

УДК 621. 438

- Щербаков О. Н.** канд. тех. наук, заместитель начальника конструкторского отдела специальных систем ГПА – начальник бюро вспомогательных блоков, ПАО «Сумское НПО», Украина, г. Сумы, e-mail: shcherbakov.o.n@gmail.com;
- Ткаченко Д. А.** заместитель главного конструктора компрессорного оборудования – начальник конструкторского отдела общей сборки ГПА, ПАО «Сумское НПО», Украина, г. Сумы, e-mail: tkachenko_d@snpo.ua;
- Ушаков С. М.** главный конструктор компрессорного оборудования, ПАО «Сумское НПО», Украина, г. Сумы, e-mail: ushkov_s@snpo.ua;
- Переяславский А. Н.** инженер-конструктор 1 категории отдела турбин конструкторского отделения ГП НПКГ «Зоря» - «Машпроект», Украина, г. Николаев, e-mail: arenem3@ukr.net;
- Ефремов С. В.** начальник компрессорной станции «Тарутино», УМГ «Прикарпаттрансгаз», АО «Укртрансгаз», Украина, пгт. Тарутино Одесская обл., e-mail: efremov-sv@utg.ua

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВОГО БЛОКА ГАЗОТУРБИННОГО ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА В УСЛОВИЯХ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

В работе представлены методика и результаты экспериментального исследования теплового состояния силового блока газоперекачивающего агрегата типа ГПА-Ц-16С с приводом на базе газотурбинного двигателя типа ДГ90Л2 конструкции ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект» (г. Николаев). Исследования выполнены в условиях работы агрегата на компрессорной станции «Тарутино» УМГ «Прикарпаттрансгаз». В ходе исследования измерялись температуры вентиляционного воздуха, наружных поверхностей корпусов двигателя, внутренних поверхностей стенок кожуха шумотеплоизолирующего, расход воздуха, а также режимные параметры агрегата. Результаты исследования планируется использовать для верификации математической модели теплового состояния силового блока, а также для совершенствования системы вентиляции вновь создаваемых силовых блоков для агрегатов.

Ключевые слова: газоперекачивающий агрегат, газотурбинный привод, силовой блок, кожух шумотеплоизолирующий, тепловое состояние, система вентиляции.

Введение

Газоперекачивающие и турбокомпрессорные агрегаты конструкции ПАО «Сумское НПО» (далее ПАО), созданные на основе центробежных компрессоров (ЦК) и конвертированных газотурбинных двигателей (ГТД) авиационного и судового типов, широко применяются в газовой и нефтяной промышленности Украины, России, Ирана, Узбекистана и других стран.

Основным системообразующим блоком-модулем в составе агрегатов конструкции ПАО является турбоблок, в котором в отдельных отсеках установлены ЦК и ГТД с элементами вспомогательных систем.

Для снижения уровня шума, а также защиты персонала и оборудования компрессорной станции (КС) от теплового излучения, возникающего при работе ГТД, двигатель совместно с газоотводным устройством, элементами системы смазки, топливопитания,

контрольно-измерительными приборами и средствами электромонтажа устанавливается в специальном шумотеплоизолирующем кожухе (КШТ), входящем в состав силового блока (БС). Для обеспечения приемлемых температурных условий работы двигателя и вспомогательного оборудования, установленного в КШТ, БС оборудуют системой принудительной вентиляции.

БС является сложной и ответственной системой ГПА, т. к. он должен обеспечивать:

– требуемые температурные условия работы ГТД и вспомогательного оборудования БС (в частности, элементов системы смазки ГТД, контрольно-измерительных приборов, датчиков системы пожаробнаружения и контроля загазованности, светильников, кабельных трасс и пр.);

– снижение уровня шума ГТД в соответствии с требованиями норм охраны труда;

- соблюдение условий пожаро- и взрывобезопасной работы двигателя и вспомогательного оборудования, а также эффективную работу системы пожаротушения и взрывозащиты в случае возникновения аварийных ситуаций.

Ввиду особенностей компоновки агрегатов, а также сложности происходящих в БС термодинамических процессов проектирование системы его вентиляции, обеспечивающей приемлемый температурный режим работы БС в широком диапазоне температур окружающего воздуха, представляет собой достаточно сложную расчетную и конструкторскую задачу.

В настоящее время появилась возможность численного моделирования физических процессов, происходящих при вентиляции БС [1-9]. Однако, как показал анализ указанных публикаций, выполненный авторами работы [10], в них отсутствует обобщенный подход к моделированию теплового состояния БС. В связи с вышеизложенным, специалистами Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского – «ХАИ» была разработана обобщенная математическая модель теплового состояния БС [10] и методика его анализа с применением программного комплекса ANSYS Fluent [11].

