



УДК 621.67

## СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОСТУПЕНЧАТОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДАМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ, С РЕАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ

## COMPARISON OF CHARACTERISTICS OF SINGLE-STAGE CENTRIFUGAL COMPRESSOR IS OBTAINED BY THE METHODS OF COMPUTATIONAL GAS DYNAMICS WITH REAL DATA

**Бугай Богдан Александрович**, бакалавр кафедры «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: Lucifer2332@yandex.ru. Тел.: +7(950)659-43-04

**Блинов Виталий Леонидович**, канд. техн. наук, вед. инженер кафедры «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: vithomukyn@mail.ru. Тел.: +7(912)286-37-44

**Bogdan A. Bugai**, bachelor student, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: Lucifer2332@yandex.ru. Ph.: +7(950)659-43-04

**Vitalii L. Blinov**, Candidate Sc., Prof., Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: vithomukyn@mail.ru. Ph.: +7(912)286-37-44

**Аннотация:** Описывается метод исследования течения газа в ЦБК с помощью программного комплекса ANSYS и перепроектирования сменных проточных частей под различные условия течения газа.

**Abstract:** Describes a method to study the flow of gas in PPM by using the software ANSYS and redesign of replacement flow parts under different conditions of gas flow.

**Ключевые слова:** ANSYS; центробежный компрессор; моделирование.

**Key words:** ANSYS; axial compressor; modelling.

Компрессоры получили широкое применение во многих отраслях. Проблема развития и модернизации компрессорного парка страны очень актуальна.

Наиболее показательна ситуация в газовой промышленности. Для транспортировки природного газа по магистральным газопроводам и закачки газа в подземные хранилища изготавливаются газоперекачивающие агрегаты (ГПА). ГПА состоит из газотурбинной установки и центробежного компрессора (ЦБК). Центробежные компрессоры выполняют немаловажную роль в добывающей отрасли. Больше половины всех месторождений в Западной Сибири в настоящее время с падающей добычей, и доля их постоянно возрастает. Это приводит к изменению расхода газа через газопровод [1].

Задача работы заключается в исследовании течения в ЦБК с помощью программного

комплекса ANSYS и перепроектирования сменных проточных частей под различные условия.

Данная работа перспективна ввиду отсутствия затрат на построение натурных моделей и проведение полномасштабных испытаний, работа выполнялась с использованием методов вычислительной газовой динамики, широко используемых в аналитической и инженерной сферах, что также открывает возможность относительно быстрого поиска оптимальной формы проточной части и лопаточного аппарата ЦБК.

В настоящем исследовании проведено построение численной модели проточной части ЦБК типа Н-370. Проведены расчеты при различных параметрах расчетной сетки и моделях турбулентности. Показаны отклонения реальных параметров от значений, полученных при

моделировании течения, проведена попытка обоснования их наличия.

С чертежей рабочего колеса и лопаточного диффузора были сняты координаты проточных частей и размеры для построения лопаток. Построен вспомогательный чертеж для последующего снятия необходимых размеров. Построение моделей рабочего колеса и лопаточного диффузора для дальнейшего использования в моделировании процессов производилось в модуле BladeGen [2]. Для наглядности представлена модель рабочего колеса, построенная по исходным данным (рис. 1).

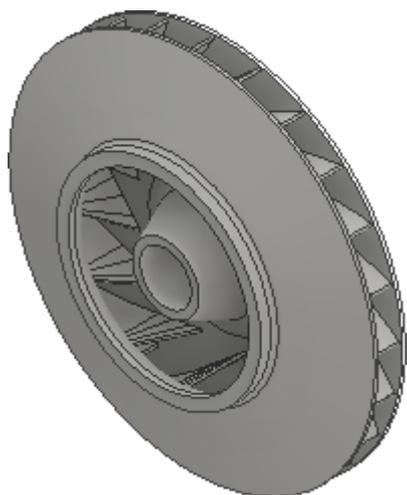


Рис.1. Модель рабочего колеса

Далее, для получения первичной характеристики, была построена численная модель и принята сетка методом Global size factor. За рабочее тело принят

газ метан ( $CH_4$ ), входное давление - 52,8 атм., температура на входе - 288 К, номинальная частота вращения - 4800 об/мин, модель турбулентность k-ε [2].

Результаты численных расчетов сравнивались с характеристиками центробежного компрессора типа Н-370 по данным ООО «ВНИИГАЗ». На основании сравнительного анализа (рис. 2) показано, что полученные при моделировании параметры течения не соответствуют характеристике ЦБК: изодромы смещены в область больших объемных расходов. Определены поправочные коэффициенты, которые соответствуют полученной при расчете погрешности, 20% по расходу и 3,5% по степени повышения давления полученная характеристика была смещена в сторону известной (рис. 3). Данные коэффициенты обуславливаются несколькими допущениями, принятыми при исследовании:

- не учитываются входная и выходная улитки и потери в них;
- не учитываются уплотнения и потери через утечки;
- расчетные данные усредняются по окружности без учета неоднородности токов;
- влияние выбранной модели турбулентности.

