

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА В РАБОЧЕМ КОЛЕСЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА, С ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ЛОПАТКАМИ ДВУХ ТИПОВ, НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FLOWVISION

Б.В. АФАНАСЬЕВ

ЗАО "НИИТурбокомпрессор им. В.Б.Шнеппа", Казань

При проектировании центробежных рабочих колес с пространственными лопатками, в ЗАО "НИИТурбокомпрессор им. В.Б.Шнеппа", используются различные, технологически приемлемые формы поверхностей лопаток. Две из них (рис. 1) рассматриваются в данной работе. Линейчатая форма поверхности лопатки первого типа допускает применение средней линии произвольной формы. Форма средней линии аналитически описывается в плоскости конформно отображенной эквивалентной прямой решетки на двух осесимметричных поверхностях тока, соответствующих основному и покрывному дискам [1]. Поверхность лопатки второго типа представляет собой поверхность вращения общего вида [2]. Ось поверхности вращения параллельна оси колеса, а контур образующей поверхности наклонен к ее оси под некоторым углом, который плавно изменяется вдоль оси вращения. В частном случае для образования поверхности вращения может быть использована поверхность конуса – с постоянным углом наклона образующей, применение которой существенно упрощает технологию изготовления лопаток.



Линейчатая поверхность – Тип 1 Поверхность конуса – Тип 2

Рис. 1. Лопатки образованные различными поверхностями.

Разработаны два варианта центробежного рабочего колеса (рис. 2) диаметром 0,75 м с пространственными лопатками указанных типов. Вариант 1 – лопатка Тип 1 (15 лопаток). Вариант 2 – лопатка Тип 2 (13 лопаток). Лопатки постоянной толщины.

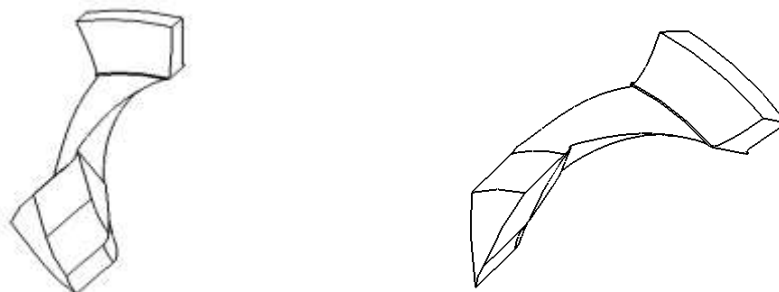


Вариант 1

Вариант 2

Рис. 2. Варианты исполнения рабочего колеса.

Расчетные модели (рис. 3) представляют собой один межлопаточный канал каждого варианта, с осевым участком на входе и с участком безлопаточного диффузора на выходе. Геометрия внутреннего объема модели – расчетной области создана и импортирована в FlowVision как одна подобласть расчета.



Вариант 1

Вариант 2

Рис. 3. Расчетные модели.

В препроцессоре FlowVision для созданной подобласти расчета выбрана математическая модель "Полностью сжимаемая жидкость". Заданы физические параметры модели в подгруппах:

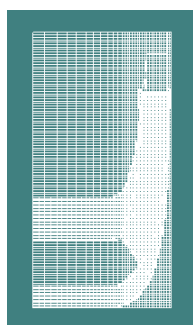
- Опорные величины (Температура – 293 К, Давление – 101330 Па);
- Параметры Модели ("SST" модель турбулентности);
- Вещество 0 ("Воздух").

В окне свойств параметров движения определен тип движения – "Вращение", заданы ось вращения и угловая скорость – 4000 об/мин, используется абсолютная система координат.