Для получения экспериментальных данных, необходимых для верификации разработанной математической модели на КС «Долина» [12] и «Тарутино» УМГ «Прикарпаттрансгаз» были проведены натурные исследования теплового состояния БС в составе турбоблока блочно-контейнерного агрегата типа ГПА-Ц-16С.

1. Состояние вопроса

Экспериментальному исследованию теплового состояния укрытий газотурбинных установок посвящено сравнительно небольшое количество работ.

D. Vahidi в работе [6] выполнил численное и экспериментальное исследование уменьшенной модели укрытия ГТД Titan 130 конструкции Solar Turbines. Температуры поверхностей двигателя, принятые автором в качестве термических граничных условий, были получены в результате термометрирования корпуса реального ГТД с использованием тепловизора. Имитация температур поверхностей двигателя при испытаниях модели производилась за счёт нагрева намотанных на модель силиконовых нагревателей с имплантированными электрическими проводами. Для верификации результатов численного исследования использовались методы визуализации течения с помощью дыма и ворсинок в комбинации с анемометрией и измерениями температур с применением термопар и тепловизора. Недостатком данной работы

является сложность соблюдения критериев подобия, характерных для реального объекта и его уменьшенной модели.

Д. А. Чарнцевым в работе [9] выполнен сравнительный анализ результатов численного моделирования процесса вентиляции пространства внутри КШТ с данными натурных испытаний, выполненных для агрегатов типа ГПА-12РС и ГПА-25РПС-01 конструкции ОАО НПО «Искра» (г. Пермь, РФ). Для агрегата ГПА-12РС была проведена тепловизионная съёмка наружной поверхности стенок КШТ. При этом через щели в дверных проёмах из-под КШТ наружу поступал воздух, температура которого, по мнению автора, была зафиксирована тепловизором. Для агрегата ГПА-25РПС-01 измерения температуры воздуха производились непосредственно в КШТ. Результаты численного моделирования сравнивались автором с данными измерений температур внешней поверхности стенок КШТ агрегата ГПА-12РС в одной точке; воздуха, поступающего из-под КШТ данного агрегата, в четырёх точках; воздуха, находящегося непосредственно внутри КШТ агрегата ГПА-25РПС-01 – в двух точках. Недостатком данной работы является сомнительность утверждения автора о равенстве температуры воздуха, вытекающего через щели по периметру дверей БС, и температуры внутри КШТ.

Е. В. Мерзляков для верификации разработанных математических моделей использовал результаты натурных измерений температур воздуха в четырёх точках в КШТ агрегата типа ГПА-25РПС «Урал», выполненных с помощью термопар [13]. Недостатком данной работы является небольшой объём экспериментальных данных, а также отсутствие измерений температур внутренних поверхностей стенок КШТ.

Авторами работы [12] исследовано тепловое состояние БС в составе турбоблока агрегата ГПА-Ц-16С/76-1,45 с ГТД ДГ90Л2, эксплуатируемого на КС «Долина» Долинского ЛПУМГ УМГ «Прикарпаттрансгаз». В ходе исследования был получен сравнительно большой объём экспериментальных данных, температуры воздуха в КШТ измерялись в 23 точках, температуры внутренних поверхностей стенок КШТ – в 14 точках. Измерения температур выполнялись с помощью термопар. Недостатком данной работы является отсутствие экспериментальных данных по температурам наружных поверхностей корпусов ГТД.

С учётом вышеизложенного было принято решение выполнить повторный натурный эксперимент по определению теплового состояния БС и корпусов ГТД в условиях эксплуатации на КС.

2. Цель исследования

Целью данного исследования было получение экспериментальных данных о тепловом состоянии корпусов ГТД типа ДГ90Л2 конструкции ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект» и БС агрегата типа ГПА-Ц-16С в условиях эксплуатации на КС. Полученные данные будут использованы для верификации математической модели теплового состояния БС, а также для совершенствования системы вентиляции БС вновь разрабатываемых агрегатов.

3. Объект исследования

Общий вид исследуемого БС в составе турбоблока агрегата представлен на рисунке 1.

