

УДК 622.691.4.052

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА (ГПА) С АВИАЦИОННЫМ ГАЗОТУРБИНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ, ПУТЕМ СОЗДАНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРОВКИ ТРАНСМИССИИ

В. П. Голуб¹, В. К. Итбаев², Ю. В. Лукащук³

¹golubvp@mail.ru, ²okmim@ugatu.ac.ru, ³okmim@ugatu.ac.ru

¹ООО «Газпром», Санкт-Петербургское территориальное управление
^{2,3}ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 1 июня 2014 г.

Аннотация. Порядка 70 % природного газа в России перекачивается с помощью газоперекачивающих агрегатов (ГПА), имеющих в качестве силового привода авиационный газотурбинный двигатель. Основными типами ГПА, имеющими среднюю наработку свыше 60 000 ч, являются ГПА-Ц-16, ГПА-Ц-18, которые эксплуатируются с 1983 г. С увеличением наработки увеличивается время нахождения ГПА в ремонте и уменьшается межремонтный период. Одной из малоизученных причин износа и отказов является нарушение в процессе эксплуатации центровки трансмиссии ГПА (вальное соединение силовая турбина–нагнетатель), что приводит к увеличению вибраций ГПА и износу. Создана база данных показателей технического состояния турбоагрегатов 227 турбоагрегатов восьми компрессорных станций Надымского региона ООО «Тюменьтрансгаз», позволяющая прогнозировать состояние ГПА и предотвратить появление отказов в процессе эксплуатации, а также рационально спланировать очередной ремонт.

Ключевые слова: газоперекачивающий агрегат; авиационный привод; наработка; ремонт; трансмиссия; центровка; вибрация; дефекты; отказ.

В настоящее время более 85 % суммарной мощности газоперекачивающих агрегатов (ГПА) на компрессорных станциях (КС) ОАО «Газпром» приходится на долю ГПА с газотурбинными приводами, остальная доля приходится на ГПА с электрическим или поршневым приводом. В свою очередь наиболее широкое применение среди ГПА с газотурбинным приводом получили ГПА с приводом от авиационных газотурбинных двигателей.

Широкому распространению последних способствовали следующие факторы:

- высокая единичная мощность (от 6 до 25 МВт);
- небольшая масса и габариты, особенно при блочно-контейнерном исполнении. Масса таких ГПА, по сравнению со стационарными ГТУ, оказывается в 2–4 раза меньше при мощностях 10–25 МВт;
- ГПА с авиационными ГТД третьего и особенно четвертого поколения обеспечивают

значения эффективного КПД $\eta_e = 0,35..0,38$, что обусловлено высокими параметрами рабочего процесса авиационного ГТД: степени повышения давления в компрессоре $\pi_k^* = 25 - 25$ и температуры газов $T_T^* = 1300..1600$ К;

- более низкое содержание вредных выбросов в атмосферу при работе ГПА с авиационными двигателями благодаря особенностям их рабочего процесса и высокому конструктивному совершенству;

- сокращение капитальных затрат при строительстве компрессорных станций и газопровода в целом;

- сокращение времени ввода в эксплуатацию КС.

В 1981 г. был создан газоперекачивающий агрегат ГПА-Ц-16 с авиационным приводом НК-16СТ в блочно-контейнерном исполнении, значительно большей энергоемкости по сравне-

нию с ГПА-Ц-6,3. На сегодняшний день только на 8 КС Надымского региона ООО «Тюмень трансгаз» используется 227 ГПА-Ц-16.

В последние годы разработаны и внедрены на предприятиях ОАО «Газпром» новые ГПА с более совершенными техническими показателями авиационных приводов на базе авиационных двигателей IV поколения ПС-90ГП-1, ПС-90ГП-2, ПС-90ГП-25, НК-38СТ, НК-36СТ, АЛ-31СТ.

Дальнейшему широкому применению ГПА с новым авиационным приводом способствовали следующие причины:

- заложенная в новых конструкциях авиадвигателей высокая безотказность и надежность;
- высокая контролепригодность и ремонтнопригодность при использовании современных авиадвигателей модульной (блочной) конструкции.

Для обеспечения высокой безотказности, заданной надежности, больших ресурсов и низких эксплуатационных расходов, наряду с традиционной системой технического обслуживания и ремонта ГПА, требуется разработка и внедрение прогрессивных методов оценки технического состояния турбоагрегата.

