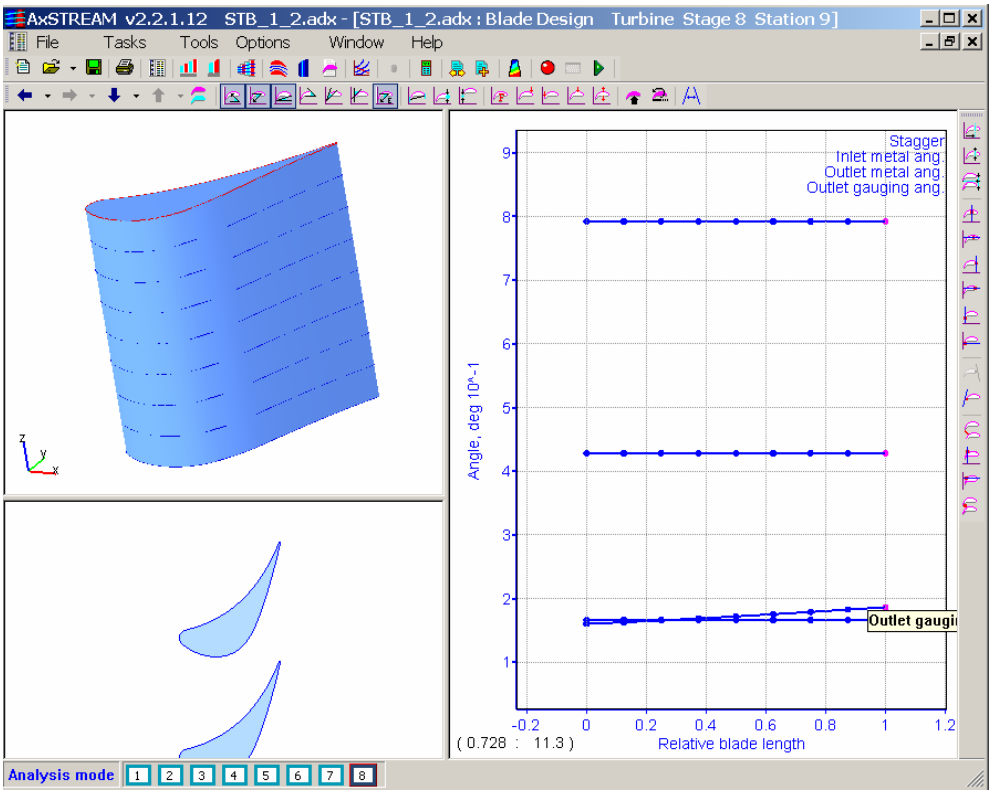


Рисунок 73. Призматическая сопловая лопатка в окне Проектирования лопатки

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

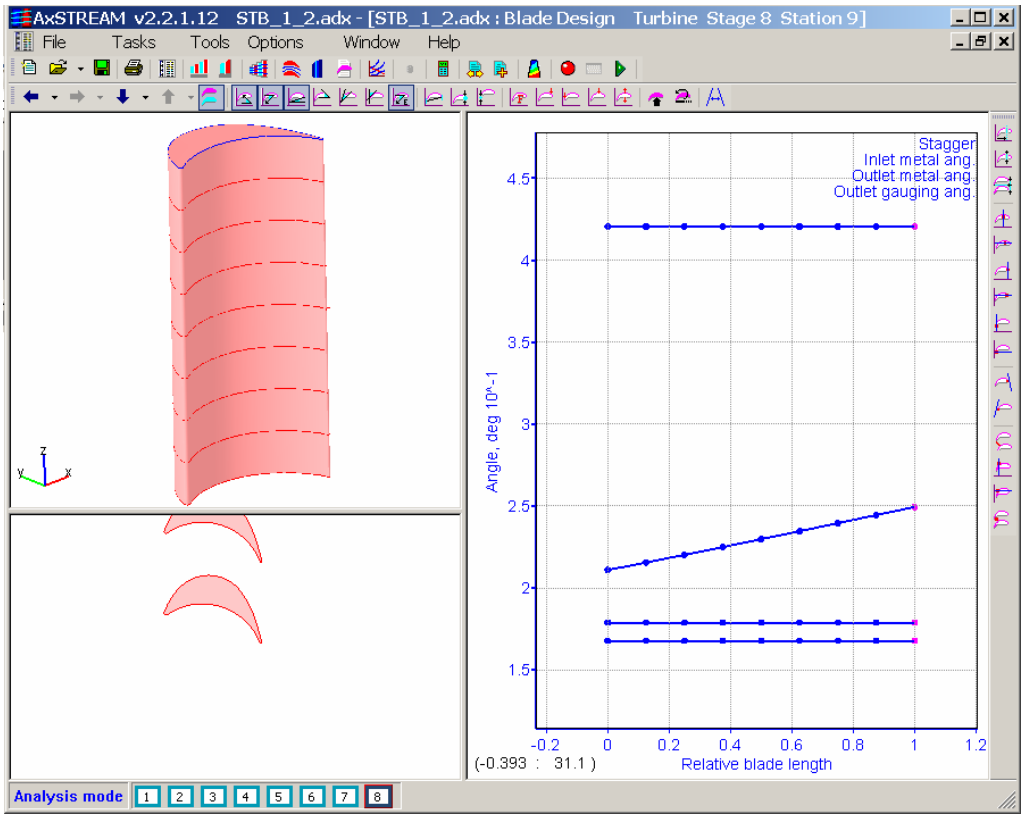


Рисунок 74. Призматический профиль лопатки в окне Проектирования лопатки

На этом этапе проект сохраняется как файл STB_1_2B.adx

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

9.5.4 Конструирование проточной части с помощью стандартной ступени

9.5.4.1 Копирование параметров последней ступени в другие ступени проточной части

Параметры последней ступени копируются в буфер обмена и затем используются для других ступеней.