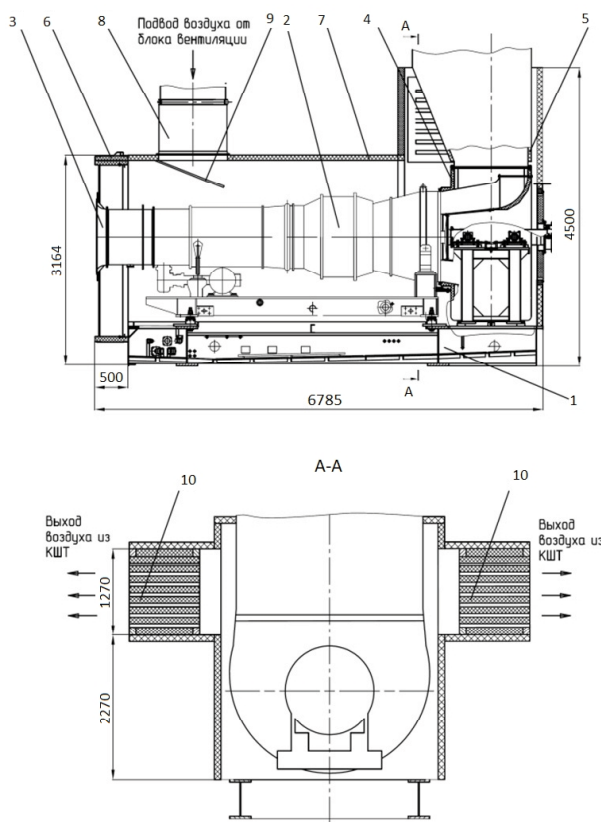


Рис. 1. Общий вид БС:

- 1 – рама; 2 – ГТД ДГ90Л2; 3 – уравнильный патрубок с лемнискатой; 4 – газоотводное устройство;
- 5 – диффузор; 6 – переходник; 7 – КШТ; 8 – воздуховод подвода воздуха в КШТ; 9 – направляющий экран;
- 10 – шумоглушитель

Как видно из рисунка, КШТ 7 совместно с приводным ГТД 2 и газоотводным устройством 4 установлены на раме 1. Каркас стенок и крыши КШТ выполнен из профильного проката и обшит с наружной стороны сплошным стальным листом, а с внутренней – перфорированным стальным листом, покрытым термостойкой грунт-эмалью серебристо-серого цвета. Полости между листами заполнены те-

пловукоизолирующим материалом на основе базальтового волокна. На боковых стенках кожуха имеются люки для обеспечения доступа обслуживающего персонала к оборудованию, установленному в КШТ, при проведении технического обслуживания.

Охлаждающий воздух забирается из атмосферы двумя осевыми вентиляторами, установленными в блоке вентиляции, и подается в КШТ по воздуховоду 8. Блок вентиляции смонтирован на крыше турбоблока. Регулирование расхода воздуха осуществляется за счёт включения-выключения одного из вентиляторов.

Для организации подвода охлаждающего воздуха в область наиболее нагретых поверхностей ГТД предусмотрен направляющий экран 9. Нагретый воздух сбрасывается из КШТ в атмосферу через проёмы с шумоглушителями 10.

Внутри КШТ установлены также диффузор 5 выхлопного тракта агрегата, трубопроводы подвода топливного газа и масла, топливная и регулирующая аппаратура, трубопроводы системы пожаротушения, элементы системы освещения, а также датчики автоматизированной системы управления и защиты агрегата, электрическая проводка.

4. Методика экспериментального исследования

Методика экспериментального исследования была разработана специалистами ПАО совместно со специалистами НАКУ им.Н.Е.Жуковского «ХАИ» и ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект».

Для определения теплового состояния БС в ходе исследования измерялись:

- режимные и технологические параметры работы ГПА (по ГТД – температура воздуха на входе в двигатель, частота вращения роторов компрессора низкого давления (КНД), компрессора высокого давления (КВД), свободной турбины (СТ), давление за КВД; температура газа на входе в СТ; мощность двигателя; по ЦК – давление и температура газа на входе и выходе, расход транспортируемого газа);
- температура наружных поверхностей корпусов ГТД;
- температура воздуха внутри КШТ;
- температура внутренних поверхностей стенок КШТ;
- температура воздуха снаружи КШТ (в отсеке двигателя);
- массовый расход охлаждающего воздуха, поступающего в КШТ.

Режимные и технологические параметры ГПА измерялись с помощью штатных средств измерения.

Традиционными методами измерения температур наружных поверхностей корпусов ГТД

являются термометрирование (с использованием термопар) и тепловизионная съёмка.

Термометрирование позволяет получить лишь дискретную картину тепловых полей. Существенно более полную информацию о тепловом состоянии деталей двигателя можно получить при использовании тепловизионной камеры [14]. Однако при этом требуется с высокой точностью указывать значения коэффициентов излучения, для определения которых требуется выполнять наладочные испытания и дублировать измерения с помощью термопар или терморезисторов. Кроме того, тепловизионные камеры имеют ограниченные углы обзора, в связи с чем их применение в условиях КШТ затруднено.

В данной работе измерение температур наружных поверхностей корпусов ГТД, воздуха внутри КШТ, а также внутренних поверхностей его стенок выполнялось с применением многоканальной информационно-измерительной системы, применявшейся ранее в работе [12].