Очевидной становится необходимость создания единой базы данных по контролю за техническим состоянием эксплуатируемых ГПА.

Такая база данных для ГПА-Ц-16, 18СТ по Надымскому ПТУ «Надым газремонт» была создана по инициативе и с личным участием В. П. Голуба.

С увеличением эксплуатационной наработки ГПА количество отказов возрастает. С целью повышения надежности работы агрегата для изучения были выбраны наименее исследованные отказы по механической части, связанные с износом и разрушением деталей и узлов вального соединения «свободная турбина–нагнетатель», сопровождающиеся повышением вибрации по СТ и передней опоре нагнетателя и отказом ГПА (останов ГПА).

Работа, проведенная в ООО «Газпром трансгаз Югорск», по изучению изменения соосности (центровки) вального соединения (трансмиссии) СТ – нагнетатель показала значительное ее изменение в процессе эксплуатации.

Единая база данных по ремонту была создана для оперативного управления проведением ремонтов, контроля качества заявленных работ, своевременного обеспечения запасными частями и накопления опыта по влиянию технических показателей ГПА на вибрационное состояние конкретных агрегатов. Согласно приказу №142 по производственно-техническому управ-

лению «Надым газремонт», ООО «Тюмень трансгаз» и п. 3.1.4 Положения 1 «О порядке планирования капитальных и средних ремонтов и регламентно-технического обслуживания ГПА оборудования КС, до вывода ГПА в регламент, ремонт», проводилось снятие его технических параметров, т.е. входной контроль, результаты которого вносились в форму 1 до ремонта (табл. 1, рис. 1 и табл. 2, 3):

1) табл. 1 отражает основную информацию о ГПА (далее в скобках конкретные числовые данные по рассматриваемому турбоагрегату), а именно: дата и время проведения контроля (19.11.07, 10.00); номер КС (1), на которой эксплуатируется данный агрегат; стационарный номер турбоагрегата (11); общая наработка данного ГПА в часах (78 687); наработка ГПА после капитального ремонта (11 970); тип ГПА (ГПА-Ц-16); тип нагнетателя (НЦ-16/76 – 1,5); заводской номер трансмиссии (Ц1271); тип трансмиссии (1.4300.4.7125.000СБ).

2) карта замеров (рис. 2) с результатами измерений перекоса осей в соединениях «двигатель–муфта» и «муфта–нагнетатель», причем по каждому соединению в 4 различных плоскостях А-А', Б-Б' и т. д. с указанием показаний индикаторов часового типа.

3) табл. 2 с рассчитанными на основании показаний индикаторов величинами перекосов осей ψ , мм в соединениях «двигатель–муфта», «муфта–нагнетатель» на базовой длине промежуточного вала.

4) табл. 3 с измеренными значениями параметров технического состояния агрегата, здесь: $T_{од1}$ – температура в отсеке двигателя на уровне торсионного вала; $T_{од2}$ – температура в отсеке двигателя на уровне подмоторной рамы; $T_{он1}$ – температура в отсеке нагнетателя на уровне торсионного вала; $T_{он2}$ – температура в отсеке нагнетателя на уровне клиньев рамы; $S_{гв}$ – минимальный зазор между уплотнением и поверхностью торсионного вала; $S_{б(ЗВ-ЗО)}$ – боковой зазор в зацеплении «зубчатый венец–зубчатая обойма»; $S_{р}$ – радиальный зазор в том же зацеплении; $S_{стик}$ – зазор между корпусом свободной турбины и кольцом выхлопной улитки; $S_{стин}$ – расстояние между свободной турбиной и нагнетателем; $B_{СТ}$ – торцевое биение полумуфты свободной турбины; $B_{Н}$ – торцевое биение полумуфты ротора нагнетателя; $B_{Т}$ – биение торсионного вала; $Z_{ПОН}$ – зазор в опорном подшипнике передней опоры нагнетателя; $Z_{ОС}$ – осевой зазор в упорном подшипнике нагнетателя; B – биение на поверхности «щ» ротора нагнетателя; $S_{ПопР ЦБН}$ – вибросмещение (мкм) по передней опоре центробежного нагнетателя (ЦБН) спра-

ва; $S_{\text{ПОЛев ЦБН}}$ – вибросмещение (мкм) по передней опоре нагнетателя слева; $S_{\text{ЗОВ ЦБН}}$ – вибросмещение (мкм) задней опоры нагнетателя по вертикали; $S_{\text{ЗОГ ЦБН}}$ – вибросмещение (мкм) задней опоры нагнетателя по горизонтали; $V_{\text{СТ}}$ – виброскорость (мм/с) по свободной турбине; $V_{\text{ПОД}}$ – виброскорость (мм/с) по передней опоре двигателя; $V_{\text{ЗОД}}$ – виброскорость (мм/с) по задней опоре двигателя.