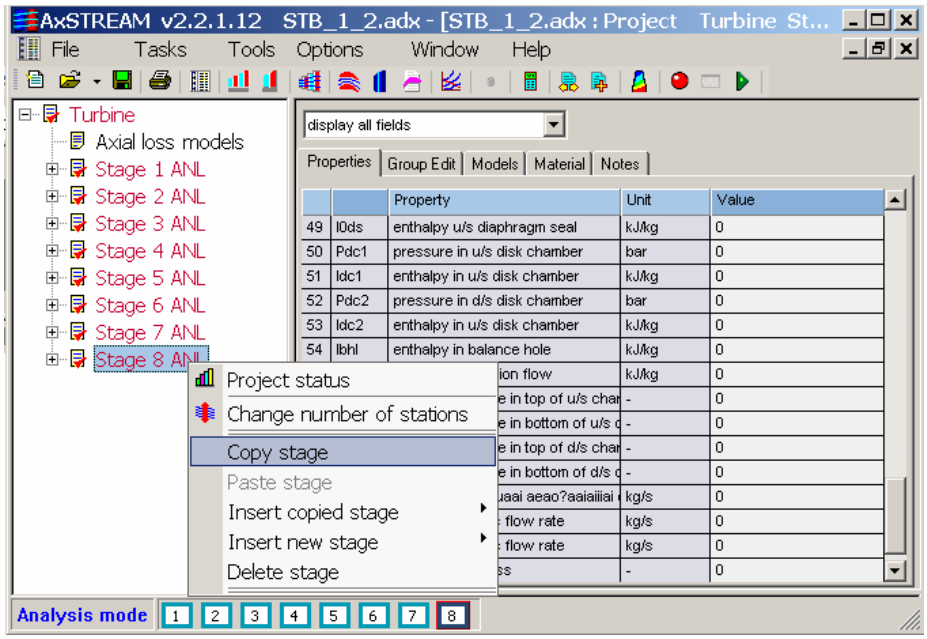


Рисунок 75. Копирование параметров последней ступени в буфер обмена

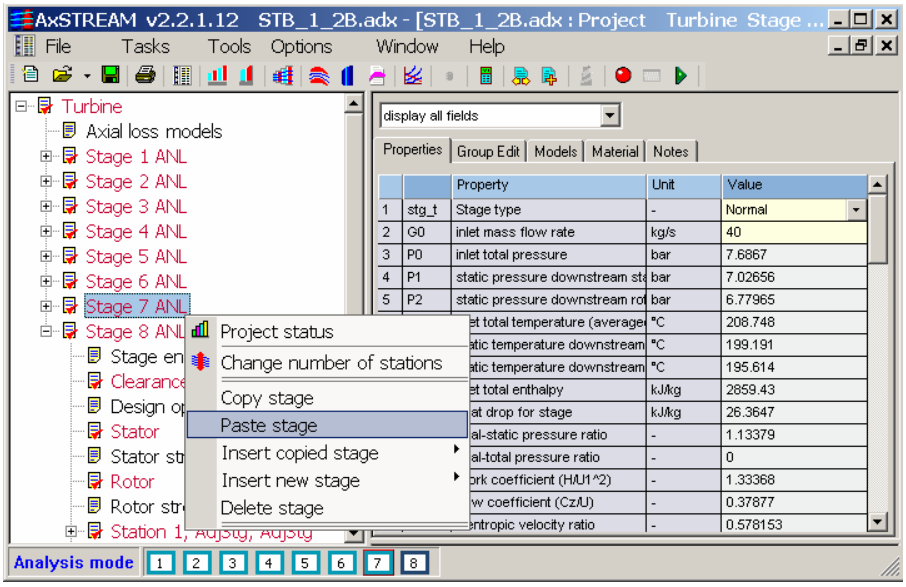


Рисунок 76. Вставка параметров последней ступени из буфера обмена в области других ступеней

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

Результаты можно проверить в окне Цилиндра. Теперь очевидно, что ПЧ состоит из одинаковых призматических ступеней.

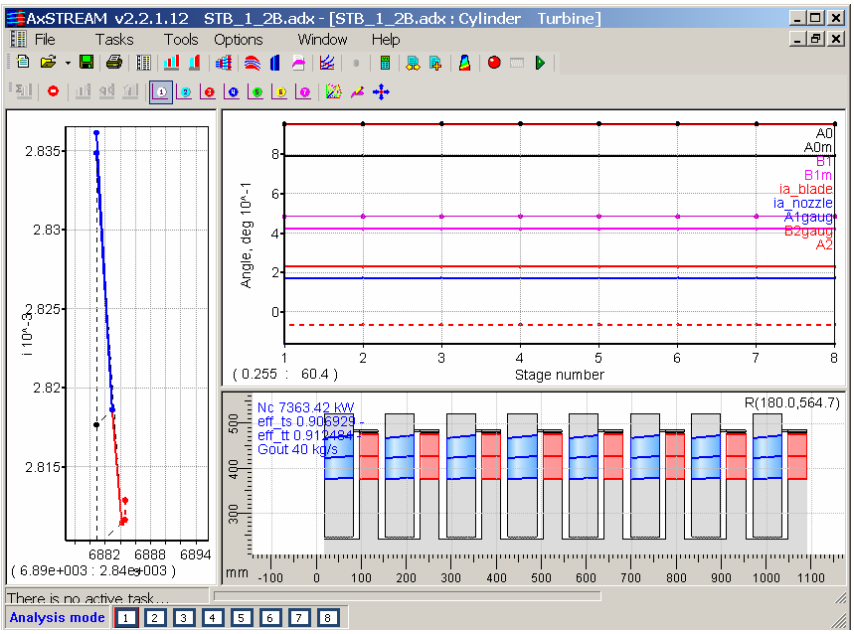


Рисунок 77. Проточная часть после копирования в нее параметров последней ступени

На этом этапе проект сохраняется как файл STB_1_2C.adx

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

9.5.4.2 Восстановление меридиональных параметров

Теперь нужно произвести обрезку лопаток. Несмотря на то, что система AxSTREAM обладает функцией обрезки, в случае с призматическими лопатками (углы решеток не зависят от положения радиуса) можно значительно упростить процедуру, введя новую высоту и диаметр лопаток в соответствующие области.

