

сти ОЭМ равной 15 кВт.

Контрольная проверка по результатам безмоторных испытаний, каких-либо нарушений конструкции и вредных контактов не выявила, что характеризует данную конструкцию турбоэлектрокомпрессора работоспособной.

Для оценки изменения характеристики двигателя были проведены расчеты двигателя 6ЧН 13/15,6 мощностью 550 кВт, в которых оценивалась величина изменения мощности и крутящего момента, при разной мощности ОЭМ (рисунок 7). Таким образом, при мощности ОЭМ 5 кВт увеличение мощности двигателя в диапазоне частот вращения коленчатого вала 1000 – 1400 об/мин составляет ~ 11%, при мощности ОЭМ 10 кВт – 21%, а при мощности ОЭМ 15 кВт – 31%.

Литература

1. Пинский Ф.И., Давтян Р.И., Черняк Б.Я. Микропроцессорные системы управления автомобильными двигателями внутреннего сгорания. Учебное пособие. – М. «Легион-Автодата». 2002. 136 с. ил.
2. Работа политехнического института г. Турин, Италия совместно с компаниями Iveco S.P.A, Италия и Holset Turbochargers, Великобритания. 2005.

Обзор проблемы течения влажного воздуха в турбодетандерах

Мартьянов О.А., д.т.н. проф. Меркулов В.И.
Университет машиностроения
mera13@yandex.ru

Аннотация. В статье приведены результаты анализа влияния влажности воздуха на работу турбодетандера.

Ключевые слова: пульсации давления, влажный воздух, воздушная турбина, обледенение

Для современной авиации чаще всего характерны большие высоты полета, на которых влажность атмосферного воздуха относительно мала и ее влияние на работу и характеристики авиационных систем можно не принимать во внимание. Однако на ряде режимов полета, в таких как полеты на малой высоте, в летний период в районах с высокой относительной влажностью и высокой температурой окружающей среды, количество водяных паров в атмосфере может оказаться столь значительным, что становится неизбежной конденсация влаги в агрегатах авиационных систем.

Исходя из рисунка 1, очевидно, что при полетах на определенных высотах и в различных климатических зонах появляется опасность обледенения как проточной части турбомашины, так и агрегатов, расположенных в системе кондиционирования. В связи с этим стоит отметить, что подобные факторы могут играть значительную роль как в надежности работы турбокомпрессора, так и в надежности и долговечности всей системы. По вопросам, связанным с данной проблемой, проводится большое количество исследований, ставящих перед собой различные задачи. Многие работы ведутся с упором на экспериментальные данные, например, оценка характера изменения работы турбокомпрессора при введении в него капельной влаги различного размера. Однако на данный момент также проводятся исследования, которые касаются поведения влаги в потоке, ее конденсации и воздействия на лопатки (разрушение лопаток, пульсации давления в потоке). Данные исследования способны содействовать формированию комплексного подхода к данной проблеме.

После оценки приведенных данных можно сделать выводы о характере изменений в работе турбокомпрессора, проанализировать показатели наличия влаги в капельной форме и разработать методику предупреждения обледенения, которая в дальнейшем позволит избежать негативных последствий, связанных с наличием крупнодисперсной влаги в проточной части турбокомпрессора.

Далее рассматриваются работы, в которых раскрываются вопросы поведения влажного

воздуха в турбодетандере и его работа при различных режимах.