После проведения центровки согласно допускам, указанным в инструкции

1.4300.4.0000.000 D2 (для шлицевой трансмиссии) и инструкции 1111.03.01.0000 ИН1 (для пластинчатой трансмиссии ART8-B-FHF 318-8), перечисленные параметры заносились в форму 2 после ремонта (табл. 4, рис. 2 и табл. 5, 6) и в формуляр агрегата.

Контроль параметров до проведения ремонта

Форма 1

Таблица 1

Основная информация о ГПА

Входной контроль		Дата 19.11.07.		Время 10.00	
КС -	1	Общая Н ГПА -	78687	Тип ГПА	ГПА-Ц-16
Т/а -	11	Н после КР	11970	Тип СПЧ	НЦ-16/76-1.5
				Зав № тран	Ц1271
Вид ремонта	СР-12000	Ротор нагнетателя	AA198	Тип трансм	1.4300.4.7125.000 СБ

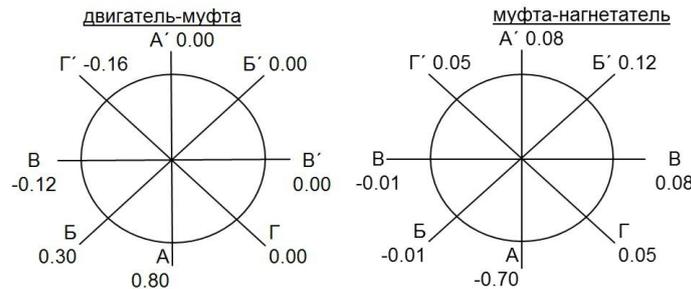


Рис. 1. Карта замеров

Таблица 2

Величины несоосностей по соединениям:

Двигатель-муфта				Муфта-нагнетатель			
A'	0,00	$\Psi_{A'-A}$	0,08	A'	0,08	$\Psi_{A'-A/2}$	0,39
A	0,80			A	-0,70		
B'	0,00	$\Psi_{B'-B}$	0,30	B'	0,12	$\Psi_{B'-B/2}$	0,065
B	0,30			B	-0,01		
B'	0,00	$\Psi_{B'-B}$	-0,12	B'	0,08	$\Psi_{B'-B/2}$	-0,045
B	-0,12			B	-0,01		
G'	0,00	$\Psi_{G'-G}$	-0,16	G'	0,05	$\Psi_{G'-G/2}$	0
G	-0,16			G	0,05		

допуск ±0,14

допуск ±0,1

Таблица 3

Параметры технического состояния ГПА

Контролир. параметры	Значение	Контролир. параметры	Значение	Контролир. параметры	Значение
$T_{\text{од1}}$	55	$S_{\text{СТ-Н}}$	1395	$S_{\text{ПОПР ЦБН}}$	48
$T_{\text{од2}}$	38	$B_{\text{СТ}}$	0,03	$S_{\text{ПОЛев ЦБН}}$	36
$T_{\text{он1}}$	39	$B_{\text{Н}}$	0,03	$S_{\text{ЗОВ ЦБН}}$	38
$T_{\text{он2}}$	30	$B_{\text{Т}}$	0,05	$S_{\text{ЗОГ ЦБН}}$	25
$S_{\text{Гв}} (0.6\text{min})$	0,6	$Z_{\text{ПОН}}$	0,22	$S_{\text{ОС}}$	-0,17
$S_{\text{Б}} (ЗВ-30) (0.074-0.184)$	0,18	$Z_{\text{ЗОН}}$	0,28	$V_{\text{СТ}}$	9
$S_{\text{Р}} (ЗВ-30) (0.03-0.078)$	0,07	$Z_{\text{ОС}}$	0,28	$V_{\text{ПОД}}$	9
$S_{\text{СтИК}} (9\pm 1 \text{ мм})$	9	$B_{\text{Ц}}$	0,02	$V_{\text{ЗОД}}$	10