В качестве первичного измерительного преобразователя (ПИП) температуры применялись термоэлектрические преобразователи типа ТХА. Во избежание влияния теплового излучения на показания датчиков температуры была выполнена их экранировка. Для поочерёдного подключения ПИП к средству обработки и представления информации применялся переключатель выбора точек измерения ПТИ-М. В качестве средства обработки и представления информации использовался одноканальный цифровой термометр Technoterm 9503 (Германия) с максимальной абсолютной величиной погрешности измерения температуры $\pm 6,5^\circ\text{C}$. Температуры наружных поверхностей корпусов ГТД измерялись в 20 точках, температуры воздуха в КШТ – в 15 точках, температуры внутренних поверхностей стенок КШТ – в 8 точках. Схема расположения точек измерения представлена на рисунках 2 и 3.

Датчики для измерения температуры корпусов ГТД крепились к корпусам с помощью точечной сварки и закрывались снаружи алюминиевой фольгой для более надёжной фиксации.

Установка датчиков для измерения температуры воздуха в КШТ осуществлялась таким образом, чтобы исключить прямое попадание тепловых лучей на чувствительный элемент датчика через отверстия в его корпусе. Для предотвращения колебания датчиков в результате воздействия набегающего потока охлаждающего воздуха датчики внутри КШТ фиксировались с помощью проволочных растяжек.

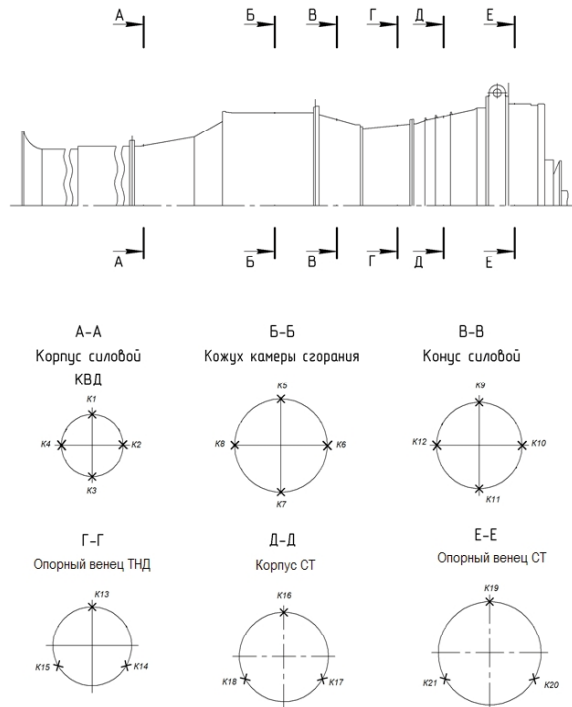


Рис. 2. Схема расположения точек измерения температуры наружных поверхностей корпуса ГТД

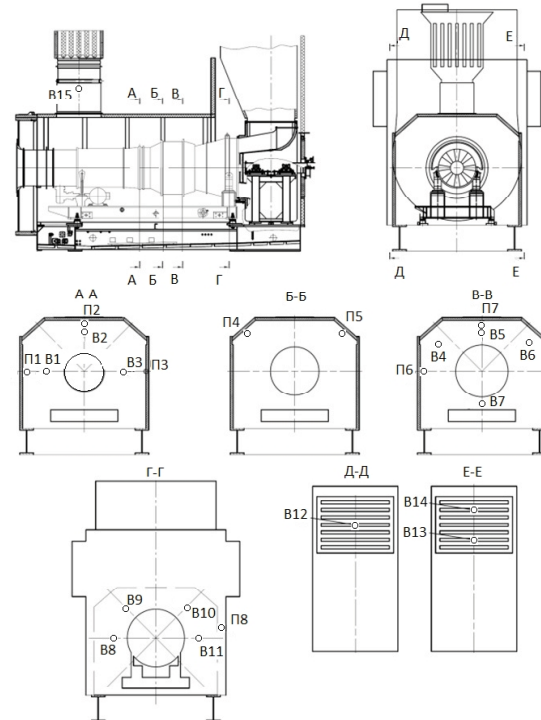


Рис. 3. Схема расположения датчиков измерения температуры в КШТ:

В – датчик измерения температуры воздуха в КШТ; П – датчик измерения температуры внутренней поверхности стенки кожуха

Датчики для измерения температуры внутренней поверхности КШТ крепились к перфорированной стенке КШТ с помощью шурупов. Тепловой контакт с поверхностью обеспечивался плотным прижатием рабочего участка датчика к поверхности стенки КШТ. Для предотвращения образования воздушного зазора между рабочим

участком датчика и поверхностью стенок места установки датчиков предварительно зачищались, а датчики устанавливались на термопасту.