После этого можно восстанавливать меридиональные параметры начального проекта. Эта процедура выполняется командами Копировать/Вставить для значений высоты и диаметра статора и ротора из начального проекта.

Откройте сохраненный файл проекта **STB_1_1.adx**. Проверьте результаты копирования параметров, расположив два окна рядом на экране.

Необходимо скопировать 4 типа параметров:

- высота лопатки на входной кромке
- диаметр среднего сечения на входной кромке
- высота лопатки на выходной кромке
- диаметр среднего сечения на выходной кромке

Для копирования параметров проекта используйте функцию «Править группу», введя исходный файл **STB_1_1** в левом окно и целевой файл **STB_1_2C** в правое.

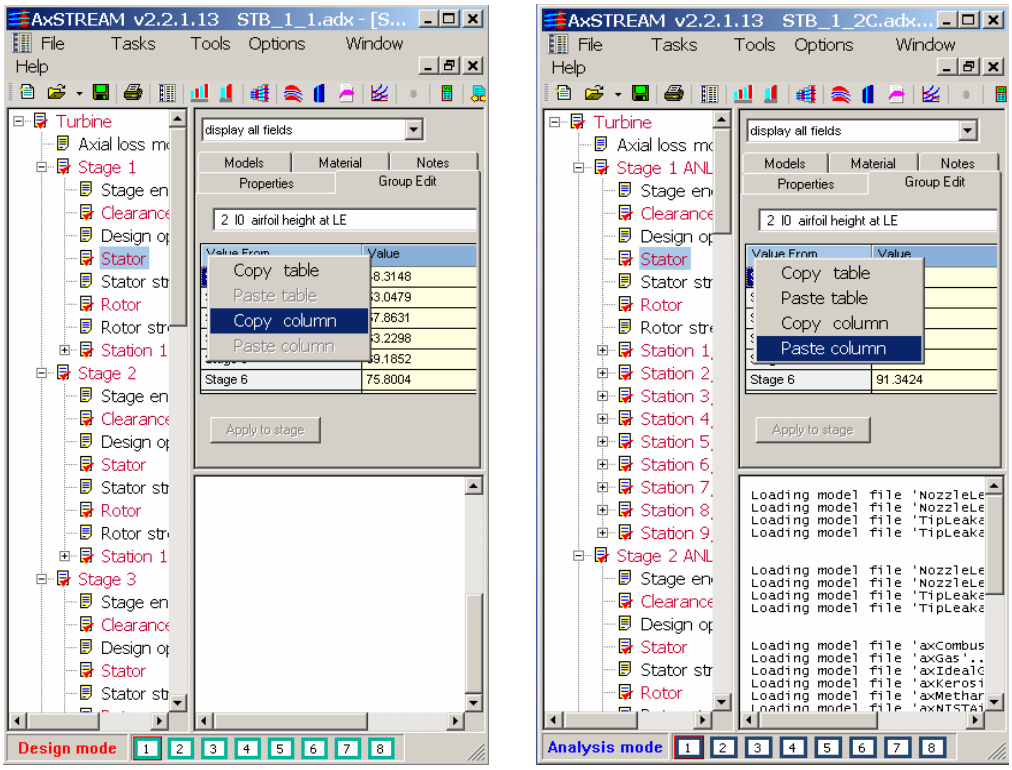


Рисунок 78. Копирование параметров с помощью функций Копировать/Вставить и «Править группу»

На этом этапе проект сохраняется как файл STB_1_2D.adx

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

9.5.4.3 Проверка эффективности расчета

Очевидно, что использование обрезки последней ступени в проектировании лопаток является рентабельным, но возможно, не оптимальным вариантом. Проведение 2D расчета в прямой постановке, т. е. расчет , дает возможность адекватно оценить эффективность спроектированной ПЧ.