Контроль параметров после ремонта

Основная информация о ГПА

Входной контроль		Дата 28.11.07.		Время 12.00	
КС -	1	Общая Н ГПА -	78687	Тип ГПА	ГПА-Ц-16
Т/а -	11	Н после КР	11970	Тип СПЧ	НЦ-16/76-1.5
Вид ремонта	СР-12000	Ротор нагнетателя	AA198	Зав № тран	Ц1271
				Тип трансм	1.4300.4.7125.000 СБ

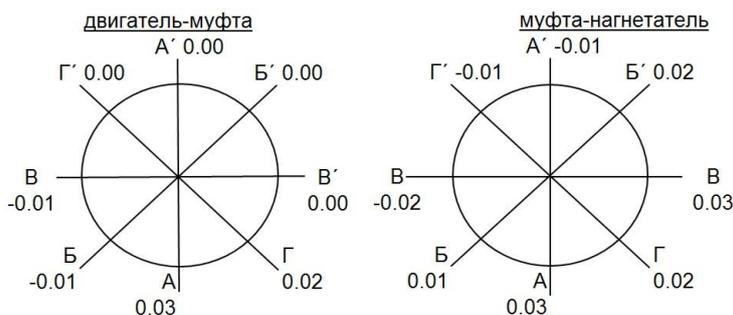


Рис. 2. Карта замеров

Величины несоосностей по соединениям:

Двигатель-муфта				Муфта-нагнетатель			
A'	0,00	$\Psi_{A'-A}$	0,03	A'	-0,01	$\Psi_{A'-A/2}$	-0,02
A	0,03			A	0,03		
B'	0,00	$\Psi_{B'-B}$	-0,01	B'	0,02	$\Psi_{B'-B/2}$	0,005
B	-0,01			B	0,01		
V'	0,00	$\Psi_{V'-V}$	-0,01	V'	0,03	$\Psi_{V'-V/2}$	-0,025
V	-0,01			V	-0,02		
Г'	0,02	$\Psi_{Г'-Г}$	0,02	Г'	0,02	$\Psi_{Г'-Г/2}$	0,04
Г	0,00			Г	-0,01		
допуск $\pm 0,14$				допуск $\pm 0,1$			

Параметры технического состояния ГПА

Контролируемые параметры	Значение	Контролируемые параметры	Значение	Контролируемые параметры	Значение
$T_{ол1}$	51	$S_{СТ-Н}$	1395	$S_{ПОПР ЦБН}$	33
$T_{ол2}$	32	$B_{СТ}$	0,02	$S_{ПОЛЕС ЦБН}$	31
$T_{он1}$	26	$B_{Н}$	0,05	$S_{ЗОВ ЦБН}$	36
$T_{он2}$	18	$B_{Г}$	0,04	$S_{ЗОГ ЦБН}$	29
$S_{гв} (0,6min)$	0,6	$Z_{ПОН}$	0,01	$S_{ОС}$	-0,15
$S_{Б} (ЗВ-ЗО) (0,074-0,184)$	0,09	$Z_{ЗОН}$	0,02	$V_{СТ}$	6
$S_{Р} (ЗВ-ЗО) (0,03-0,078)$	0,05	$Z_{ОС}$	0,26	$V_{ПОД}$	7
$S_{Тик} (9\pm 1 мм)$	9	$B_{Ц}$	0,02	$V_{ЗОД}$	10

После запуска ГПА снимались технические параметры и заносились в форму 1. Формы 1, 2 в электронном виде направлялись в ЦДО ПТУ «Надым газремонт». Полученные данные систематизировались и анализировались с целью изучения влияния полученных после проведения ремонта характеристик ГПА на его вибрационную составляющую. Было получено и проанализировано более 500 измерений [1].

Использование единой базы данных по контролю за изменением технического состояния и

анализ статистики отказов ГПА-Ц-16, связанных с повышенным износом и разрушениями деталей и узлов трансмиссии, сопровождающихся увеличением вибрации по СТ и передней опоре нагнетателя за последние 10 лет, показали, что отказы классифицируются в следующие группы:

1. Износ (рис. 3, 4) и последующее разрушение поверхностей сопрягаемых шлицевых соединений (рис. 5, 6) по зубчатой муфте, износ и разрушение гибких элементов трансмиссии

с пластинчатыми гибкими элементами (рис. 7). Для этих дефектов характерно нарастающие по времени вибрации (вибросмещение) по передней опоре нагнетателя (60 мм – предупреждение; 80 мм – авария) с последующим остановом ГПА. Одновременно вибрация (виброскорость) по СТ возрастает незначительно до 12 мм/с. При этом наблюдалось увеличение зазоров в зубчатой паре муфты со стороны нагнетателя, рис. 8, где a – радиальные, b – боковые и z – осевые сверх допустимых значений.

