

УДК 621.165

В.П. СУББОТОВИЧ, канд. техн. наук; проф. НТУ «ХПИ»;
Ю.А. ЮДИН, канд. техн. наук; проф. НТУ «ХПИ»;
А.Ю. ЮДИН, канд. техн. наук; с.н.с. НТУ «ХПИ»;
С.А. ТЕМЧЕНКО, м.н.с. НТУ «ХПИ»

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ МЕТОДА РАСЧЕТА ТЕЧЕНИЯ В КОЛЬЦЕВЫХ КАНАЛАХ

Представлены результаты расчетных исследований кольцевого диффузора с прямолинейными стенками, полученные с помощью метода расчета течения в кольцевых каналах, разработанного авторами, и выполнено их сравнение с данными экспериментальных исследований этого же диффузора, а также с результатами расчетов по *CFD*-программе.

Представлені результати розрахункових досліджень кільцевого диффузора з прямолінійними стінками, які отримані за допомогою методу розрахунку течії в кільцевих каналах, розробленого авторами і виконано їх порівняння з даними експериментальних досліджень цього ж диффузора, а також з результатами розрахунків по *CFD*-програмі.

The results of computational modeling of the annular diffuser with straight walls, which were obtained by the method of calculating the flow in annular channels, the designed by authors are present and carried out and compared with the experimental data of the same diffuser as well as the calculations results by *CFD*-program.

Введение

Решение обратной задачи обладает большими перспективами и позволяет получать кольцевые каналы, имеющие высокое аэродинамическое качество при значительном сокращении времени, затрачиваемого на проектирование и доводку.

Возможны два подхода к решению обратной задачи. Первый – итерационное решение ряда прямых задач до совпадения получаемой картины течения с требуемой. Второй подход основывается на решении уравнений газодинамики при условии, что заданными являются параметры потока, а неизвестными – присутствующие в уравнениях геометрические параметры.

В настоящее время решение прямых задач очень часто выполняют с помощью *CFD*-программ, в основе которых заложены уравнения Навье-Стокса, позволяющие при использовании соответствующей модели турбулентности выполнять расчеты вязкого течения достаточно сложных объектов. Однако для каждой итерации, в которой изменены геометрические характеристики проектируемого объекта, требуется перестроить сетку, проверить ее характеристики вблизи поверхностей, выполнить расчет, который даже при использовании современных многопроцессорных компьютеров требует огромных затрат времени для получения результата только одной итерации.

Исходя из выше сказанного, целесообразно разработать метод расчета течения, который позволил бы не только рассчитывать течение в каналах с известной геометрией (прямая задача), но и проектировать каналы под заданные аэродинамические условия (обратная задача) за относительно небольшие промежутки времени, приемлемые для практического энергомашиностроения.

Предпосылками для разработки метода расчета течения в кольцевых каналах послужили работы [1, 2], в которых предложен метод расчета течения для решения прямой и обратной задач в кольцевых решетках турбомашин на цилиндрических

поверхностях тока. В основе обеих задач применен единый методологический подход, в котором прямая задача расчета течения в канале решетки турбомашин является частным случаем обратной задачи проектирования межлопаточного канала. В дальнейшем этот метод получил свое развитие для расчета течения в слое переменной толщины на произвольной поверхности вращения [3].

Основные принципы, которые лежат в основе метода расчета течения в канале турбинной решетки, были использованы для разработки метода расчета течения в осесимметричных кольцевых каналах [4].

Объект исследования.

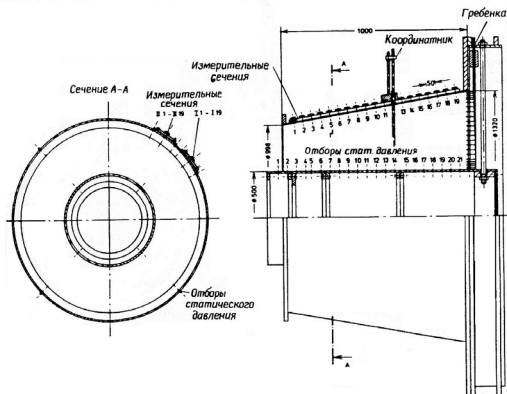


Рис. 1. Кольцевой диффузор с измерительными сечениями

На рис. 1 показан кольцевой диффузор с измерительными сечениями для определения распределения статического давления вдоль наружной и внутренней стенок диффузора [5]. Диффузор расположен после одноступенчатого компрессора. За ним находится успокоительная камера, которая позволяла создавать противодавление на выходе. Длина диффузора в осевом направлении равна 1000 мм, отношение площади выходного сечения к площади входного сечения равно двум. Измерения статического давления вдоль диффузора производилось в 19 сечениях с интервалом

50 мм. Цель этих измерений – выявление характера течения в турбулентном пограничном слое на стенках диффузора.