Массовый расход вентиляционного воздуха, поступающего в КШТ, определялся косвенным методом по измерениям средней скорости воздушного потока на входе в КШТ, температуры воздуха на входе в КШТ, избыточного давления в КШТ и атмосферного давления. Измерение средней скорости воздушного потока выполнялось с использованием чашечного анемометра МС-13. Измерение расхода воздуха, подаваемого в КШТ, осуществлялось на неработающем агрегате. Для этого поочередно включались один и два вентилятора и производились соответствующие измерения средней скорости воздушного потока и температуры воздуха на входе в КШТ.

После запуска ГПА и выхода его на установившийся режим производилась запись режимных параметров работы агрегата, а также выполнялись замеры температуры внутренней поверхности стенок КШТ, температуры воздуха внутри КШТ и температуры в отсеке двигателя (снаружи КШТ). Установившийся режим определялся по изменению температуры наружных поверхностей корпусов ГТД и вентиляционного воздуха.

5. Результаты измерений

Измерения проводились при нескольких режимах работы агрегата, а также при различных режимах работы системы вентиляции: при поочередном включении вентиляторов ВОД1 и ВОД2, а также при совместной работе двух вентиляторов. Учитывая ограниченные рамки настоящей публикации, в работе представлены результаты измерений на одном из режимов работы агрегата.

Основные параметры работы агрегата при испытаниях на этом режиме представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры работы агрегата при испытаниях

Параметр	Значение
1. Барометрическое давление, мм рт.ст.	743
2. Температура воздуха на входе в ГТД, °С	16,2
3. Частота вращения СТ, об/мин	4152
4. Частота вращения КНД, об/мин	6047
5. Частота вращения КВД, об/мин	8264
6. Давление за КВД, кгс/см ²	10,9
7. Температура газа на входе в СТ, °С	532
8. Мощность двигателя, МВт	7,42
9. Давление газа на входе в ЦБК, кгс/см ²	41,5
10. Давление газа на выходе из ЦБК, кгс/см ²	53,6
11. Массовый расход вентиляционного воздуха, кг/с	9,62
12. Количество работающих вентиляторов, шт	2

Результаты измерения температур наружных поверхностей корпусов ГТД представлены в таблице 2. На рисунке 4 показаны средние значения температуры наружных поверхностей корпусов ГТД в характерных сечениях.

Таблица 2. Температуры наружных поверхностей корпусов ГТД

Наименование участка	Точка измерения	Температура поверхности, °С
Корпус силовой КВД	K1	174
	K2	171
	K3	129
	K4	171
	Среднее значение	161
Кожух камеры сгорания	K5	379
	K6	364
	K7	373
	K8	368
	Среднее значение	371
Конус силовой	K9	323
	K10	366
	K11	365
	K12	370
	Среднее значение	356
Опорный венец ТНД	K13	387
	K14	358
	K15	353
	Среднее значение	366
Корпус СТ	K16	368
	K17	332
	K18	362
	Среднее значение	355
Опорный венец СТ	K19	361
	K20	336
	K21	356
	Среднее значение	351

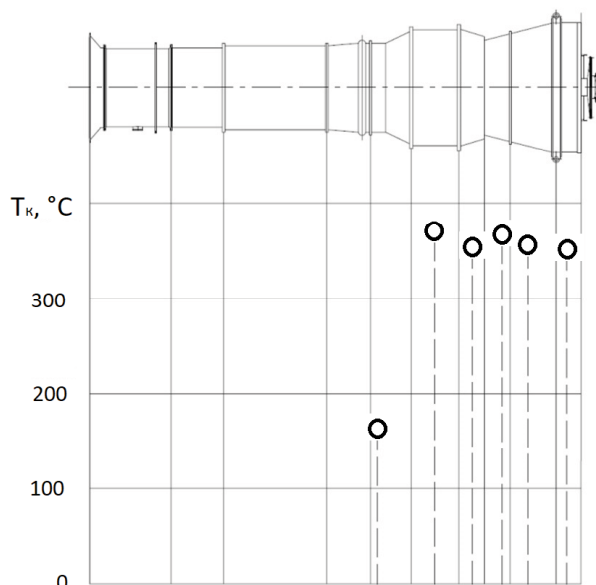


Рис. 4. Средние измеренные температуры наружных поверхностей корпусов ГТД

Результаты измерения температуры вентиляционного воздуха в КШТ и температуры внутренних поверхности стенок КШТ представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3. Результаты измерений температуры вентиляционного воздуха в КШТ

	Точка измерения	Значение
Температура воздуха на входе в КШТ, °С	V15	19,7
Температура вентиляционного воздуха в точках, °С	V1	27,3
	V2	43,3
	V3	26,0
	V4	50,0
	V5	90,0
	V6	55,7
	V7	42,7
	V8	33,7
	V9	51,0
	V10	57,3
	V11	34,0
	V12	57,7
	V13	56,0
	V14	43,3
Штатные датчики		31,5
		35,0