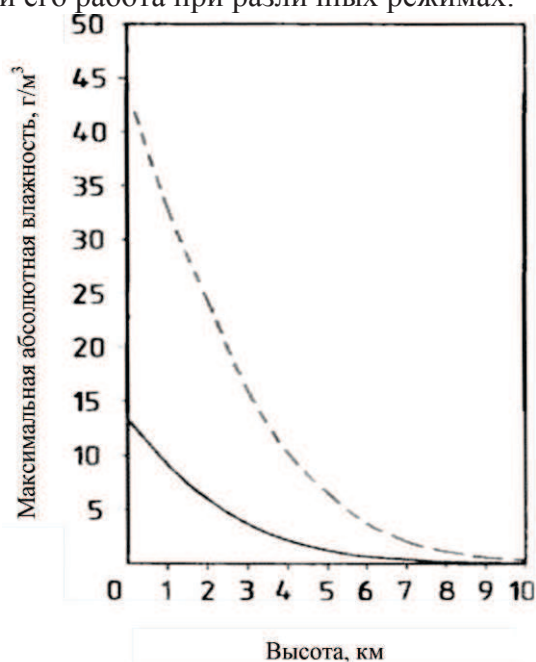


Рисунок 1. Зависимость максимальной абсолютной влажности воздуха от высоты полета: - - - для стандартных атмосферных условий; - - - - для повышенных на 22 °C температур

По исследованию поведения крупнодисперсной фазы в лопатках турбокомпрессора проводилась аналитическая и экспериментальная работа. Были проведены эксперименты по наблюдению за поведением волновой структуры влаги, отбрасываемой турбокомпрессором и скачками уплотнения давления за лопатками.

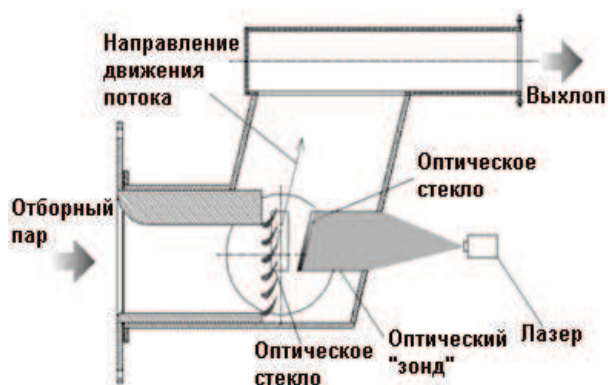


Рисунок 2. Экспериментальный стенд для проведения испытаний

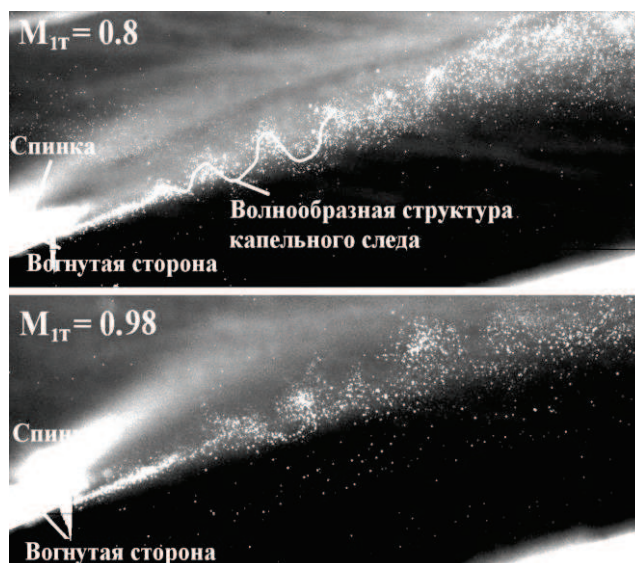


Рисунок 3. Структура каплевого потока за фронтом решетки

На приведенном стенде (рисунок 2) проводились эксперименты по получению характеристик обтекания потоком плоских решеток. На основе анализа мгновенных снимков влажнопарового потока (рисунок 3), полученных методом лазерной диагностики, рассмотрены характерные особенности образования жидкой фазы и формирования структуры двухфазного потока пара в сопловой решетке.

Для измерения абсолютного давления (постоянной и переменной составляющих) потока в исследуемом объекте использовались пьезорезистивные датчики XTEL-140M-1,7. Для исследования пульсаций статического давления в косом срезе решетки заподлицо с бандаж-

ной пластиной установлено 5 датчиков (рисунок 4).