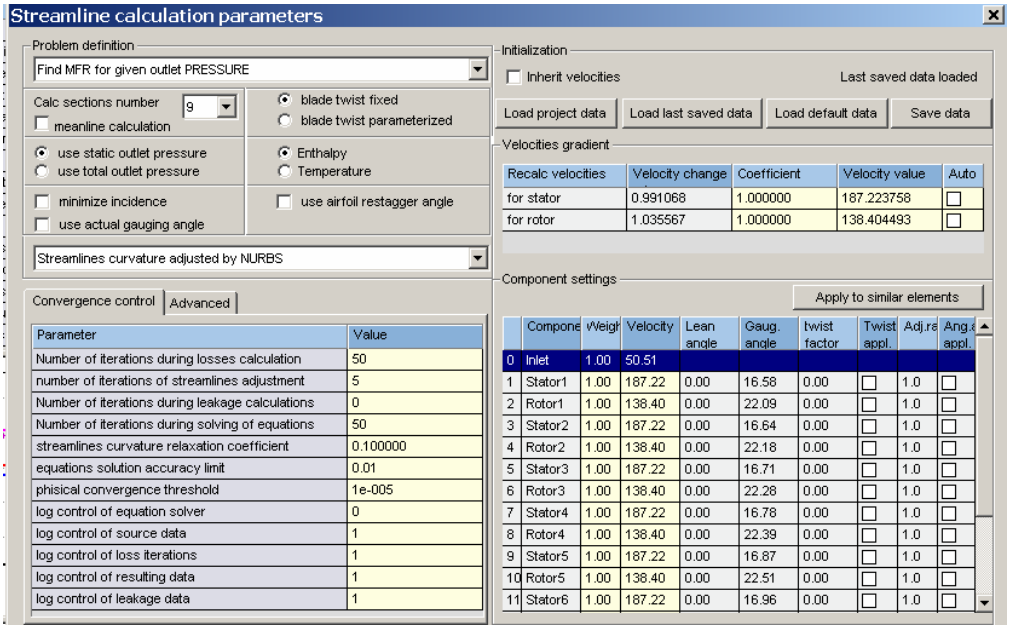


Рисунок 79. Настройки солвера 1D2D для окончательных расчетов

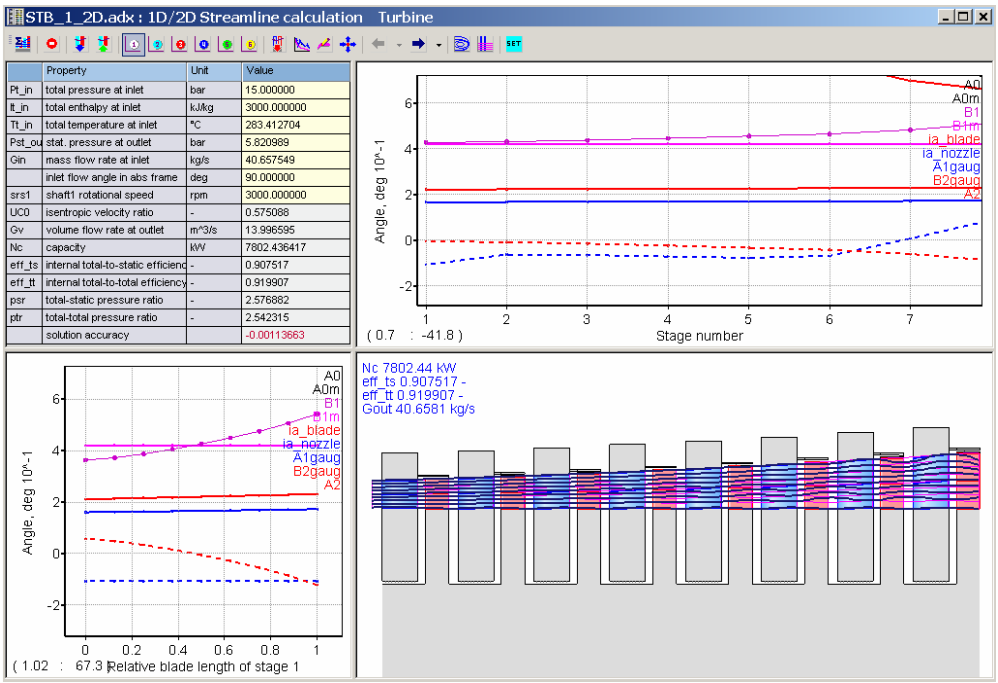


Рисунок 80. Результаты окончательного расчета

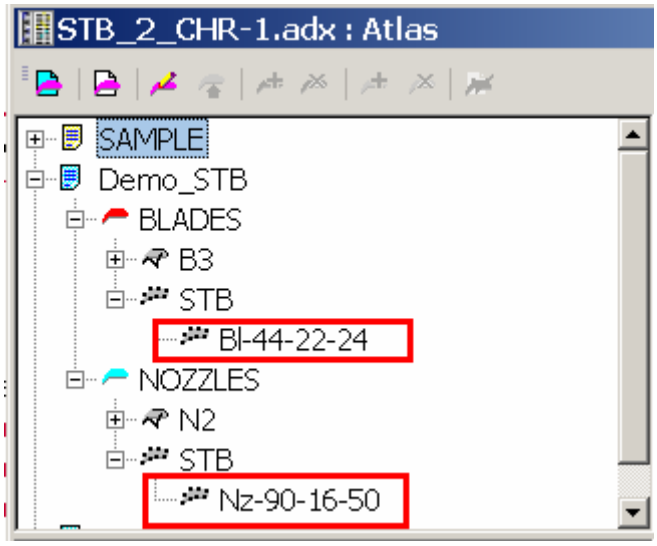
Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

9.5.4.4 Выводы

Из окончательных расчетов видно, что углы натекания в ПЧ довольно заметны, и расчет неточен (нарушение линий тока в последних ступенях).
Это свидетельствует о неправильном выборе стандартных профилей.

9.5.5 Упражнения

Повторите вышеописанные процедуры, используя профиль Nz-90-16-50 для сопловых решеток и Bl-44-22-24 для рабочих решеток из базы данных Demo_STB atlas.



Copyright © 2000-2008. All rights reserved

9.6 Конструирование проточной части со стандартным набором закрученных лопаток

Данная процедура применяется, если для заполнения ПЧ используется закрученная лопатка. В отличие от предыдущего случая, процедура обрезки проводится после обрезки лопаток, а также после изменения радиуса сечений и углов.

Процедура обрезки в системе AxSTREAM позволяет сохранить начальное распределение углов на нижней части лопатки.

Начинайте конструирование с файла проекта **STB_1_1.adx**

9.6.1 Настройка закрученной лопатки и призматического сопла

С помощью Контекстного меню турбины выставите 9 сечений для всех ступеней ПЧ. Выберите коэффициент закрутки 0 (призматический) для статора и -1 (с завихрением) для ротора.