Таблица 4. Результаты измерения температуры внутренних поверхностей стенок КШТ

	Точка измерения	Значение
Температура поверхности внутренних стенок КШТ, °С	П1	35,7
	П2	66,3
	П3	31,0
	П4	49,7
	П5	48,3
	П6	48,7
	П7	118,0
	П8	47,7

Как видно из таблицы 3 температура вентиляционного воздуха на входе в КШТ (точка V15) на 3,5 °С выше, чем температура воздуха на входе в двигатель. Подогрев вентиляционного воздуха на входе частично может быть вызван попаданием в систему вентиляции теплого воздуха, выходящего из блока маслоохладителей. Следовательно, для снижения температуры воздуха в КШТ необходимо исключить попадание воздуха, выходящего из блока маслоохладителей, в воздухозаборники системы вентиляции БС.

Согласно полученным результатам эксперимента в верхней части КШТ температуры вентиляционного воздуха и температуры внутренних поверхностей стенок КШТ выше, чем в нижней. Полученное распределение температур качественно согласуется с результатами численного моделирования, полученными с использованием математической модели теплового состояния БС [11].

Максимальная температура воздуха в КШТ была зафиксирована над камерой сгорания, в районе клапанов перепуска воздуха (точка V5, см. таблицу 3). Во всех сечениях температуры поверхностей стенок КШТ выше, чем температуры вентиляционного воздуха, что подтверждает существенное влияние теплового излучения от корпусов ГТД на тепловое состояние КШТ. Максимальную температуру внутренней поверхности имеет крыша КШТ (точки П2 и П7, см. таблицу 4).

Значительный объем экспериментальных данных, полученных в процессе испытаний, требует их углублённого анализа, что будет выполнено в дальнейшем при верификации математической модели.

6. Заключение

В результате экспериментального исследования определено тепловое состояние корпусов ГТД типа ДГ90Л2 конструкции ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект» и БС агрегата типа ГПА-Ц-16С конструкции ПАО в условиях эксплуатации на КС. Полученные данные будут использованы для верификации математической модели теплового состояния БС, а также для совершенствования систем вентиляции БС вновь создаваемых агрегатов.

Предварительное сравнение результатов измерений с результатами численного моделирования качественно подтверждают адекватность математической модели теплового состояния БС, изложенной в работе [10]. Результаты испытаний также подтвердили существенное влияние теплового излучения от корпусов ГТД на тепловое состояние БС.

Учитывая зависимость теплового состояния ГТД и БС от режимов работы ГПА, температуры окружающей среды и режимов работы системы вентиляции, целесообразно продолжить такие экспериментальные исследования в натуральных условиях. При дальнейших исследованиях для получения более полной информации о тепловом состоянии тепловыделяющего оборудования БС (ГТД, газоотводного устройства и т. д.) целесообразно выполнить его тепловизионную съемку, а также термометрирование с использованием информационно-измерительной системы, построенной на основе многоканального измерителя-регистратора. Кроме этого, целесообразно выполнить индикацию и измерение параметров возможных утечек высокотемпературного рабочего тела из неплотностей клапанов перепуска воздуха, фланцевых соединений корпусных деталей двигателя, газоотводного устройства и муфты в пространство БС.

Согласно полученным результатам при проектировании системы вентиляции БС необхо-

димо также уделять внимание расположению устройств для забора вентиляционного воздуха с целью исключения влияния тепловыделяющих систем агрегата (блока маслоохладителей, выхлопного тракта и др.) на тепловое состояние БС.

Литература

1. Santon R. C. Safety Developments in Gas Turbine Power Applications [Электронный ресурс] / R. C. Santon, J. W. Kidger, C. J. Lea // Proceedings of ASME Turbo-Expo 2002, Amsterdam, The Netherlands, June 3 – 6, 2002. – ASME Paper GT-2002-30469. – pp. 959-966. DOI:10.1115/GT2002-30469. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

2. Ponnuraj V. 3D CFD Analysis of an Industrial Gas Turbine Compartment Ventilation System [Электронный ресурс] / V. Ponnuraj, B. Sultanian, A. Novori, P. Pecchi // Proceedings of ASME International Mechanical Engineering Congress (IMECE'03), Washington, D. C. , USA, November 15-21, 2003. – pp. 67 – 76. DOI:10.1115/imece2003-41672. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

3. Клочков А. В. Обеспечение взрывозащиты газотурбинного оборудования [Текст] / А. В. Клочков, Е. С. Корнилова, А. А. Снитко // Газотурбинные технологии. – 2005. - № 8. – С. 20 – 22.

