

УДК 629.7.03 : 536.24

Л.В. БЕЗВЕРХНЯЯ, Н.Н. ФЕДАРЕНКО, Н.А. СОБОЛЕВА, В.И. ПИСЬМЕННЫЙ*Государственное предприятие «Ивченко-Прогресс», Украина***РАСЧЕТНАЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКИ ДЕФОРМАЦИЙ КОРПУСОВ И ЗАЗОРОВ МАЛОРАЗМЕРНОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА**

Проведены идентификации граничных условий для расчета температурных полей методом конечных элементов, получены деформации деталей центробежного компрессора. Расчетным путем проведен анализ изменения зазора между колесом и крышкой центробежного компрессора. Проведено сравнение полученных результатов расчета с экспериментом.

центробежный компрессор, корпус, колесо, диффузор, идентификация, граничные условия, температурные поля, деформации, зазор, эксперимент

Введение

В связи с достигнутыми успехами в области применения компьютерных программ для тепловых и прочностных расчетов становится актуальной задача идентификации полученных результатов. Это особенно существенно для малоразмерных турбомашин в связи с малыми геометрическими размерами газовоздушного тракта [1]. Так, при высоте лопатки 20 мм зазор в 1% составляет 0,2 мм. Такую величину зазора легко обеспечить. При высоте лопатки 5 мм зазор в 1% составляет 0,05 мм. Такая величина зазора требует высокой стабильности производства и специальных подходов к проектированию. В противном случае невозможно обеспечить заданную эффективность и надежность турбомашин.

В связи с вышесказанным, прогнозирование взаимных перемещений элементов компрессора представляется важной задачей.

1. Цель

Идентификация граничных условий теплообмена для расчета температурных полей и исследование деформаций деталей компрессора с целью минимизации зазоров и повышения эффективности малоразмерных центробежных компрессоров (ЦБК).

2. Объект, расчеты, эксперимент

Объектом исследования был выбран газотурбинный двигатель мощностью 550 л.с., расчетная схема статорных деталей которого представлена на рис. 1 и состоит из переднего корпуса, корпуса компрессора, диффузора, корпусов камеры сгорания и турбины, а также соплового аппарата турбины 1-й ступени. На схеме представлено распределение давления в полостях между вышеназванными деталями.

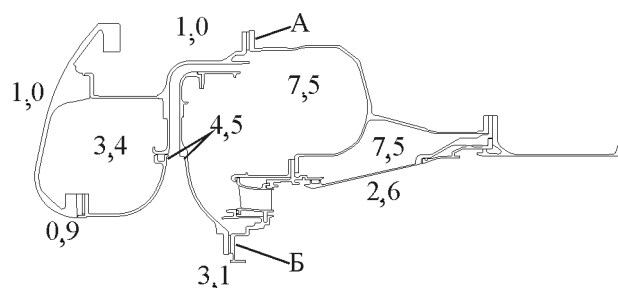


Рис. 1. Схема распределения давлений в полостях между наружным корпусом компрессора, корпусами камеры сгорания и турбины, кгс/см²

Для получения деформаций предварительно был проведен температурный расчет деталей компрессора.

Стационарное поле статорных деталей (рис. 1) было посчитано методом конечных элементов (МКЭ) на взлетном режиме.

Граничные условия получены методом идентификации результатов термометрирования деталей корпуса и крышки ЦБК измерителями максимальной температуры кристаллическими (ИМТК) и термоиндикаторами.

Параллельно было проведено термометрирование корпуса термопарами (рис. 2).

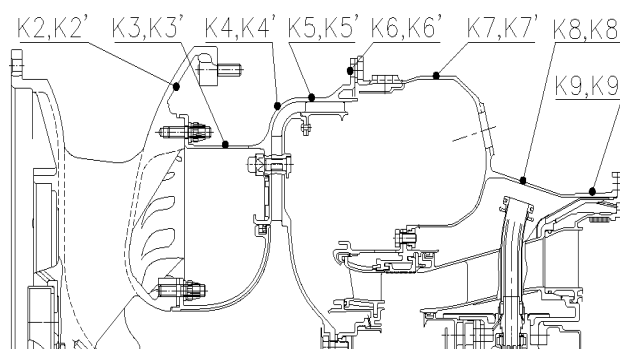


Рис. 2. Термометрирование корпуса термопарами

В табл. 1 приведено сравнение расчетных и экспериментальных значений температур, приведенных к $t_{ex} = +30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Как видно из табл. 1, расчетные и экспериментальные значения температур согласуются достаточно удовлетворительно.

