

рудование автомобилей, тракторов и их роботизированных производств. – М.: МАМИ, 1992, - с. 101-105.

3. Tom Denton Automobile Electrical and Electronic Systems.// Associate Lecturer, Open University. - 2010, - с 110-127.

### **Анализ обледенения проточной части транспортных турбокомпрессоров**

Мартьянов О.А., д.т.н. проф. Меркулов В.И.  
Университет машиностроения  
(495) 223-05-23, доб. 1054

*Аннотация.* В статье содержится обзор возможных последствий обледенения проточной части транспортных турбокомпрессоров, работающих на влажном воздухе, с указанием проблемных участков, подвергающихся разрушению в процессе работы.

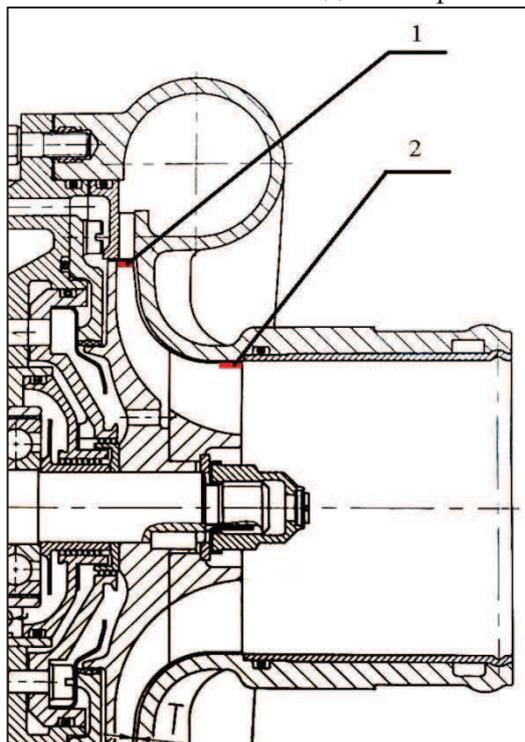
*Ключевые слова:* транспортный турбокомпрессор, обледенение.

Практика эксплуатации быстроходных турбокомпрессоров, выступающих в роли расширительных машин (турбодетандеров) показала, что влажный воздух приводит в определенных условиях к обледенению проточной части турбины турбокомпрессора, что вызывает разрушение рабочих лопаток. Проблемами работы турбокомпрессоров, работающих на влажном воздухе, в разные периоды времени занимались: П.Л. Капица, Д.И. Плачендовский, В.И. Ардашев.

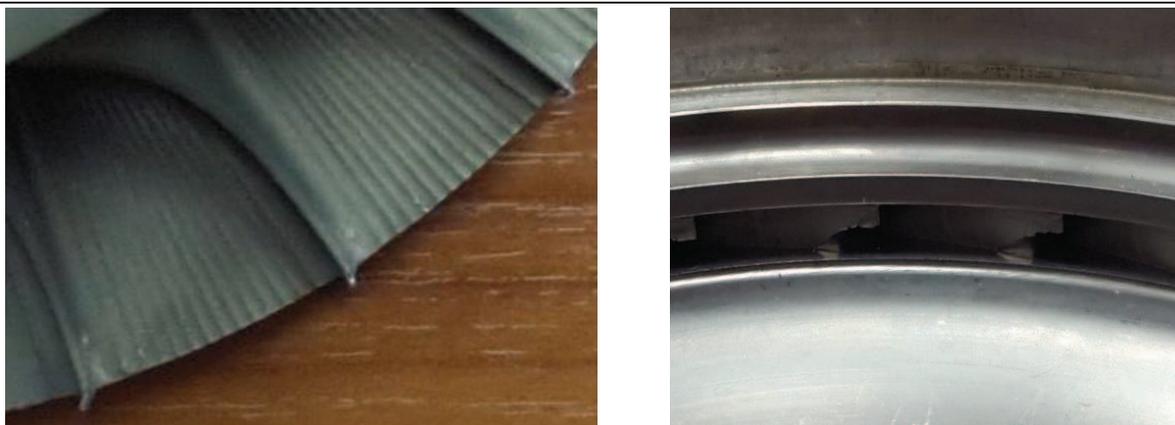
На рисунке 1 отмечены зоны, в которых происходит разрушение.

Зона 1 характеризуется наличием свободной влаги, создающей капельный вихрь на кончиках колеса, что приводит к эрозионному воздействию на сопловой аппарат (СА), вызывая разрушение лопаток, как колеса турбины, так и СА.

Зона 2 характеризуется наличием твердой фазы на выходе из колеса турбины, 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 турбины. Является источником ледяных пробок в системе.



