

УДК 621.165:532.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FLOWER-U ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ПОТОКА ВО ВХОДНОМ УСТРОЙСТВЕ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

А. В. Русанов

Доктор технических наук, заведующий отделом*
Контактный тел.: 8 (057) 752-33-88
E-mail: rusanov@ipmach.kharkov.ua

О. И. Шатравка

Аспирант
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», ул.
Фрунзе 21, г. Харьков, Украина, 61001
Контактный тел.: 8 (0572) 95-95-21

Н. В. Пащенко

Аспирант*
Контактный тел.: 8 (0572) 95-95-21
E-mail: natasha@ipmach.kharkov.ua

А. И. Голубев

Кандидат технических наук*
Контактный тел.: 8 (0572) 95-95-21

*Отдел гидроаэромеханики энергетических машин
Институт проблем машиностроения
им. А.Н. Подгорного НАН Украины
ул. Дм. Пожарского 2/10, г. Харьков, Украина, 61046

Наведено результати чисельного дослідження просторового потоку у пристрої газотурбінного двигуна конструкції ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект». Дослідження проводилися за допомогою програмного комплексу FlowER-U. Запропоновано напрямки аеродинамічного вдосконалення подібних пристроїв

Ключові слова: вхідний пристрій, проточна частина, газотурбінна установка, тривимірна в'язка течія, чисельне моделювання, розрахункова сітка

Представлены результаты численного исследования пространственного течения во входном устройстве газотурбинного двигателя конструкции ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект». Исследования проводились с помощью программного комплекса FlowER-U. Предложены направления аэродинамического совершенствования подобных устройств

Ключевые слова: входное устройство, проточная часть, газотурбинная установка, трехмерное вязкое течение, численное моделирование, расчетная сетка

Results of numerical research of spatial current in the input device of the gas turbine engine with the design GTR&PC "Zorya-Mashproekt" are presented. The researches were made with the help of program complex FlowER-U. The directions of aerodynamic perfection of similar devices are also presented

Key words: input device, running part, gas-turbine setting, three-dimensional viscid flow, numeral design, calculation net

1. Введение

Входные и выходные устройства проточных частей турбомашин являются важными элементами, аэродинамическое совершенствование которых существенным образом влияет на общие показатели экономичности и надежности силовых установок. Структура потока в

таких устройствах является существенно трехмерной с большим числом вихревых и отрывных зон, для детального изучения которой необходимо использование современных методов математического моделирования пространственных турбулентных течений. В работе представлены результаты расчета проточной части входного устройства современной энергетической га-

зотурбинной установки, выполненные с использованием программного комплекса FlowER-U.

На основе анализа проведенных расчетов предложено направление аэродинамического совершенствования входных устройств подобного типа.

2. Метод расчета течения

Для численного исследования использовался программный комплекс FlowER-U [1], который позволяет проводить расчеты трехмерных вязких турбулентных сжимаемых течений теплопроводного многокомпонентного рабочего тела в геометрических объектах произвольной формы. Математическая модель программного комплекса включает:

- многокомпонентные уравнения Эйлера и Рейнольдса [2];
- семейство двухпараметрических дифференциальных моделей турбулентности $k-\omega$ (Уилкокса [3], BSL Ментера [4], SST Ментера [5]);
- уравнения состояния совершенного газа [6], Таммана [7], Ван-дер-Ваальса [8] с постоянными и переменными теплоемкостями;
- семейство неявных ENO-схем высоких порядков аппроксимации [9].

Для повышения вычислительной эффективности в программном комплексе FlowER-U реализован метод локальной структуризации неструктурированных сеток [10].

3. Объект исследования. Условия выполнения расчета

В качестве объекта исследования рассмотрено типовое входное устройство энергетической газотурбинной установки конструкции ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект».

Данное устройство имеет сложную геометрическую форму, для отображения которой на расчетную сетку был использован блочный подход.