В данной статье приведено сравнение расчетных данных, полученных с помощью разработанного метода, с экспериментальными данными аэродинамических исследований осевого конического диффузора компрессора [5] и расчетными данными, полученными с помощью *CFD*-программы.

Расчетное исследование течения в диффузоре с использованием невязкой модели течения.

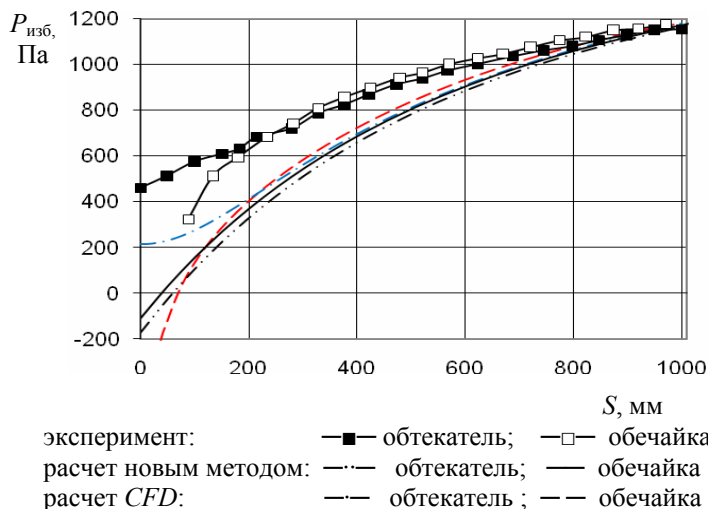


Рис. 2. Распределения статического давления вдоль обводов конического диффузора (невязкий расчет)

На рисунке 2 представлены расчетные и экспериментальные распределения статического давления вдоль стенок диффузора. При расчетах с помощью *CFD*-программы течение принимается невязким.

Как видно из рисунка 2, кривые распределений статического давления вдоль стенок диффузора, полученные с помощью *CFD*-программы и разработанного метода расчета течения хорошо совпадают.

Имеют место расхождения кривых на входном участке диффузора. Эти расхождения связаны с тем, что при расчете с помощью *CFD*-программы поток, имеющий осевое направление до диффузора, при входе в конический диффузор совершает наибольший поворот в области обечайки. Таким образом, здесь основной поток движется вдоль криволинейной поверхности, которая и определяет периферийную поверхность тока. Это приводит к падению давления, что видно и из экспериментальных данных. В разработанном методе полагается, что поток, начиная от входного сечения, движется вдоль поверхностей тока, совпадающих с конической границей на периферии и цилиндрической границей у втулки диффузора. Уровень статического давления в эксперименте выше расчетного, что связано с внутренними потерями.

Итак, расчеты невязкого течения, выполненные с помощью *CFD*-программы и разработанного метода, показали довольно хорошее совпадение распределений статического давления, но распределения, полученные в эксперименте, свидетельствуют о том, что при расчетах необходим учет внутренних потерь.

Расчетное исследование течения в диффузоре с использованием вязкой модели течения.

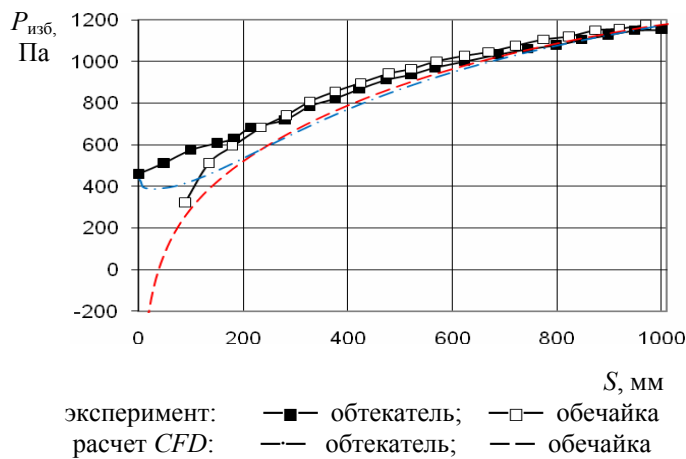


Рис. 3. Распределения статического давления вдоль обводов конического диффузора (вязкий расчет)