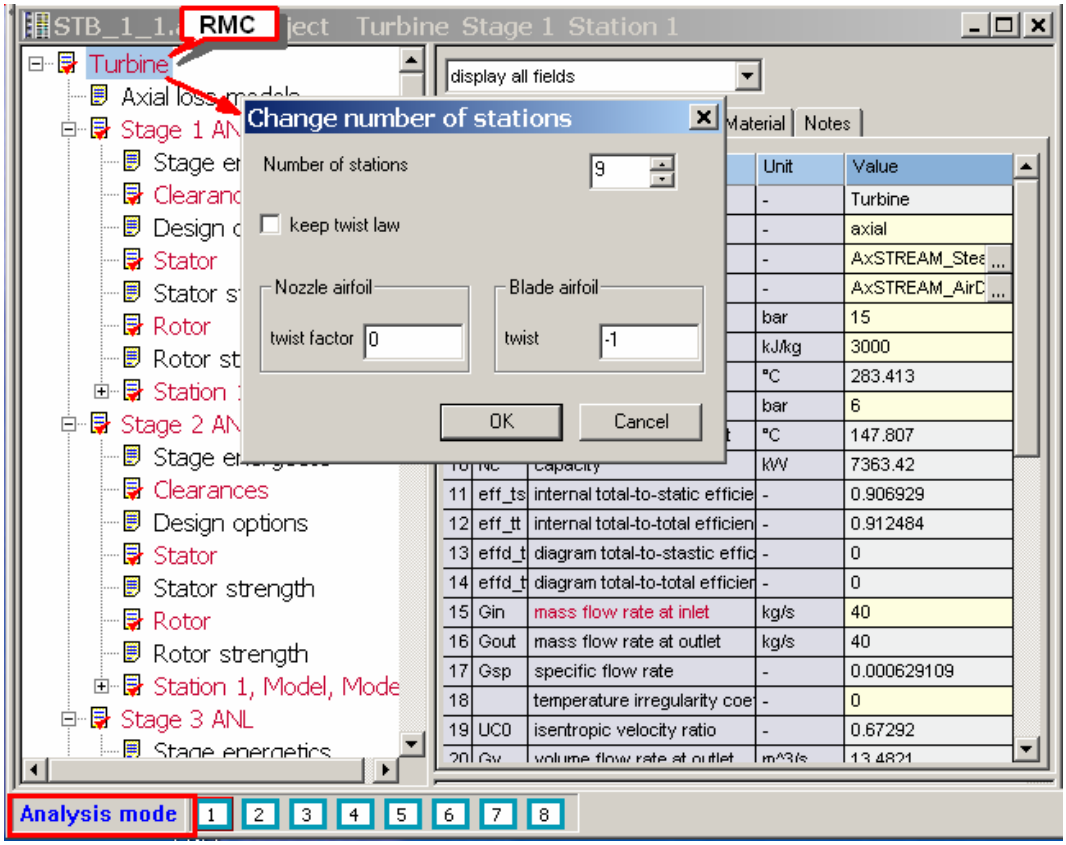


Рисунок 81. Настройка закрученной лопатки и призматического сопла для всех ступеней