На рис. 1 представлена разбивка расчетной области на 20 блоков.

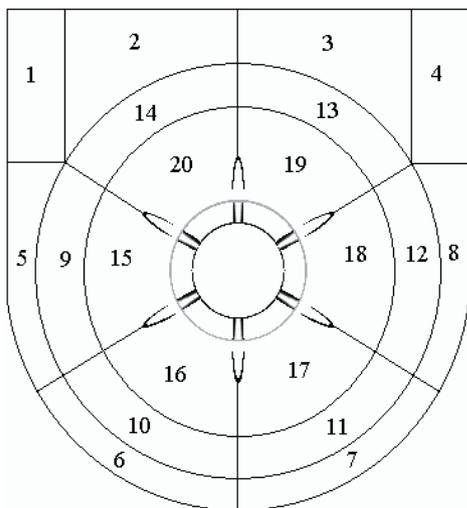


Рис. 1. Разбивка расчетной области на блоки

Блоки с 15 по 20 соответствуют межлопаточным каналам стоек, выполняющих двойную функцию: являются силовыми элементами конструкции и направляющими потока.

В каждом блоке строятся структурированные сетки, после объединения которых образуется единая неструктурированная сетка с шестигранными ячейками (рис. 2).

Суммарное число ячеек сетки приблизительно равно 1,3 млн. Для адекватного моделирования течения в пограничных слоях, вблизи твердых поверхностей, выполнено сгущение сеток до размеров ячеек, соответствующих безразмерной величине y^+ на стенках от 10 до 50.

Расчет выполнен при следующих граничных условиях:

- полная температура на входе – 293 К;
- полное давление на входе – 103 кПа;
- статическое давление на выходе – 89,3 кПа.

Статическое давление на выходе было подобрано последовательными приближениями таким образом, чтобы обеспечивалось необходимое значение массового расхода – 24,4 кг/с.

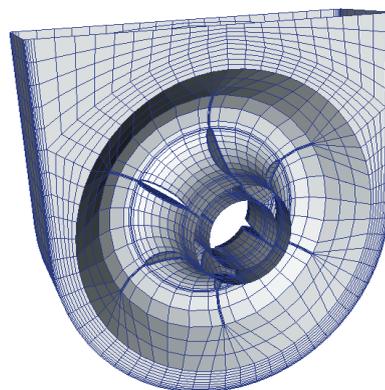


Рис. 2. Расчетная сетка входного устройства

4. Результаты расчетов

На рис. 3 с помощью линий тока представлена визуализация картины течения во входном устройстве.

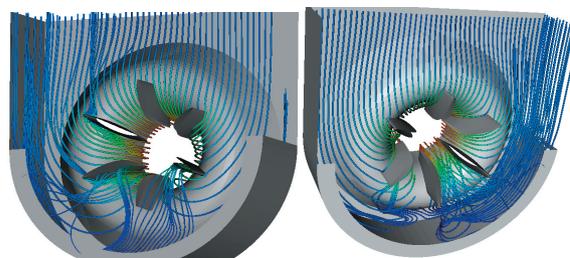


Рис. 3. Линии тока

Видно наличие нескольких крупномасштабных вихревых структур. Наибольшие вихри образуются в области нижних каналов стоек, в средних каналах интенсивность вихрей уменьшается, а в верхних – течение близко к безвихревому. Присутствие вихрей приводит к дополнительным потерям полного давления и окружающей неравномерности потока на выходе из входного устройства (рис. 4).