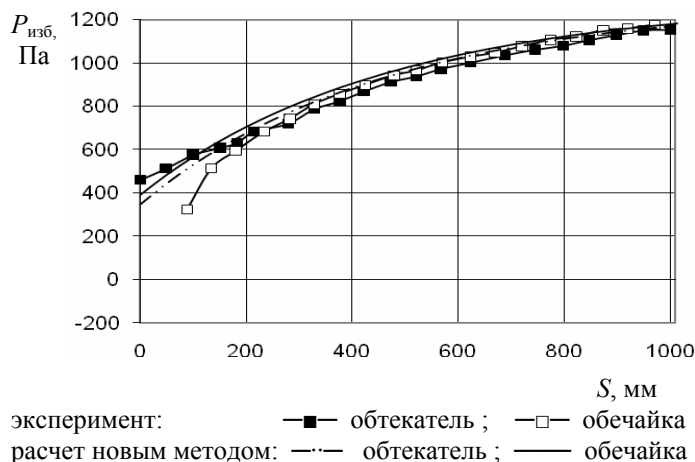


Рис. 4. Распределения статического давления вдоль обводов конического диффузора

Расчет вязкого течения был выполнен с помощью *CFD*-программы. В расчете использовалась *k-ε* модель турбулентности. Сетка в области пограничного слоя выбрана так, чтобы параметр y^+ был равен единице.

Сравнение расчетных и экспериментальных распределений статического давления по обводам диффузора приведены на рис. 3. Уровень статического давления при использовании вязкой модели течения выше, чем для невязкого течения и, естественно, ближе к эксперименту. Однако на участке от входа в диффузор до, примерно, 2/3 его длины заметны отличия. Это можно объяснить влиянием колеса компрессора на развитие и характер турбулентного потока в диффузоре, что приводит к увеличению внутренних потерь в нем [5].

Особенность нового метода – возможность задания изменения величин полных параметров потока от входного до выходного сечений диффузора.

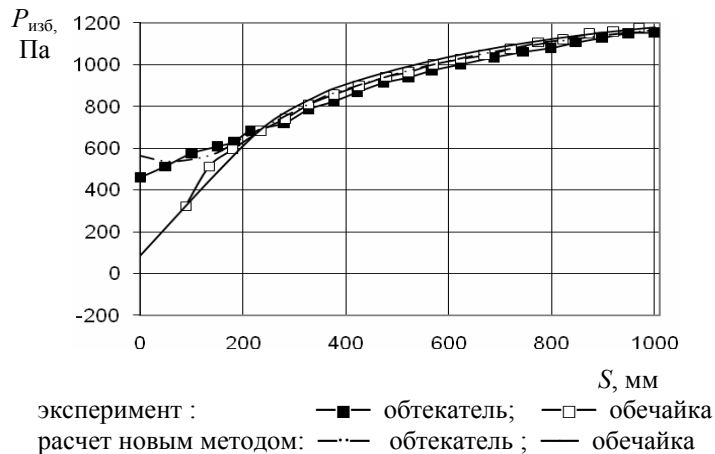


Рис. 5. Распределения статического давления вдоль обводов конического диффузора

новом методе корневой и периферийный обводы диффузора являются поверхностями тока. На рис. 5 показан вариант расчета новым методом при условии, что периферийная поверхность тока на входном участке диффузора имеет такую же форму, как и поверхность тока в расчете с помощью CFD-программы. Из рисунков 4 и 5 следует, что корректировка формы периферийной поверхности тока, приводит к изменению течения на входном участке, а расчетное распределение статического давления вдоль обводов хорошо согласуется с экспериментальными данными.

Приведенные выше результаты расчетов и их сравнение с данными экспериментального исследования диффузорного канала свидетельствуют о том, что новый метод позволяет предсказать параметры течения в канале с точностью, требуемой для определения аэродинамической эффективности.

Список литературы: 1. Субботович, В.П. Задача расчета скорости на поверхности лопатки турбомшины как задача оптимизации [Текст] / В.П. Субботович, А.Ю. Юдин // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2004. – № 12. – С. 101-106. 2. Субботович, В.П. Постановка и метод решения обратной задачи для определения формы межлопаточных каналов кольцевых решеток турбомашин [Текст] / В.П. Субботович, А.Ю. Юдин // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2005. – № 29. – С. 49-56. 3. Субботович, В.П. Обратная задача теории решеток на осесимметричной поверхности тока [Текст] / В.П. Субботович, А.Ю. Юдин, Ван Конг Там // Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. науч. трудов. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2009. – № 3. – С. 56–61. – ISSN 2078-774X. 4. Субботович, В.П. Метод расчета течения в осерадальных кольцевых каналах [Текст] / В.П. Субботович, А.Ю. Юдин, С.А. Темченко // Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. науч. трудов. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2011. – № 6. – С. 24-27. – ISSN 2078-774X. 5. Пфайль, Х. Измерения параметров турбулентного пограничного слоя в диффузоре за осевым компрессором [Текст] / Х. Пфайль, М. Гёинг // Энергетические машины. – 1988. – № 3. – С. 72-81.

© Субботович В.П., Юдин Ю.А., Юдин А.Ю., Темченко С.А., 2012
 Поступила в редколлегию 15.02.12