Сложности и особенности работы: возможная погрешность снятия необходимых размеров с чертежа модели по умолчанию, ряд допущений и упрощений модели для достижения сходимости на рабочих режимах и упрощения модели, несоответствие испытательных данных с результатами расчета модели по умолчанию.

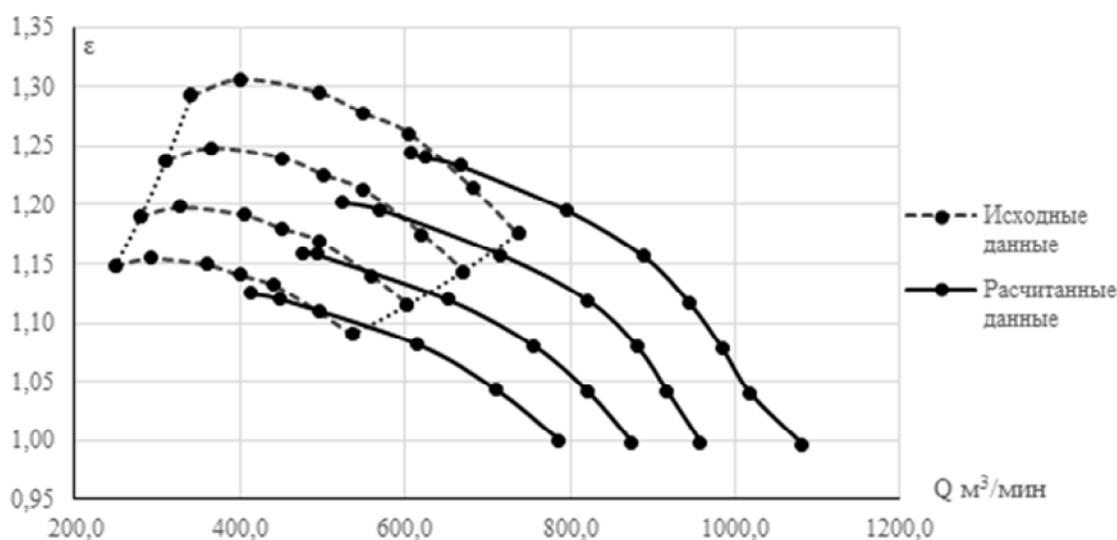


Рис. 2 График сравнения полученных изодром с исходными

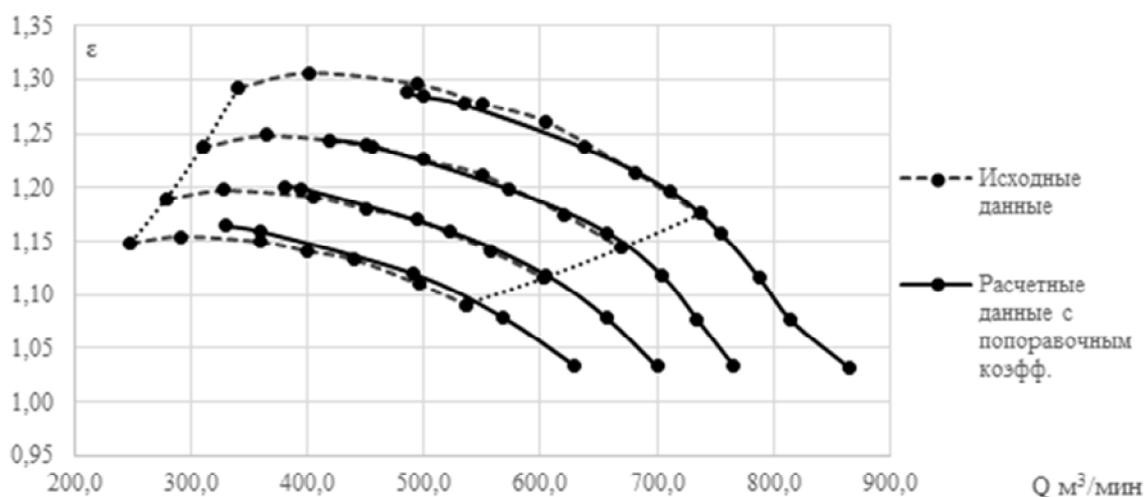


Рис. 3 График сравнения исходных с издромами с поправочными коэффициентами

Сравнение моделей турбулентности и густоты сетки

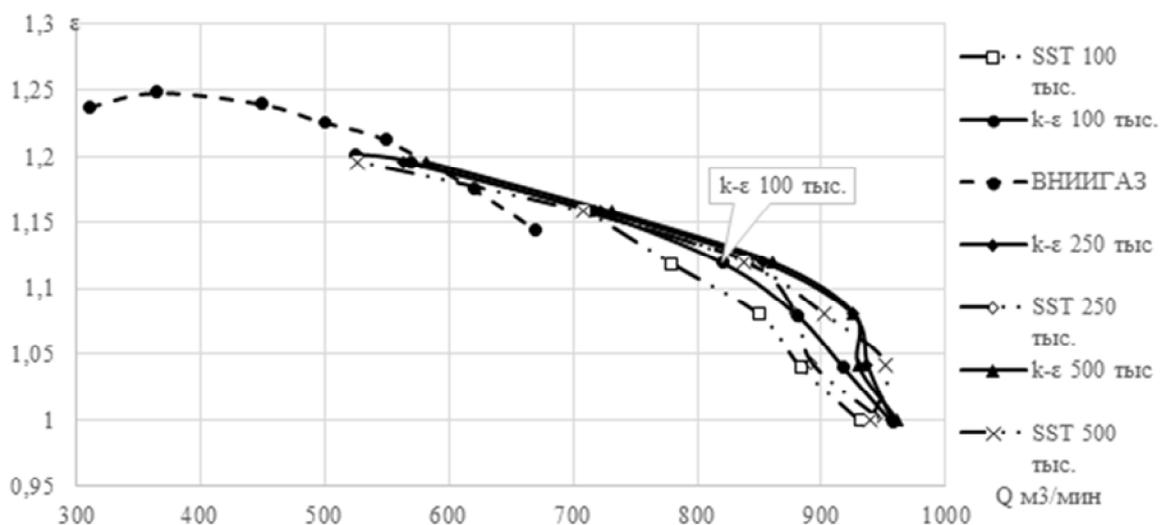


Рис. 4 График сравнения полученных издром

Для минимизации отклонения получаемых значений от расчетных было проведено исследование влияния модели турбулентности, timescale фактора и количества ячеек на полученный результат. В расчетных испытаниях участвовали модели турбулентности k-ε и SST, густоты сетки в 100, 250 и 500 тыс. ячеек, timescale = 0,1; 1; 10.

Густота сетки в ходе исследования оказала влияние больше на время расчета, чем на характер полученных кривых (рис. 4).

Исследование влияния модели турбулентности показало, что влияние на характер кривых невелико, однако, при применении модели k-ε

сходимость расчетов происходила чаще и быстрее (рис. 4).

Величина timescale фактора, отвечающего за скорость и точность расчетов, выбиралась путем просчетов одной из точек рабочего режима и сравнения полученного численного результата и времени, затраченного на расчет. При величинах 1 и 10 расчет сошелся с разницей в 15 минут, но, чем больше значение и скорость расчета – тем больше колебаний сходимости. При значении 0,1 за 1000 итерации расчет сошелся до значения  $10^{-4}$  и полученное значение отличалось от остальных. При выборе больших значений расчет может выполняться в короткие сроки, однако возрастает погрешность расчета.