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

9.6.2 Проверка эффективности с помощью солвера 1D2D

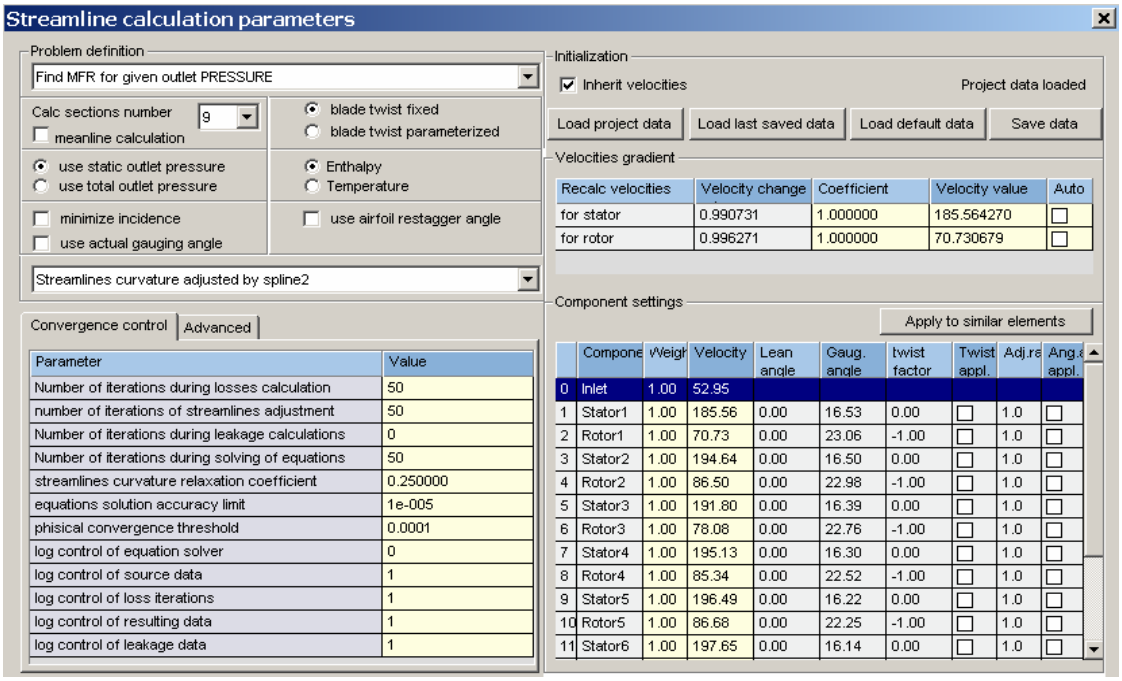


Рисунок 82. Настройка солвера 1D2D

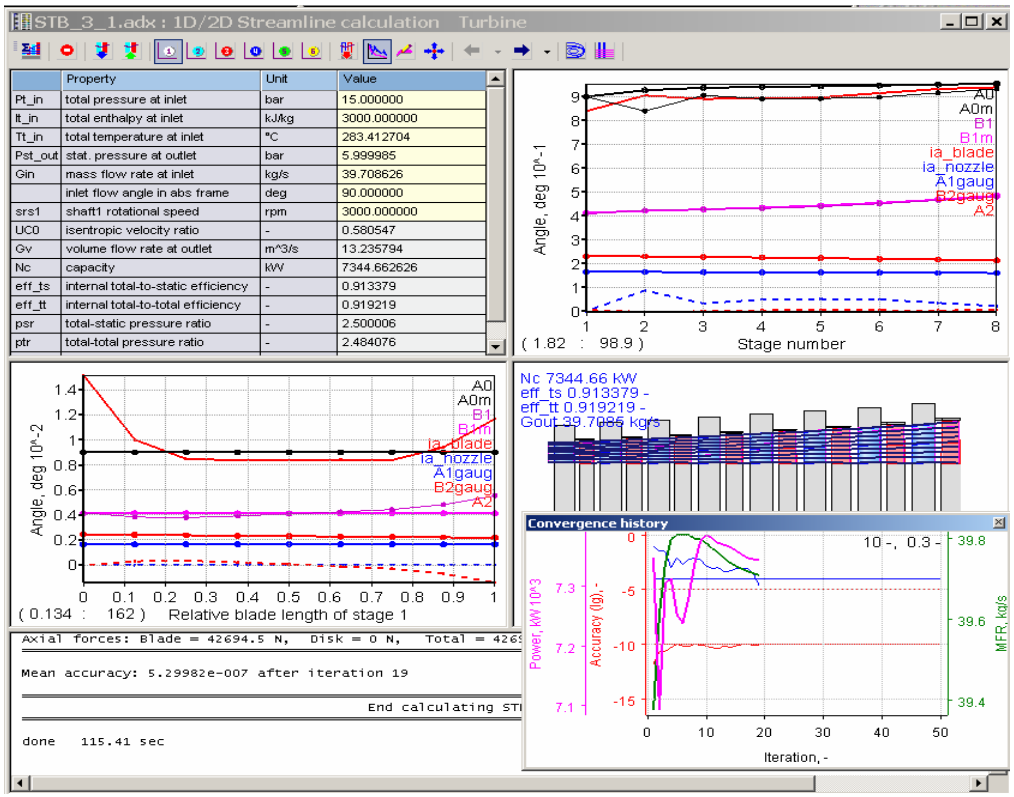


Рисунок 83. Результаты солвера 1D2D для 9 сечений

Внимание: Если решение не сходится, нужно провести с помощью солвера 1D2D расчет по среднему сечению, а затем снова повторить расчет .

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

На этом этапе проект сохраняется как файл STB_3_1.adx

9.6.3 Копирование параметров последней ступени в другие ступени проточной части

Скопируйте параметры последней ступени в буфер обмена и вставьте их в другие ступени.

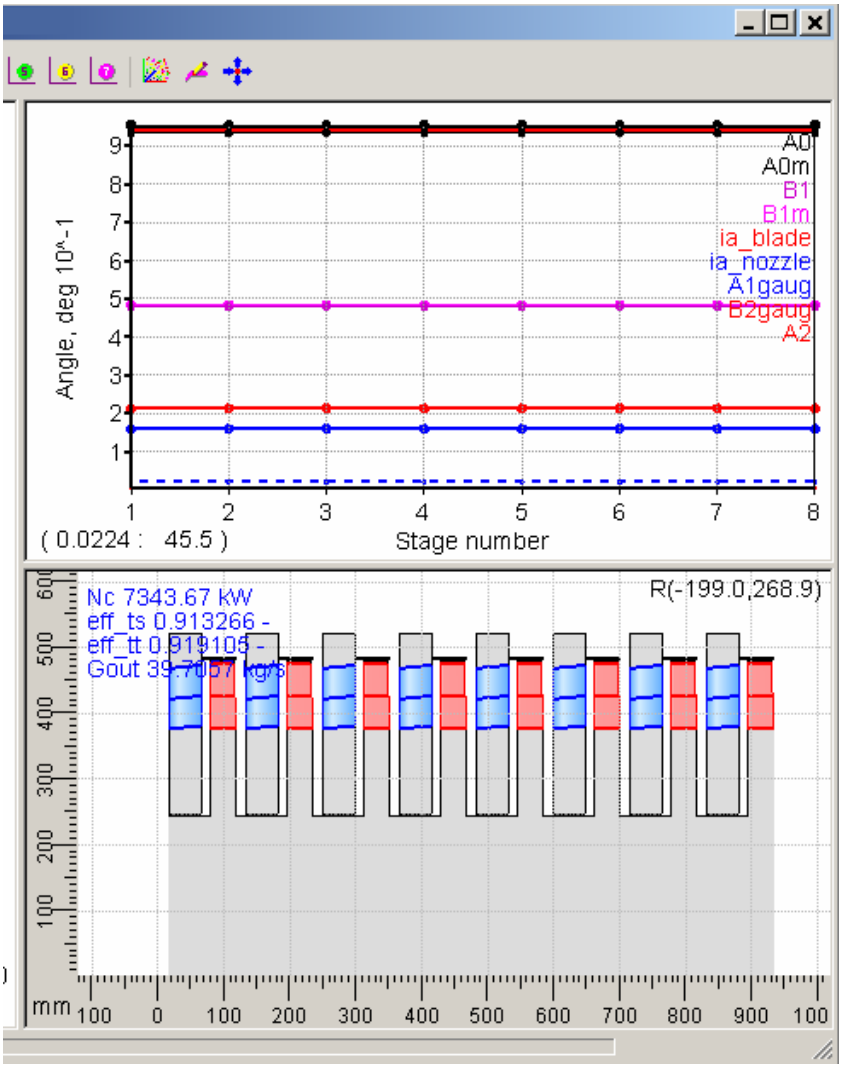


Рисунок 84. Вид проточной части после копирования параметров последней ступени

На этом этапе проект сохраняется как файл STB_3_2.adx

9.6.4 Обрезка лопаток статора и ротора

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

При обрезке лопаток с учетом спроектированных меридиональных сужений необходимо отрегулировать диаметр и высоту на периферии в соответствии с начальными значениями с помощью процедуры обрезки.
Для выполнения процедуры нужно:

- Открыть рядом окно текущего проекта и окно проекта STB_3_1.
- Выбрать ярлык «Править группу» в окне проекта STB_3_1 (справа) и выбрать D1t (диаметр поверхности на выходе) в комбинированном окне, где будут отображены значения D1t для всех ступеней.
- В окне исходного проекта (слева) вызвать RMC в контекстном меню для первого статора, затем выбрать функцию «обрезать лопатку».
- Ввести значение D1t 1-ой ступени из правого окна в область диаметра поверхности в диалоговом окне обрезки.