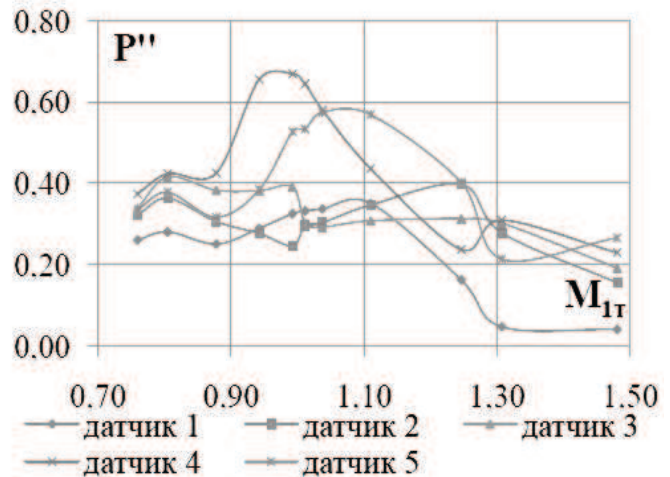
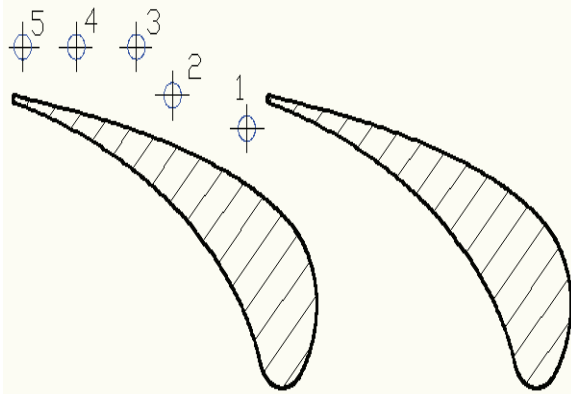


Рисунок 4. Схема расположения датчиков абсолютного давления

Рисунок 5. Динамический уровень пульсации по датчикам абсолютного давления

Результаты, снимаемые с датчиков абсолютного давления, приведены на рисунке 5.

На рисунке 5 приведены графики динамического уровня пульсации P'' по датчикам к числу Маха, где: P'' – изменение уровня динамических пульсаций, M_{1T} – число Маха.

На основании зависимости, приведенной на графике, можно сделать вывод, что наиболее информативным для определения показателя уровня пульсации давления является датчик 5, установленный в непосредственной близости к выходной кромке лопатки.

Также ранее проводились испытания турбокомпрессора, в который вводилась капельная влага.

Практика эксплуатации быстроходных турбокомпрессоров, выступающих в роли расширительных машин (турбодетандеров) показала, что влажный воздух приводит в определенных условиях к обледенению проточной части турбокомпрессора, что вызывает разрушение рабочих лопаток. На рисунке 6 отмечены зоны, в которых происходит разрушение.

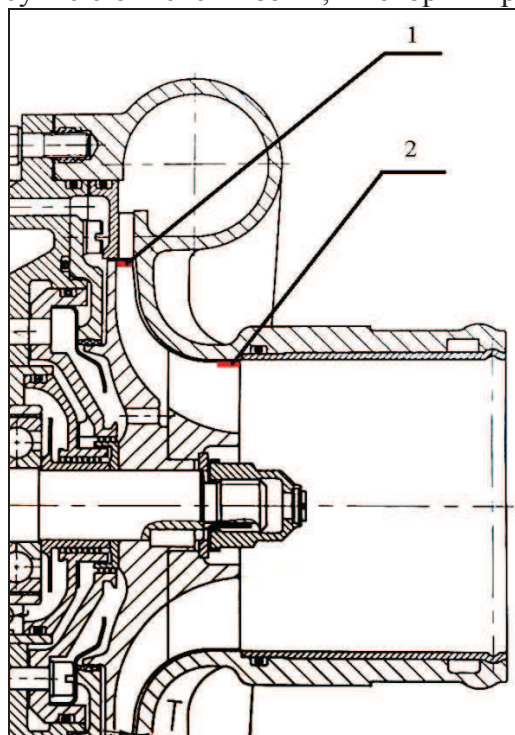


Рисунок 6. Зоны ТК подверженные разрушению

Зона 1 – характеризуется наличием свободной влаги, создающей капельный вихрь на кончиках колеса, что приводит к эрозионному воздействию на СА, вызывая разрушение лопа-

ток, как колеса ТК, так и СА (рисунок 7).