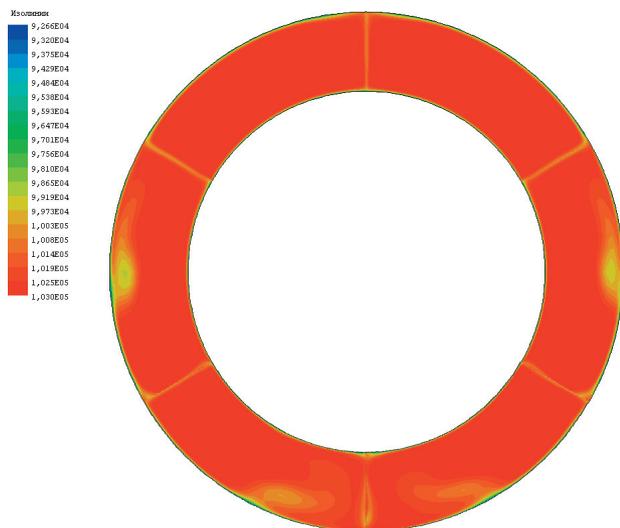


Рис. 4. Изолинии полного давления. Выходное сечение

Области с пониженным полным давлением, которые можно видеть на рис. 4, соответствуют зонам прохождения кромочных следов от стоек к вихревым образованиям, показанным на рис. 3. Основная причина образования крупномасштабных вихрей связана, прежде всего, с нерасчетным углом натекания потока на стойки. Потери полного давления на выходе из устройства по каналам распределяются следующим образом:

- нижние каналы – 0,588%;
- средние каналы – 0,585%;
- верхние каналы – 0,32%.

Интегральные потери полного давления во входном устройстве составляют 0,497%. Для снижения потерь полного давления и выравнивания потока в окружном направлении, необходимо выполнить специальное профилирование стоек таким образом, чтобы избежать нерасчетного угла натекания потока на них и, соответственно, уменьшить интенсивность и размеры вихревых зон. В результате таких мероприятий можно приблизить интегральные значения потерь полного давления к значениям, соответствующим верхним каналам.

5. Выводы

С помощью программного комплекса FlowER-U выполнено численное моделирование пространственного турбулентного течения во входном устройстве современной газотурбинной установки. Получена де-

тальная структура течения, анализ которой позволяет определить направления аэродинамического совершенствования проточных частей подобного рода устройств.

Литература

1. Русанов А.В. Математическое моделирование нестационарных газодинамических процессов в проточных частях турбомашин / А.В. Русанов, С.В. Ершов. – Харьков, ИПМаш НАН Украины, 2008. – 275 с.
2. Дейч М.Е. Техническая газодинамика / М.Е. Дейч. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 671 с.
3. Wilcox D.C. Reassessment of the scale-determining equation for advanced turbulence models / D.C. Wilcox // AIAA J. – 1988. – 26, №11. – P.1299–1310.
4. Menter F.R. Zonal Two-equation Turbulent models for Aerodynamic Flows / F.R. Menter // AIAA Pap. – 1993. – № 93. – 12 p.
5. Menter F.R. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications / F.R. Menter // AIAA J. – 1994. – 32, № 8. – P.1598–1605.
6. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. / В.В. Нащокин - М.: Высшая школа, 1980. – 469 с.
7. Годунов С.К. Численное решение многомерных задач газовой динамики / С.К. Годунов, А.В. Забродин, М.Я. Иванов и др. – М.: Наука, 1976. – 400 с.
8. Ершов С.В. Расчет трехмерных вязких течений несовершенного газа с учетом выдувов охлаждающего газа – новые возможности комплекса программ FlowER / С.В. Ершов, А.В. Русанов. // Совершенствование турбоустановок методами мат. и физ. моделирования: Сб. науч. тр. / ИПМаш НАН Украины. – Харьков: 2003. – С. 121–125.
9. Ершов С.В. Численное моделирование турбулентных отрывных течений в пространственных решетках с использованием неявной ENO схемы С.К. Годунова / С.В. Ершов, А.В. Русанов // Пробл. машиностроения. – 1998. – 1, № 1. – С. 70–78.
10. Русанов А.В. Универсальный метод организации численного интегрирования уравнений газовой динамики. Постановка задачи / А.В. Русанов // Пробл. машиностроения. – 2004. – 7, № 3. – С. 9 – 13.