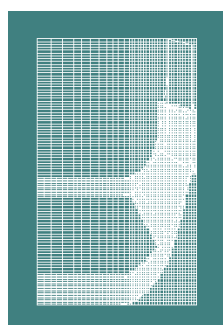
Для рассматриваемой задачи созданы шесть типов граничных условий с выбором параметров каждого:

- **Вход** (Тип границы "Вход/Выход", Тип граничного условия "Давление" – 0);
- **Вращающаяся стенка** (Тип границы "Стенка", Тип граничного условия "Вращающаяся стенка, логарифмический закон");
- **Стенка** (Тип границы "Стенка", Тип граничного условия "Стенка, логарифмический закон");
- **Выход** (Тип границы "Вход/Выход", Тип граничного условия "Норм. массовая скорость" – отношение массового расхода к количеству лопаток, к площади выхода);
- **Период 1** (Тип границы "Периодическое");
- **Период 2** (Тип границы "Периодическое").

Граничные условия присвоены соответствующим группам поверхностей. Периодика задана путем связи в подобласти расчета граничных условий "Период 1" и "Период 2". Размер ячейки сетки нулевого уровня по X, Y, Z–направлениям выбран соразмерным половине толщины лопатки. Вид расчетной сетки с первым уровнем адаптации по граничному условию "Вращающаяся стенка" показан на рисунке 4.



Вариант 1



Вариант 2

Рис. 4. Расчетная сетка.

Созданы и экспортированы в постпроцессор супергруппы для граничных условий "Вход" и "Выход". В окне свойств общих параметров на вкладке "Шаги" выбраны скошенная схема аппроксимации при расчете конвективного переноса, неявный метод расчета и задан фиксированный шаг по времени. В постановке задачи отсутствуют протечки и теплообмен между рабочим веществом и корпусом элемента.

Возможности постпроцессора FlowVision позволяют получить интегральные характеристики на заданных поверхностях. Используются объекты, полученные из супергрупп (см. выше). При создании статических слоев "Характеристики" выбираются скалярные переменные (рис.5). Для анализа сходимости процесса расчета необходимые переменные могут сохраняться специальными файлами. С помощью Excel, на основе записываемых файлов, строятся графики изменения переменных по времени, позволяющие интерактивно отслеживать процесс расчета. В качестве контролируемых переменных были взяты "Модуль АбсСкорости" на входе и выходе, а также "Давление" и "Температура" на выходе. Сходимость достигается при равенстве расхода по входу заданному на выходе расчетной области (рис. 6). Расход, отнесенный к количеству лопаток (13) – 0,46 кг/с.

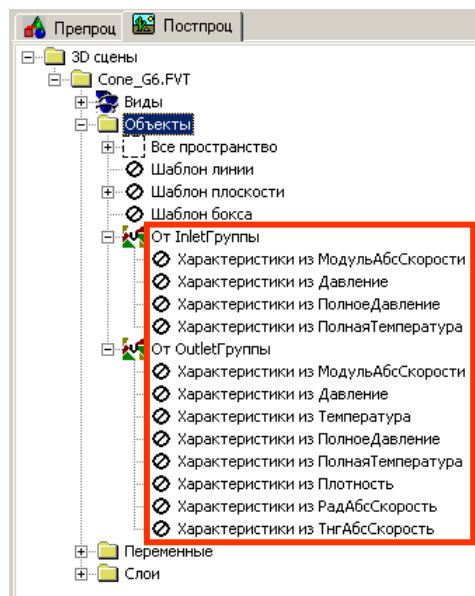


Рис. 5. Слои скалярных переменных.

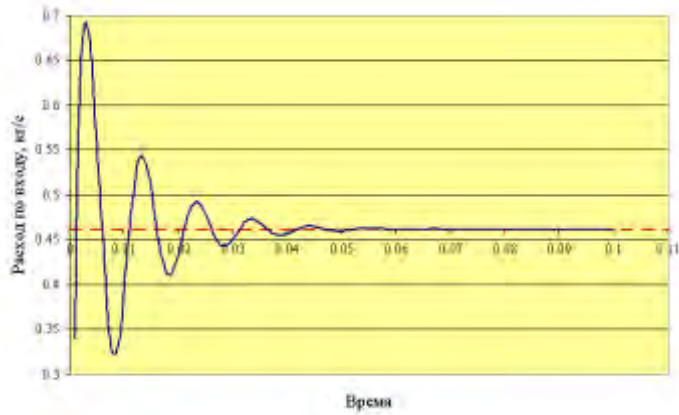


Рис. 6. График изменения расхода.