Зона 2 – характеризуется наличием твердой фазы на выходе из колеса ТК, что создает механическое воздействие на основание колеса, что в свою очередь приводит к его разрушению, вызывает низкочастотную вибрацию, снижает КПД, вызывает рост температуры на выходе из ТК. Является источником ледяных пробок в системе (рисунок 8).

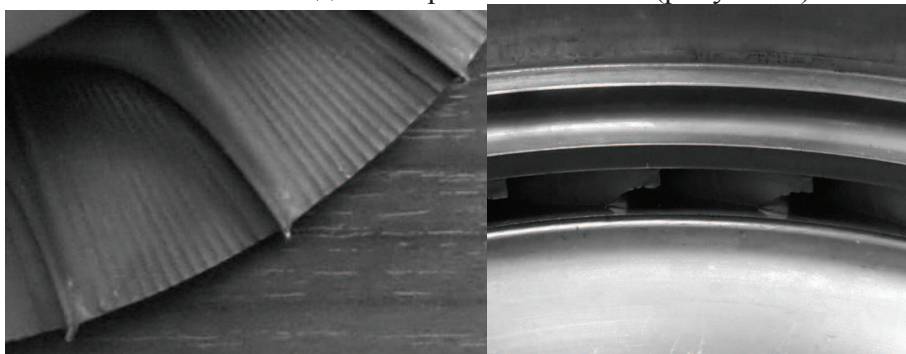


Рисунок 7. На изображении видно, какие области лопаток ТК и СА подвергались разрушению в процессе работы

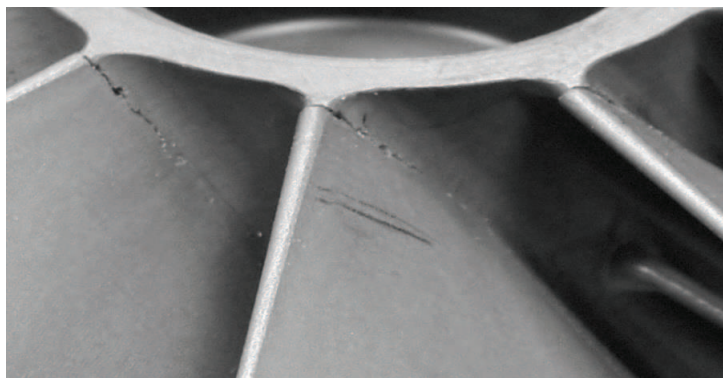


Рисунок 8. На изображении видно разрушение основания лопатки ТК вследствие воздействия твердой фазы

В результате экспериментов, проводившихся на ТК на влажном воздухе, было выявлено, что количество выпавшей влаги изменяется от режима к режиму от 0 до 2,5 г на 1 кг воздуха. При появлении капельной влаги в проточной части ТК отмечается колебание числа оборотов ротора, чего не происходило при испытании ТК на сухом воздухе. При этом, если число оборотов превышало 58000 об/мин, колебание числа оборотов заметно возрастало. С разной частотой, число оборотов резко снижалось на 3 – 5 тыс.об/мин, затем восстанавливалось до первоначального. Работа ТК свыше 58000 об/мин возможно, однако, при этом сильно увеличивается колебание числа оборотов, а эффективность ТК снижается (рисунок 9).