**Рисунок 1. Зоны ТК, подверженные разрушению**



**Рисунок 2. На изображении видно, какие области лопаток турбины и СА подвергались разрушению в процессе работы**



**Рисунок 3. На изображении видно разрушение основания лопатки колеса турбины вследствие воздействия твердой фазы**

В.И. Ардашевым проводились эксперименты по исследованию работы турбокомпрессора, работающего на влажном воздухе. Для эксперимента был выбран турбокомпрессор радиального центробежного типа конструкции МВТУ им. Баумана со следующими параметрами:

Диаметр колеса на входе	0,06 м
Ширина колеса на входе	0,0034 м
Давление воздуха на входе в турбину	$136,5 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$
Давление воздуха на выходе из турбины	$84,1 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$
Температура на входе в турбину	113 К
Расход воздуха	0,41 кг/сек
Частота вращения ротора	58700 об/мин

В результате экспериментов (рисунок 4), проводившихся на описанном выше ТК на влажном воздухе, было выявлено, что количество выпавшей влаги изменяется от режима к режиму от 0 до 2,5 г/кг сух.возд. При появлении капельной влаги в проточной части турбины отмечается колебание частоты вращения ротора, чего не происходило при испытании ТК на сухом воздухе. При этом, если частота вращения превышала 58000 об/мин, колебания числа оборотов заметно возрастают. С разной частотой число оборотов резко снижалось на 3-5 тыс.об/мин, а затем, восстанавливалось до первоначального. Работа ТК при частоте вращения свыше 58000 об/мин возможна, однако при этом сильно увеличивается колебание числа оборотов, а эффективность турбины снижается.

На рисунке 4:

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

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.

$$\eta_{ад} = \frac{AL_{тех}}{h_t},$$

где:  $AL_{тех}$  – техническая работа, совершенная одним килограммом рабочей среды в тепловых единицах;

$h_t$  – располагаемый теплоперепад.

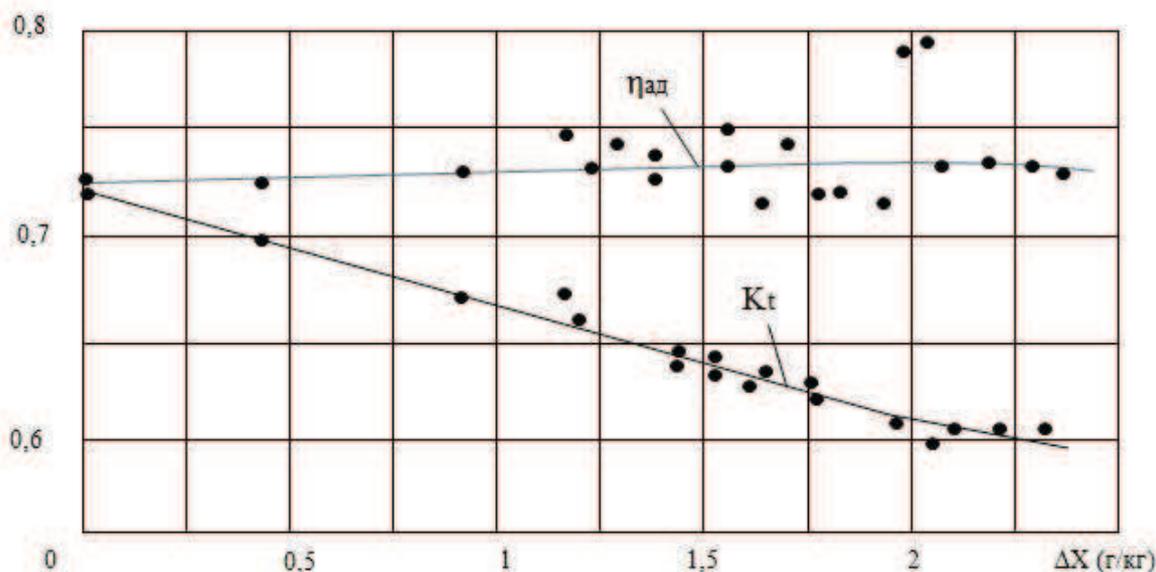


Рисунок 4. Влияние количества выпавшего конденсата на адиабатический КПД и температурный коэффициент  $K_t$ . При  $t=27^\circ\text{C}$ ,  $n=50000$  об/мин

#### Цель дальнейшей работы

Объективная диагностика момента начала обледенения или момента критических условий, при которых возникает риск обледенения, требует решения следующих задач:

- проведение численных экспериментов по 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 признаков диагностики 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. Елифанова В.И. Компрессорные и расширительные турбомашин радиального типа. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1998. С. 444-456.

#### Особенности технологии защиты воздушной среды объектов автотранспортного комплекса

д.т.н. проф. Михайлов В.А., к.т.н. доц. Шарипова Н.Н.  
 Университет машиностроения  
 (495) 223-05-23, доб. 1587, avt@mami.ru

*Аннотация.* Рассмотрены вопросы нормирования санитарных параметров и технологии защиты внутренней и внешней среды стационарных и мобильных объектов автотранспортного комплекса от теплоступлений и вредных загрязнений с учётом их производственной специфики и требований по энергосбереже-