2. Нарушение геометрических размеров посадочного места «зубчатая обойма–ротор нагнетателя», точнее, шлицевого соединения задней части зубчатой обоймы и ротора нагнетателя. Данный дефект характерен для роторов нагнетателя с наработкой более 40 тыс. ч и проявляется в виде повышения вибраций по передней опоре нагнетателя до аварийных значений.



Рис. 5. Разрушение зубьев внутреннего зацепления (обоймы) муфты



Рис. 3. Износ поверхностей зубьев зубчатой муфты

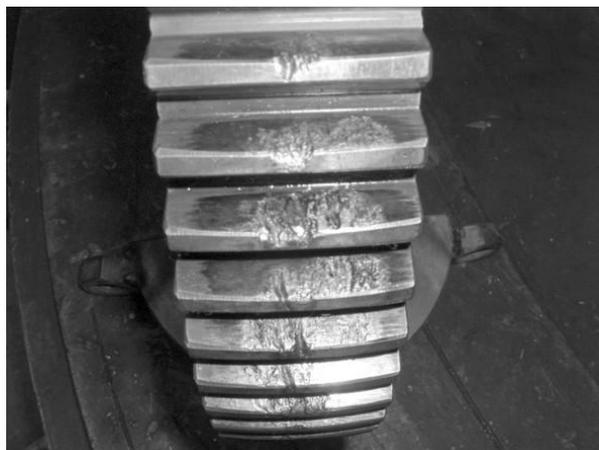


Рис. 6. Разрушение зубьев внешнего зацепления (венца) муфты

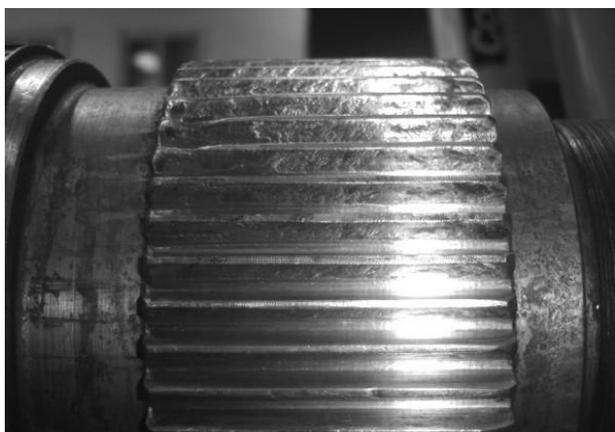


Рис. 4. Износ поверхностей зубьев шлицевого соединения

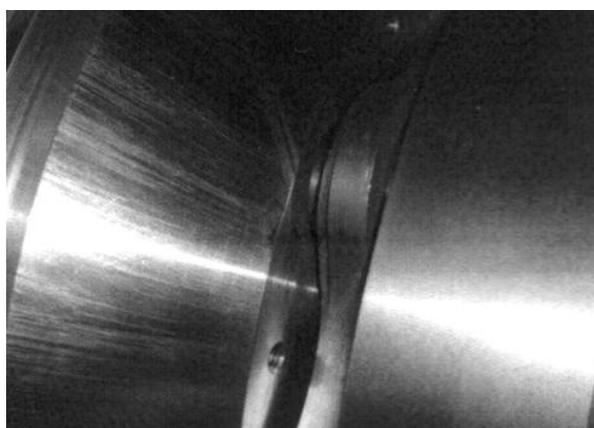


Рис. 7. Износ и разрушение гибких элементов пластинчатой муфты

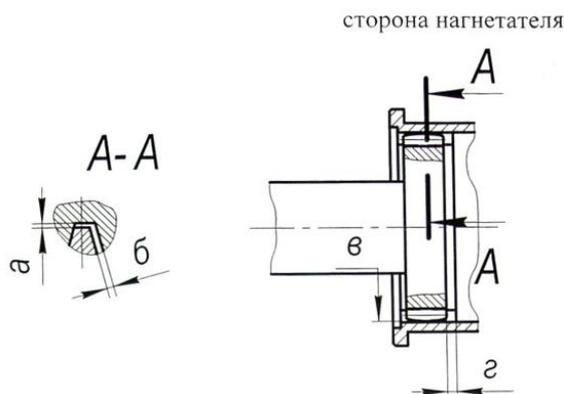


Рис. 8. Зазоры в зацеплении зубчатой муфты

3. Нарушение соосности (центровки) вального соединения «двигатель–нагнетатель» («двигатель–муфта»). Данный вид дефекта связан:

- с недостаточным прилеганием (пятно контакта менее 70 %) регулировочных клиньев (прокладок) под опорными конструкциями (рамами) двигателя, СТ;
 - износом и последующим разрушением колодок опорного подшипника нагнетателя;
 - ослаблением затяжки болтовых соединений рам двигателя, СТ и корпуса нагнетателя.
- Данные дефекты проявляются, как правило, в первые 72 часа работы агрегата после проведения ремонта, при этом уровень вибраций по СТ и передней опоре нагнетателя возрастает до аварийных значений.

4. Износ, появление цветов побежалости на поверхности торсионного вала вследствие задевания вала о графитовое уплотнение, что в конечном итоге также связано с нарушением соосности (центровки) вального соединения «двигатель–нагнетатель».

5. Увеличение прогиба торсионного вала трансмиссии, образование трещин. Указанный вид дефекта характеризуется постепенным нарастанием вибрации по СТ и передней опоре нагнетателя до аварийных значений, проявляется, как правило, у валов с наработкой более 60 тыс. ч.

6. Группа дефектов, образующихся, так или иначе, вследствие появления дефектов по п. 1–5, а именно:

- образование трещин на общей раме ГПА;
- нарушения зазоров между корпусом свободной турбины и диффузором улитки;
- усталостное разрушение призонных болтов (обрыв головок);