4. D'Ercole M. Results and Experience from GeEnergy's MS5002E Gas Turbine Testing and Evaluation [Электронный ресурс] / M. D'Ercole, G. Biffaroni, F. Grifoni, F. Zanobini, P. Pecchi // Proceedings of ASME TurboExpo 2005, Reno, Nevada, USA. June 6-9, 2005. – pp. 275-283. DOI:10.1115/GT2005-68053. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

5. Graf E. Design Improvements Suggested by Computational Flow and Thermal Analyses for the Cooling of Marine Gas Turbine Enclosures [Электронный ресурс] / E. Graf, T. Luce, F. Willet // Proceedings of ASME TurboExpo 2005. Reno, Nevada, USA. June 6-9, 2005. – pp. 587-593. – DOI:10.1115/GT2005-68574. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

6. Vahidi D. Numerical and Experimental Study of Ventilation for Turbine Package Enclosure / D. Vahidi, H. Bagheri, B. Glezer [Электронный ресурс] // Proceedings of ASME TurboExpo 2006, Barcelona, Spain. May 8-11, 2006. – pp. 607-616. DOI:10.1115/GT2006-90960. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

7. Месропян А. В. Численное моделирование газодинамики и тепломассопереноса в системе

охлаждения бокса ГТД [Текст] / А. В. Месропян, И. И. Мухамедзянова // Вестник УГАТУ. – 2010. – Т. 14, № 1. – С. 25–31.

8. Трусов П. В. Численное моделирование теплового состояния шумотеплозащитного кожуха газотурбинной установки [Текст] / П. В. Трусов, Д. А. Чарнцев // Вестник СамГУ – Естественнонаучная серия. – 2010. – № 4 (78). – С. 117–126.

9. Чарнцев Д. А. Математическое моделирование теплового состояния шумотеплозащитных кожухов газотурбинных установок [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05. 13. 18 / Дмитрий Анатольевич Чарнцев. – Пермь, 2012. – 16 с.

10. Костюк В. Е. Обобщённая математическая модель теплового состояния укрытий газотурбинных установок [Текст] / В. Е. Костюк, Е. И. Кириладш, А. Л. Кравчук // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2013. – №1. – С. 22–26.

11. Обеспечение теплового режима силового блока газоперекачивающего агрегата организованной подачей воздуха под шумотеплоизолирующий кожух газотурбинного двигателя [Текст] / А. В. Смирнов, В. Е. Костюк, Д. А. Ткаченко [и др.] // Вестник двигателестроения. – 2013. – № 2. – С. 99 – 107.

12. Експериментальне дослідження теплового стану кожуха для шумотеплоізоляції газотурбінного двигуна ДГ90Л2 у складі турбоблока агрегату типу ГПА-Ц-16С [Текст] / О. М. Щербаков, Д. О. Ткаченко, В. П. Парафійник [та ін.] // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2015. – №6/7(78). – С. 35 – 42. – укр.

13. Мерзляков Е. В. Моделирование газодинамических и тепловых процессов в объеме кожуха силового блока газоперекачивающих агрегатов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 01. 02. 05 / Евгений Васильевич Мерзляков. – Ижевск, 2013. – 20 с.

14. Экспериментальное исследование теплового состояния корпусов газотурбинных двигателей [Текст] / А. А. Григорьев, М. Ш. Нихамкин, Л. В. Воронов, Н. А. Саженов, А. Л. Полянин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2014. – №37. – С. 86-98.

Поступила в редакцию 19. 06. 2018

О. М. Щербаков, Д. О. Ткаченко, С. М. Ушаков, А. М. Переяславський, С. В. Єфремов. Експериментальне дослідження теплового стану силового блоку газотурбінного газоперекачувального агрегату в умовах компресорної станції

У роботі представлені методика та результати експериментального дослідження теплового стану силового блоку газоперекачувального агрегату типу ГПА-Ц-16С з приводом на базі газотурбінного двигуна типу ДГ90Л2 конструкції ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект» (м. Миколаїв). Дослідження були виконані в умовах роботи агрегату на компресорній станції «Тарутине» УМГ «Прикарпаттрансгаз» (ПАТ «Укртрансгаз»). В рамках дослідження вимірювалися температури вентиляційного повітря, зовнішніх поверхонь корпусу двигуна, внутрішніх поверхонь стінок кожуху для шумотеплоізоляції, витрата повітря, а також режимні параметри агрегату. Результати дослідження будуть використані для верифікації математичної моделі теплового стану силового блока, а також для вдосконалення його системи вентиляції.

Ключові слова: газоперекачувальний агрегат, газотурбінний привід, силовий блок, кожух для шумотеплоізоляції, тепловий стан, система вентиляції.