Повторить данную процедуру для всех статоров и роторов.

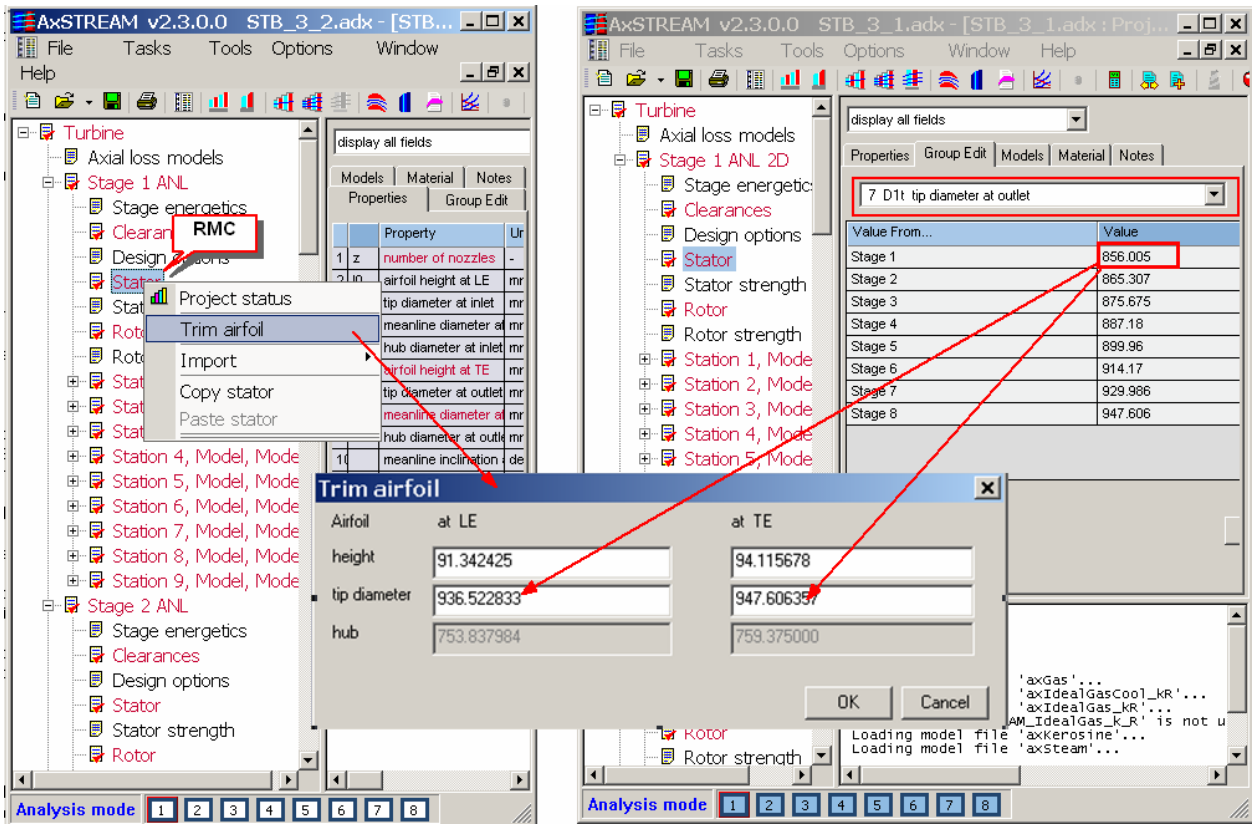


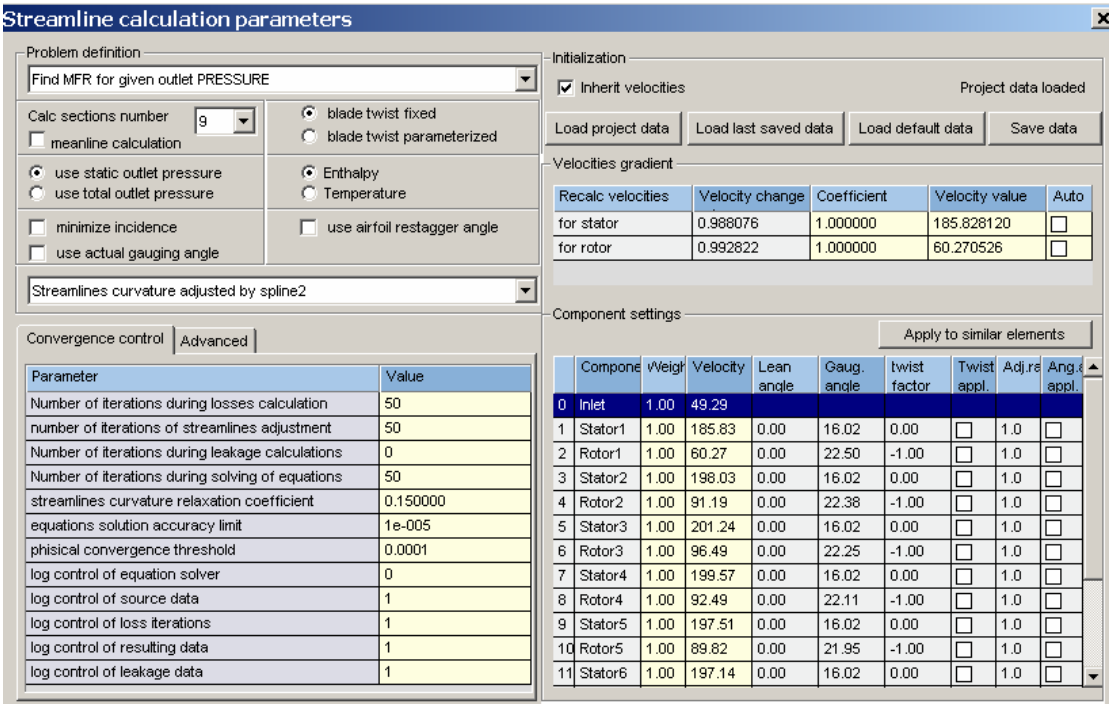
Рисунок 85. Обрезка лопаток статора с учетом спроектированных меридиональных сужений

Проверьте результаты обрезки в окне Цилиндра.
После обрезки лопаток статоров и роторов проект переходит в заключительную стадию.