- усталостное разрушение по отверстиям призонных болтов, образование и рост трещин от краев отверстий.

Указанные виды дефектов (по п. 6) характеризуются мгновенным повышением вибрации по СТ и нагнетателю до аварийных значений.

Анализ единой базы данных по контролю за изменением технического состояния трансмиссий ГПА-Ц-16, а также классификация отказов трансмиссий позволили высказать предположение, что основной причиной отказов является нарушение соосности (центровки) вального соединения (трансмиссии) «СТ–нагнетатель». Центрирование элементов соединения согласно нормативным документам производится на остановленном ГПА при строго оговоренных температурах в отсеках двигателя и нагнетателя. Однако при выходе ГПА на эксплуатационные режимы температуры в отсеках двигателя и нагнетателя (особенно в отсеке двигателя) повышаются и становятся совсем другими, нежели при выполнении центровки. Увеличение температуры в отсеках на эксплуатационных режимах ведет к термическим деформациям рам двигателя, СТ и корпуса нагнетателя, а это нарушает центровку основных узлов ГПА: двигателя; СТ; нагнетателя [2].

Для целенаправленного определения расцентровок узлов ГПА на эксплуатационных режимах были разработаны программы теоретического и экспериментального исследований, основная суть которых сводится к следующему:

1. Исследование изменения центровки «двигатель–нагнетатель» в зависимости от температурных полей в отсеках двигателя и нагнетателя. Задача ставилась таким образом, чтобы на первом этапе с помощью пирометра исследовать температуры рамных конструкций двигателя и нагнетателя на эксплуатационных режимах. Далее произвести контроль соосности вального соединения на горячем агрегате и после его остывания до нормативных температур в отсеках ГПА, при которых производится центровка, согласно нормативным документам. На заключительном этапе произвести подогрев отсеков с помощью штатной системы подогрева, увеличить температуру с целью подогрева рамных конструкций до температур, соответствующих эксплуатационным режимам. После моделирования температурных полей в отсеках произвести измерения соосности «двигатель–нагнетатель».

2. Разработать математическую модель и сформировать конечно-элементную модель. Выполнить расчеты и построить эпюры термических перемещений опорных конструкций.