Таблица 1

Сравнение расчетных и экспериментальных температур деталей корпусов

№ термопары	K2	K3	K4	K5
$t_{\text{экспер.}}, ^{\circ}\text{C}$	71	194	310	311
$t_{\text{расчетн.}}, ^{\circ}\text{C}$	54	185	311	310
№ термопары	K6	K7	K8	K9
$t_{\text{экспер.}}, ^{\circ}\text{C}$	248	305	329	397
$t_{\text{расчетн.}}, ^{\circ}\text{C}$	235	299	329	354

Деформации корпуса определялись МКЭ с учетом температурных полей и распределения давлений в полостях между деталями корпуса компрессора, турбины и камеры сгорания. Также расчетным путем было получено распределение сил на фланцы А и Б (рис. 1).

Результаты расчета деформаций деталей корпуса компрессора представлены на рис. 3 – 5.

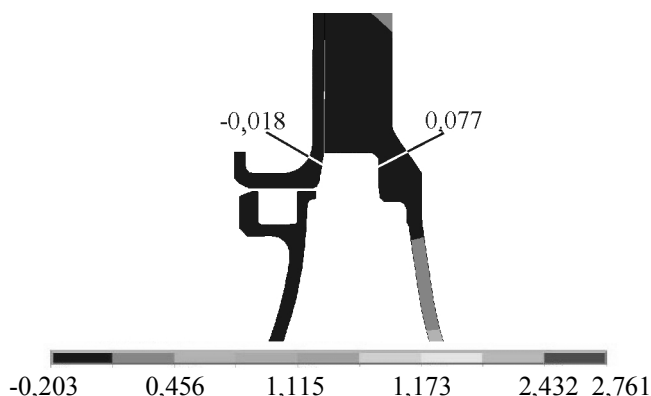


Рис. 3. Перемещение диффузора ЦБК

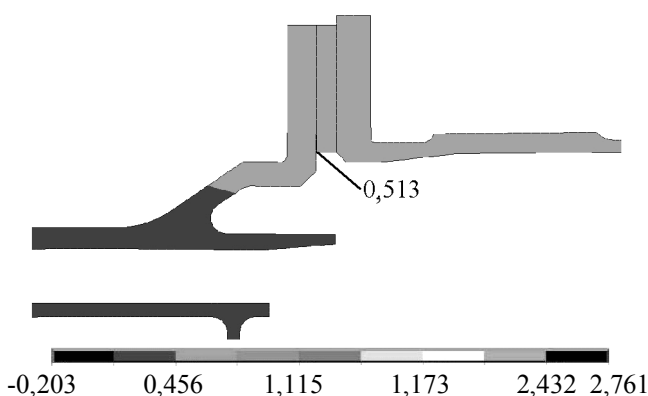


Рис. 4. Перемещение фланца А диффузора ЦБК

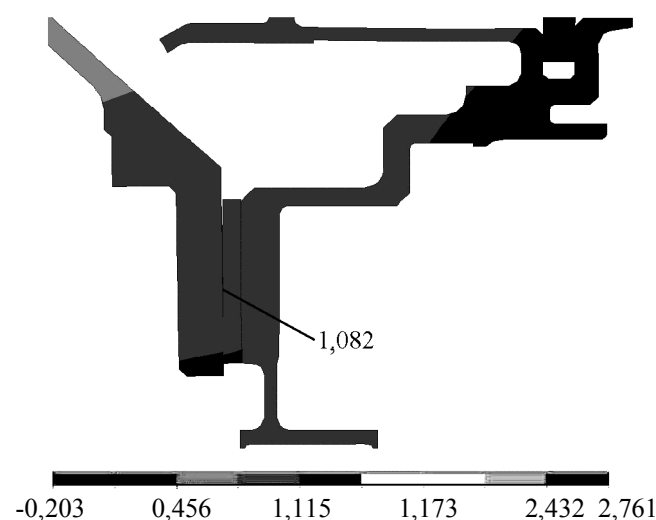


Рис. 5. Перемещение фланца Б диффузора ЦБК

Анализируя результаты расчетов перемещений, следует обратить внимание на осевые перемещения фланца А и Б (рис. 4, 5), которые влияют на