Для каждого исследуемого варианта задавалось четыре режима по массовому расходу. Расход в расчетной точке – 6 кг/с. Число итераций в зависимости от режима – от 400 до 800. Соответственно время расчета одного режима составляло 8÷16 часов.

Суммарные характеристики расчетных моделей получены по условиям "входа-выхода". Результаты расчетов по FlowVision сравниваются с расчетами по одномерной математической модели (ОММ) [3], использующей результаты обобщения экспериментальных данных. Результаты расчетов приведены на рисунках 7 – 14 в виде зависимостей параметров потока от массового расхода (производительности).

Величины и характер изменения рассчитанных по FlowVision и ОММ параметров в зависимости от режима, достаточно близки между собой. Эффективность рабочего колеса "Вариант 2" выше по политропному КПД [4] на 3%, по отношению статических давлений на 6%. При этом значения большинства параметров, вычисленных по FlowVision и ОММ для данного варианта, в расчетной точке практически совпадают. Смещение параметров "Вариант 1 ОММ" по производительности, можно объяснить неточным выбором положения входной кромки D_{1cp} , b_{1cp} (средние диаметр и ширина) и среднего входного угла лопатки $\beta_{1л}$. При проектировании рабочего колеса исполнения "Вариант 2" указанные параметры определяются в процессе расчета геометрии лопатки, т.е. являются более точными.

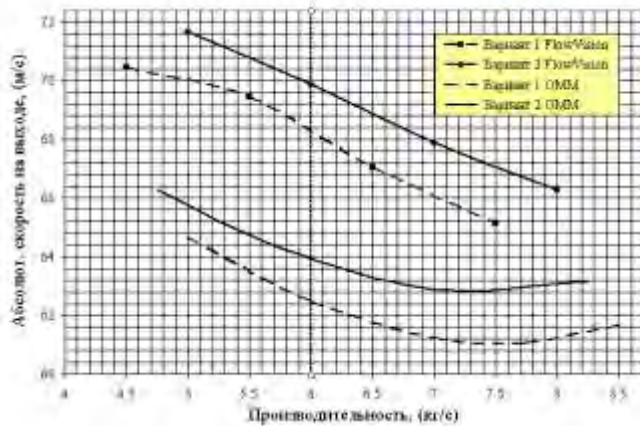


Рис. 7. Зависимость абсолютной скорости на выходе от производительности.

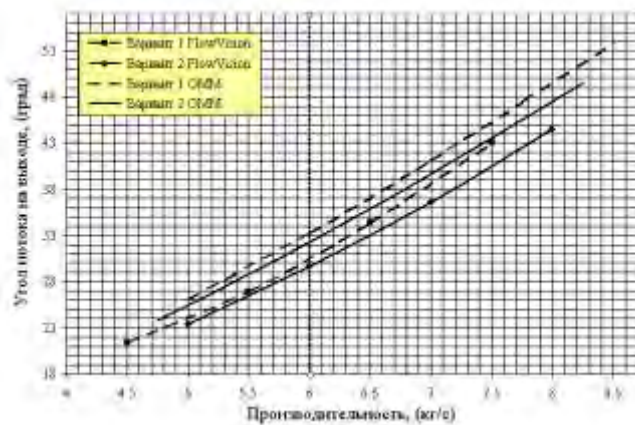


Рис. 8 Зависимость угла потока на выходе от производительности.