Анализ итоговых данных показал, что влияние модели турбулентности и количества ячеек при моделировании незначительно, из чего принято решение о применении для дальнейших расчетов модели турбулентности  $k-\varepsilon$  и густоты сетки в 100 тыс. ячеек. Анализ результатов исследования влияния фактора  $\text{timescale}$  показал, что рационально использование значения, равного 1, для умеренной скорости расчета и умеренной погрешности расчета.

В данном исследовании не было учтено влияние входных и выходных улиток, патрубков и утечек через уплотнения, что оставляет почву для дальнейших исследований.

Данная исследовательская работа была направлена на нахождение коэффициентов, учитывающих принятые допущения. На основании проведенного исследования выданы рекомендации по постановке задачи численного исследования течения в проточной части центробежного компрессора, показаны погрешности, полученные при расчетах.

Описанный подход можно использовать для быстрого построения характеристик ЦБК, при этом необходимо учитывать ряд поправок, описанных в работе. Дальнейшим направлением исследования может быть учёт принятых в численной модели допущений с целью повышения точности расчетов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Галеркин, Ю.Б. Методы расчета, обработки экспериментальных данных и проектирования центробежных компрессоров промышленного назначения [Электронный ресурс]: Учеб. пособие / Ю.Б. Галеркин, Л.Я. Стрижак; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. — Санкт-Петербург, 2003.
2. Батулин О.В. Исследование рабочего процесса центробежного компрессора с помощью численных методов газовой динамики: учеб. пособие / О.В. Батулин, Д.А. Колмакова, В.Н. Матвеев – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2013. – 160 с.