перемещения диффузора относительно крышки ЦБК (рис. 3), что в свою очередь оказывает влияние на поток при выходе из рабочего колеса и существенно ухудшает характеристики компрессора. Расчетное значение осевого перемещения фланца А равно 0,5 мм, фланца Б – 1,08 мм.

Для проверки правильности расчетных перемещений фланца А, был проведен эксперимент по схеме (рис. 6). Проверить экспериментально перемещение фланца Б технологически оказалось сложно.

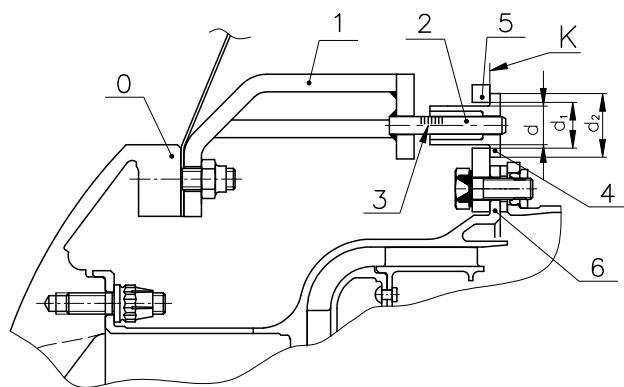


Рис. 6. Схема замера перемещений фланца А диффузора ЦБК

К фланцу корпуса переднего (0) неподвижно закреплен кронштейн, представляющий собой фланец (1). К фланцу приваривается ось (2) с нанесенными насечками (3). На ось с натягом установлена втулка (4) с буртиком. Пластина (5) с отверстием диаметра d неподвижно крепится на фланец диффузора (6). При этом, зазор между пластиной и торцом буртика втулки в сечении К отсутствует. Отметим, что диаметр d_1 больше диаметра втулки d , но меньше диаметра буртика втулки d_2 . При работе двигателя детали диффузора нагреваются и перемещаются, что касается и фланца, вместе с которым перемещается пластина. Она тянет за собой втулку. После останова двигателя детали диффузора остывают и возвращаются в исходное положение. При этом положение втулки относительно оси не меняется. Величину перемещения втулки, а соответственно и

фланца можно определить по насечкам на оси или по величине зазора в сечении К. Эксперимент проводился на стенде 3 раза, в результате статистическая величина перемещения фланца А равна 0.4 мм.

Такое отличие расчетного и экспериментального значений перемещений следует считать удовлетворительным, с учетом точности эксперимента и производственными погрешностями в размерах, допущенных при изготовлении деталей корпуса.

Экспериментальное подтверждение перемещений деталей корпуса обязывает учитывать этот факт на стадии проектирования и доводки с целью улучшения характеристик компрессора.

Также расчетным путем проведен анализ изменения зазора между колесом и крышкой ЦБК в различные моменты времени. Для этого просчитывались температурные поля и деформации в заданные моменты времени.

Тепловой расчет центробежного колеса был проведен МКЭ при следующем регламенте прогрева двигателя: запуск, земной малый газ – 1 мин, взлетный режим – 2 мин.

Тепловой расчет крышки ЦБК выполнен МКЭ при том же регламенте прогрева двигателя, что и центробежное колесо.

Граничные условия получены методом идентификации результатов термометрирования колеса и крышки ЦБК датчиками ИМТК и термоидикаторами.

Результаты теплового расчета на 2 мин взлетного режима представлены на рис. 7, 8.

Деформации колеса и крышки ЦБК были выполнены МКЭ с учетом температурных полей, соответствующих каждому моменту времени, нагрузок от центробежных сил и распределения давлений в полостях деталей.