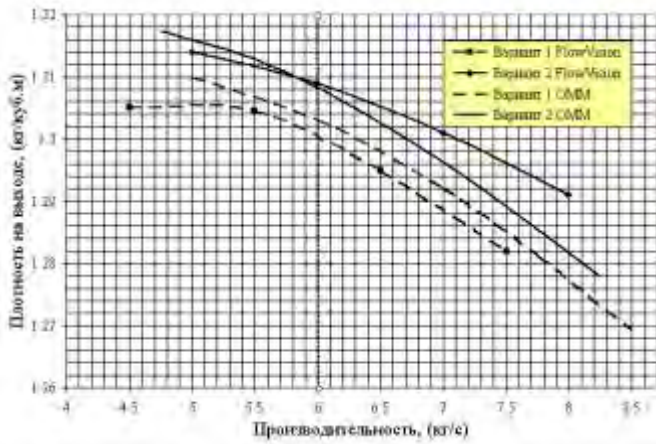


Рис. 9 Зависимость плотности на выходе от производительности.

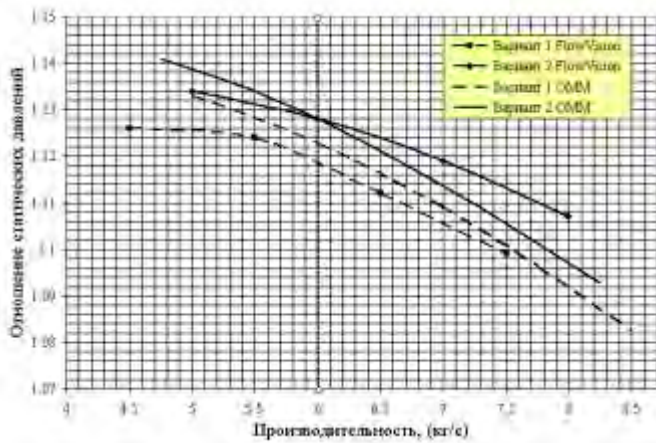


Рис. 10 Зависимость отношения статических давлений от производительности.

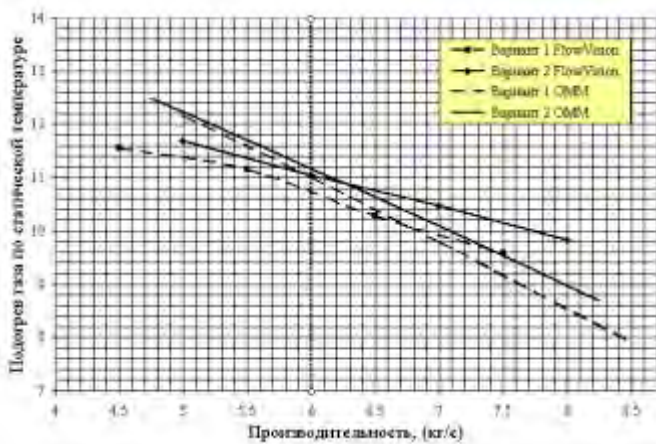


Рис. 11. Зависимость подогрева газа по статической температуре от производительности.

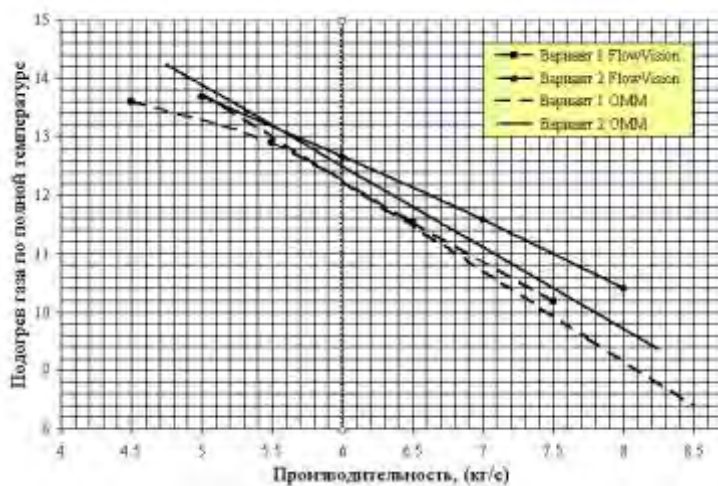


Рис. 12 Зависимость подогрева газа по полной температуре от производительности.