3. Произвести измерения несоосностей при работе ГПА на различных эксплуатационных режимах, с одновременным измерением температурных полей).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Голуб В. П., Александрович Р. Б., Тарасенко А. А.** Анализ возникновения дефектов шлицевой трансмиссии «двигатель–нагнетатель» // Нефтегазовое дело. 2008. Т. 6, № 1. С. 120–122. [V. P. Golub, R. B. Aleksandrovich, and A. A. Tarasenko, "Analysis of defects slotted transmission "motor-blower", " (in Russian), in *Neftegazovoe delo*, vol. 6, no. 1, pp. 120-122, 2008.]
2. **Голуб В. П., Итбаев В. К., Лукащук Ю. В.** Расчет температурных деформационных перемещений опорных конструкций газоперекачивающего агрегата в среде ANSYS // Проблемы и перспективы развития двигателестроения: матер. докл. междунар. науч.-техн. конф. (Самара, 24–26 июня 2009). Самара, 2009. Ч. 1. С. 239–240. [V. P. Golub, V. K. Itbaev, and U. V. Lukashchuk, "Calculation of thermal expansion displacement pumping unit support structures in the environment ANSYS," (in Russian), in *Proc. Problems and prospects of development of engine*, Samara, Russia, 2009, vol. 1, pp. 239-240.]

ОБ АВТОРАХ

ГОЛУБ Виктор Петрович, нач. управления. Дипл. инж. (ТГНУ, 1997). Канд. техн. наук по трансп. нефти и газа (ТГНУ, 2009). Иссл. в обл. трансп. нефти и газа.

ИТБАЕВ Валерий Каюмович, проф., зав. каф. основ конструирования механизмов и машин. Дипл. инж.-мех. по авиац. двигателям (УАИ, 1970). Д-р техн. наук по авиац. двигателям (УГАТУ, 1996). Лауреат Премии Правительства РФ. Заслуж. машиностроитель РБ. Иссл. в обл. динамики и прочности авиац. двигателей.

ЛУКАЩУК Юрий Валентинович, доц. той же каф. Дипл. инж.-мех. по автоматизации маш. пром. (УАИ, 1972). Канд. техн. наук по тепл. двиг. ЛА (УАИ, 1981). Иссл. в обл. числовых методов в мех. деформ. твердого тела.

METADATA

Title: Prediction of the vibration state of gas-pumping units (GPU) with aircraft gas turbine engines, by creating a database of parameters centering transmission.

Authors: V. P. Golub¹, V. K. Itbaev², U. V. Lukashchuk²

Affiliation:

¹ St. Petersburg territorial management "Gazprom Centrremont", OAO "Gazprom", Russia.

² Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ²okmim@ugatu.ac.ru.

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 18, no. 4 (65), pp. 27-33, 2014. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: About 70 % of Russia's natural gas is pumped by means of gas-pumping units (GPU) with a power drive as aircraft gas turbine engines. The main types of SBS having an average operating time of over 60,000 hours. Are GPA-C-16, GPA-C-18, which are operated since 1983. With increasing operating time increases time spent GPU repair and reduced turnaround time. One of the little-known causes of deterioration and failure is a breach in the operation of centering transmission GPU (rampart connection silo-wai-turbine supercharger), which leads to an increase in GPU vibration and wear. A database of indicators of the technical state of turbine units 227 compressor turbine units eight mill-tions Nadymsky region of "Tyumentransgaz", allowing to predict the state of GPU and prevent occurrence of failures in the operation, as well as rationally plan the oche-anterior repair.

Key words: gas compressor unit; aviation drive; operating time; repair; mission; alignment; vibration; defects; failure.

About authors:

GOLUB, Victor Petrovich, head. Engineering degree (TSNU, 1997). Candidate of Sciences tehnikeskieh transportation of oil and gas (TSNU, 2009). Research in the field of oil and gas transportation.

ITBAEV, Valery Kayumovich, Professor, Head of the foundations of constructing of mechanisms and machines. Diploma mechanical engineer on aviation engines (UAI, 1970). Doctor of Technical Sciences in aviation engines (USATU, 1996). Laureate of the Russian Government. Honored Engineer RB. Research in the field of dynamics and strength of aircraft engines.

LUKASHCHUK, Yuri Valentinovich, Associate Professor of Design Basics of mechanisms and machines. Diploma Mechanical Engineer in automation engineering industry (UAI, 1972). Candidate of technical sciences in the heat of an aircraft engine (UAI, 1981). Research in the field of numerical methods in solid mechanics.