На основе полученных перемещений колеса и крышки ЦБК рассчитывалось изменение зазора между ними в разные моменты времени. Результаты

представлены в виде графиков на рис. 9 и подтверждаются экспериментом: при зазоре 0,35 мм присутствуют следы легкого касания.

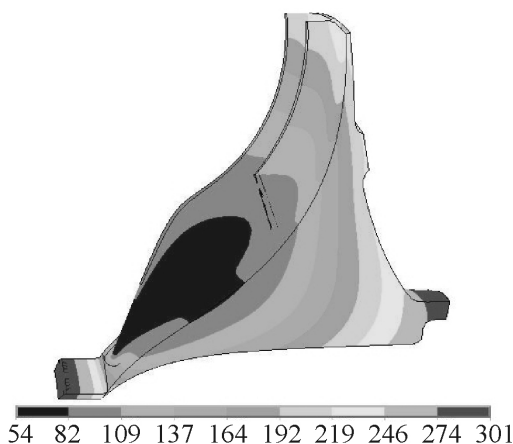


Рис. 7. Температурное поле центробежного колеса на 2 мин взлета

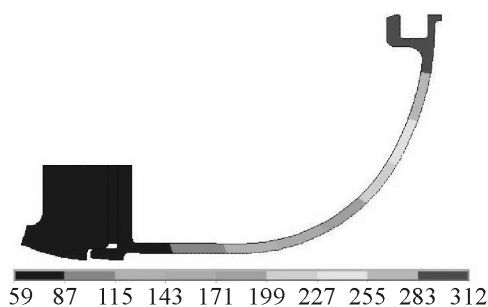


Рис. 8. Температурное поле крышки ЦБК на 2 мин взлета

Выводы

Путем идентификации граничных условий с экспериментальным термометрированием просчитаны температурные поля деталей компрессора. Расчетные температуры использовались для определения деформаций деталей компрессора.

При расчете деформаций деталей корпусов было обнаружено перемещение фланцев корпуса и диффузора относительно крышки ЦБК на выходе из рабочего колеса для принятой конструкции. Данные перемещения подтвердились экспериментально.

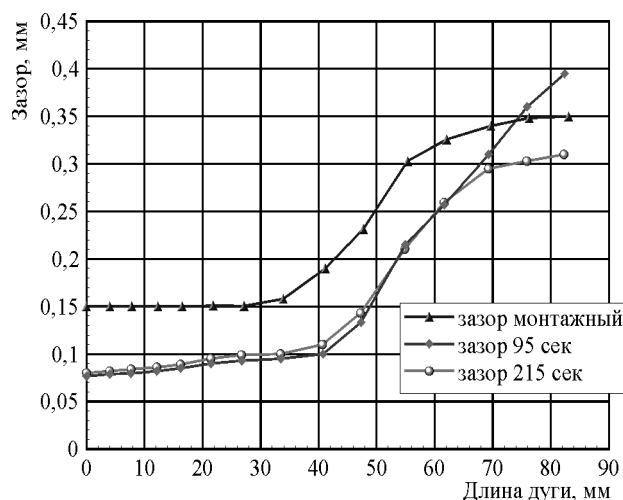


Рис. 9. Изменение зазора между крышкой и колесом ЦБК в разные моменты времени

Разницу расчетных и экспериментальных перемещений диффузора можно считать удовлетворительной, с учетом точности эксперимента и производственных погрешностей в размерах, допущенных при изготовлении деталей корпуса

Данный факт необходимо учитывать на стадии проектирования и доводки с целью улучшения характеристик и повышения эффективности компрессоров.

Расчетным путем было получено изменение зазора между крышкой и колесом ЦБК, которое подтвердилось экспериментально.

Литература

1. Ржавин Ю.А. Осевые и центробежные компрессоры двигателей летательных аппаратов: теория, конструкция и расчет. – М.: МАИ, 1995. – 344 с.

Поступила в редакцию 1.06.2007

Рецензент: канд. техн. наук, Главный конструктор И.Ф. Кравченко, ГП «Ивченко-Прогресс», Запорожье.