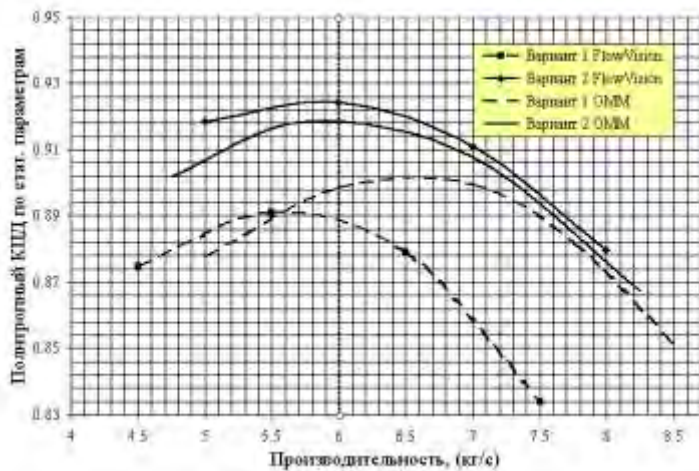


Рис. 13 Зависимость политропного КПД по статическим параметрам от производительности.

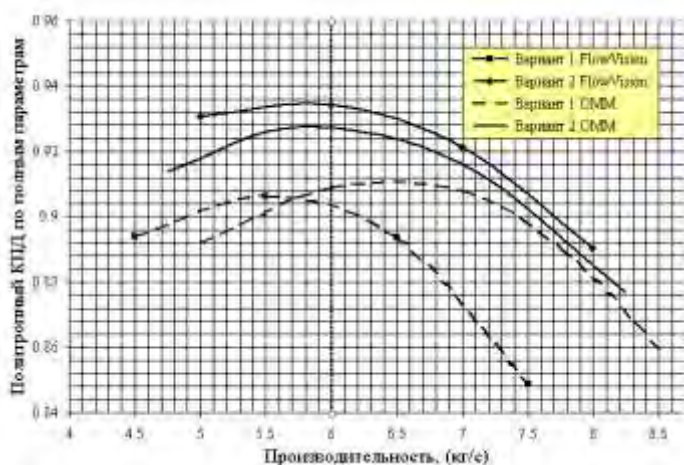


Рис. 14 Зависимость политропного КПД по полным параметрам от производительности.

Проведенные расчетные исследования позволили выбрать рабочее колесо исполнения "Вариант 2" с лопатками из конической поверхности, как более эффективное. Выполненная работа показала удовлетворительное соответствие по значениям и характеру суммарных расчетных (FlowVision) и "расчетно-экспериментальных" (OMM) характеристик. Расчет пространственного вязкого потока с помощью программного комплекса FlowVision представляет практический интерес для проектирования и исследования элементов проточной части центробежного компрессора.

Л и т е р а т у р а

1. Вячкилев О.А. Аналитическое описание формы центробежных рабочих колес с пространственными лопатками// Проектирование и исследование компрессорных машин. Сборник научных трудов под ред. В.Б. Шнеппа. Казань, 1982.– С. 65–72.
2. Вячкилев О.А., Ильин Б.А., Лебедев А.И., Лунев А.Т. Рабочее колесо центробежного компрессора. Патент РФ №21205681998.– 4с.
3. Вячкилев О.А., Дроздов Ю.В., Лунев А.Т. Проектирование центробежных компрессорных ступеней на основе математической модели// Проектирование и исследование компрессорных машин. Сборник научных трудов, Вып. 3. Казань, 1997.– С. 53–64.
4. Рис В.Ф. Центробежные компрессорные машины. 2–е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отд–ние, 1986. – 392с.