На этом этапе проект сохраняется как файл STB_3_3.adx

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

9.6.5 Проверка эффективности доводки



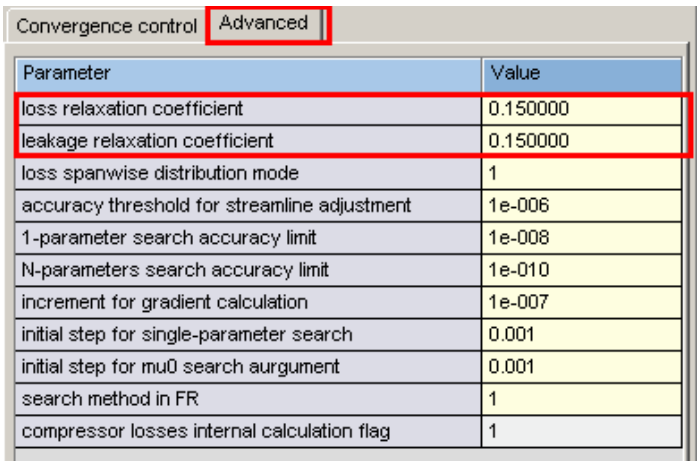


Рисунок 86. Настройка солвера 1D2D

Copyright © 2000-2008. All rights reserved
SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com

Внимание: Рекомендуется сначала провести с помощью солвера 1D2D расчет по среднему сечению, а затем расчет .

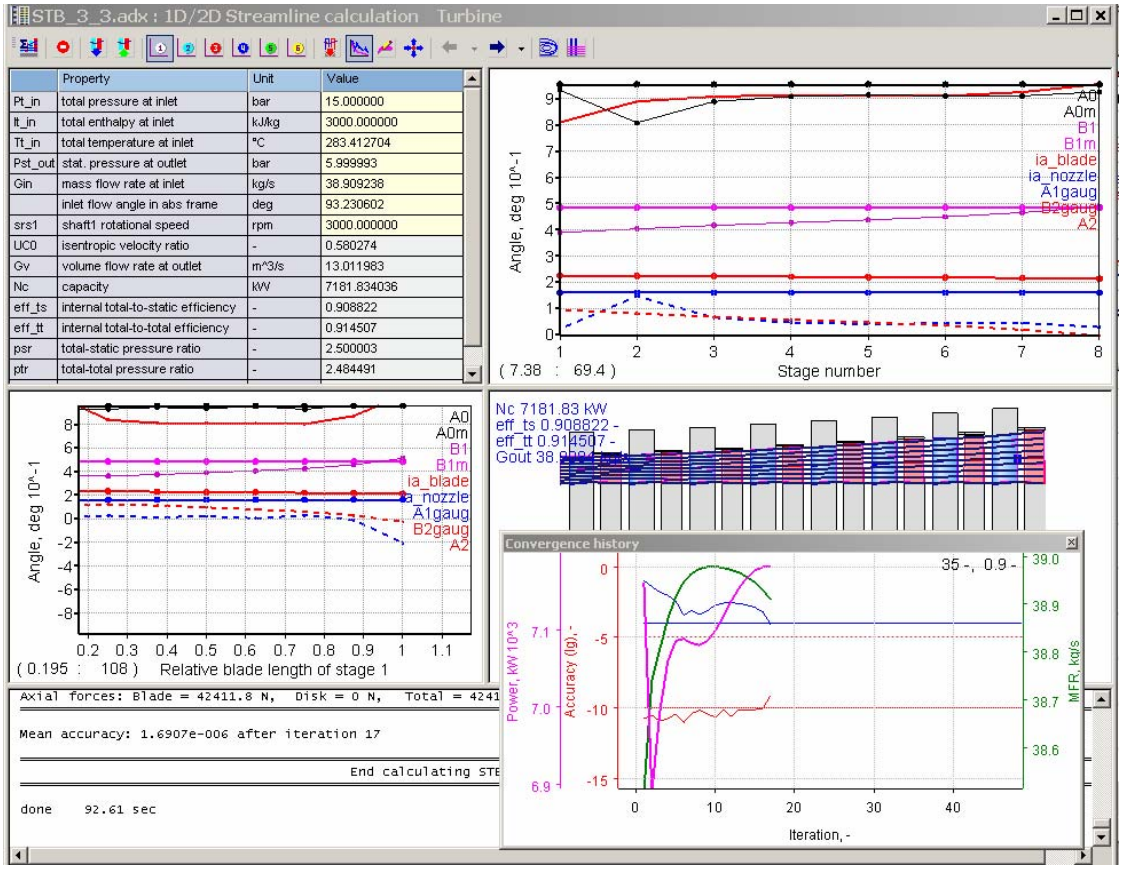


Рисунок 87. Результаты расчета для 9 сечений

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

Приложение 1

Таблица 1 – Таблица классов чистоты поверхности

Класс чистоты поверхности	Отклонение профиля реальной поверхности от идеально гладкой μm	Высота неровностей μm
1	80	320
2	40	160
3	20	80
4	10	40
6	2.5	10.0
7	1.25	6.3
8	0.63	3.2
9	0.32	1.6
10	0.16	0.8

Последняя страница Руководства

Copyright © 2000-2008. All rights reserved

SoftInWay, Inc., 35 Corporate Dr., Burlington, MA 01803. Tel: (781)685-4942 www.softinway.com