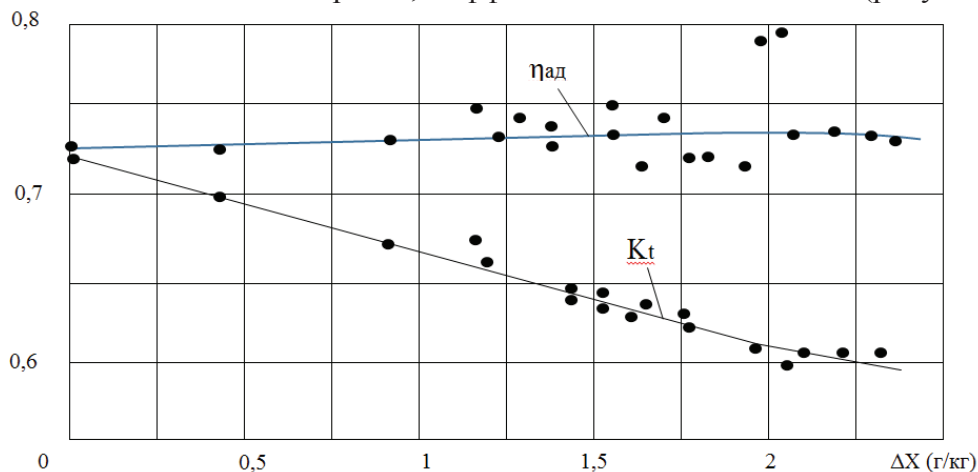


Рисунок 9. Влияние количества выпавшего конденсата на адиабатический КПД и температурный коэффициент K_t при $t=27$ °С, $n=50000$ об/мин

На рисунке 9 температурный коэффициент вычислялся по формуле:

$$K_t = \frac{T_0 - T_2}{T_0 - T_{2t}},$$

где: T_0 – температура воздуха на входе в детандер;

T_2 – температура воздуха на выходе из детандера;

T_{2t} – расчетная температура на выходе при расширении сухого воздуха.

Для объективной диагностики момента начала обледенения или момента критических условий, при которых возникает риск обледенения, требуется решение следующих задач:

- проведение численных экспериментов по газовой динамике движения газового потока по проточной части лопаточной машины с изменением количества влаги в рабочем воздухе, вплоть до начала момента кристаллизации;
- термодинамический анализ теплообмена между воздухом и льдом (с учетом теплоты, затраченной на кристаллизацию);
- выбор диагностического признака для обоснования момента ликвидации твердой фазы (льда) в потоке воздуха.

Литература

1. Антонова Н.В., Шустров Ю.М. Проектирование авиационных систем кондиционирования воздуха. М.: Машиностроение, 1997. С. 219-228.
2. Ардашев В.И. Исследование работы турбодетандера на воздухе, насыщенном водяными парами // Глубокий холод и кондиционирование: Тр. МВТУ. 1969.
3. Епифанова В.И. Компрессорные и расширительные турбомашин радиального типа. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1998. С. 444-456.
4. Мартыанов О.А., Меркулов В.И. Анализ обледенения проточной части транспортных турбокомпрессоров // Известия МГТУ «МАМИ», № 3(21), 2014.

Углеродные материалы для деталей ГТД и ДВС, проблемы и перспективы

к.т.н. Пятов И.С., доц. Шибоев О.В., проф. Бузинов В.Г., проф. к.т.н. Макаров А.Р.,
доц. к.т.н. Костюков А.В., доц. к.т.н. Поседко В.Н., к.т.н. Финкельберг Л.А.,
к.т.н. Костюченков А.Н.

ООО «РЕАМ-РТИ», Университет машиностроения, ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»
kostukov123@yandex.ru

Аннотация. Приведены результаты применения углеродосодержащего материала «КАРБУЛ» для изготовления поршней двигателей внутреннего сгорания. Рассмотрена технология изготовления поршней из материала «КАРБУЛ». Показаны перспективы применения материала «КАРБУЛ» для малоразмерных газотурбинных двигателей.

Ключевые слова: углеродосодержащие материалы, поршень, газотурбинный двигатель, теплообменник, центробежный компрессор

Совершенство двигателей определяется совокупностью свойств, среди которых основополагающими являются: топливная экономичность, экологичность, удельная материалоемкость, габаритно-массовые показатели, стоимость и ресурс.

На эти свойства значительное влияние оказывает выбор материалов деталей: у газотурбинных двигателей (ГТД) для роторов компрессорной и турбинной ступеней, вращающегося рекуперативного теплообменника, у поршневых двигателей (ПД) – цилиндро-поршневой группы: головки и блока цилиндров, шатуна, и, особенно, выбор материала для поршня. Кроме того, реализация свойств материала в изделиях, включая стоимость, связана с технологичностью – количеством и энергоемкостью технологических переходов от получения заготовки до конечного продукта.