O. M. Shcherbakov, D. O. Tkachenko, S. M. Ushakov, A. M. Pereiaslavskiy, S. V. Efremov. Experimental study of thermal state of power unit of gas turbine driven compressor package at the compressor station

Gas turbine driven turbo-compressor packages are widely used in different technological processes in gas and oil industries. Due to the strategic importance of this area, further improvement of turbocompressor packages in order to improve their efficiency and achieve a high level of reliability is an urgent scientific and technical task.

Reliability of the turbocompressor package significantly depends on thermal state of the power unit, in which the gas turbine is installed.

This article describes methodology and results of experimental study of thermal state of power unit of the turbocompressor package GPA-C-16S type from Sumy NPO (Sumy, Ukraine). The compressor package is equipped with gas turbine UGT 16000 designed and manufactured by Gas Turbine Research and Production Complex Zorya-Mashproekt (Mykolaiv, Ukraine). Investigation was performed at the compressor station. During the study the unit's operating parameters, ventilation air temperatures and flow rate, the temperatures of the outer surfaces of the gas turbine casings and the inner surfaces of the acoustic enclosure were measured. Temperatures were measured with thermocouples.

It was found that due to the complex nature of the flow within the enclosure there is an uneven distribution of temperature of the ventilation air and internal surfaces of the acoustic enclosure. A preliminary comparison of the experimental results with the results of CFD simulations qualitatively confirms the adequacy of the mathematical model of the thermal state of the power units. The results of the tests also confirmed the significant influence of thermal radiation from the gas turbine casings on the thermal state of the power unit.

According to the obtained results it is necessary to pay attention to the location of the ventilation air intake devices in order to eliminate the influence of the heat emitted systems of the turbocompressor unit (i. e. oil coolers, gas turbine exhaust system, etc.) on the thermal state of the power unit.

Further studies should be focused on indication and measurement of the probable leaks of high-temperature working fluid from the gas turbine.

Key words: turbocompressor package, gas turbine, power unit, acoustic enclosure, thermal mode, vent system.

References

1. Santon R. C., Kidger J. W., Lea C. J. Safety Developments in Gas Turbine Power Applications. Proceedings of ASME Turbo-Expo 2002, Amsterdam, 2002, ASME Paper GT-2002-30469, pp. 959-966. DOI:10.1115/GT2002-30469.
2. Ponnuraj B., Sultanian B., Novori A., Pecchi P. 3D CFD Analysis of an Industrial Gas Turbine Compartment Ventilation System. Proceedings of ASME International Mechanical Engineering Congress (IMECE'03), Washington, 2003, pp. 67-76. DOI:10.1115/imece2003-41672.
3. Klochkov A.V., Kornilova E.S., Snitko A.A. Obespechenie vzryvozashchity gazoturbinnogo oborudovaniya [Providing explosion protection of gas turbine equipment]. Gas turbo technology Magazine, 2005, no. 8, pp. 20-22.
4. D'Ercole M., Biffaroni G., Grifoni F., Zanobini F., Pecchi P. Results and Experience from GE Energy's MS5002E Gas Turbine Testing and Evaluation. Proceedings of ASME TurboExpo 2005. Reno, 2005, pp. 275-283. DOI :10.1115/GT2005-68053.
5. Graf E., Luce T., Willet F. Design Improvements Suggested by Computational Flow and Thermal Analyses for the Cooling of Marine Gas Turbine Enclosures. Proceedings of ASME TurboExpo 2005. Reno, 2005, pp. 587-593. DOI: 10.1115/GT2005-68574.
6. Vahidi D., Bagheri H., Glezer B. Numerical and Experimental Study of Ventilation for Turbine Package Enclosure. Proceedings of ASME Turbo-Expo 2006. Barcelona, 2006, pp. 607-616. DOI:10.1115/GT2006-90960.
7. Mesropjan A. V. Chislennoe modelirovanie gazodinamiki i teplomassoperenosa v sisteme ohlazhdeniya boksa GTD [Numerical simulation of gas dynamics and heat and mass transfer in gas turbine enclosure cooling system]. Vestnik UGATU – USATU Bulletin, 2010, vol. 14, no 1, pp. 25-31.
8. Trusov P. V., Charncev D. A. Chislennoe modelirovanie teplovogo sostoyaniya shumoteplozashchitnogo kozhukha gazoturbinnoi ustanovki [Numerical simulation of thermal state of gas turbine acoustic and thermal enclosure]. Vestnik SamGU – SamSU Bulletin, 2010, no 4 (78), pp. 117-126.
9. Charntsev D. A. Matematicheskoe modelirovanie teplovogo sostoyaniya shumoteplozashchitnykh ko-zhukhov gazoturbinnyykh ustanovok. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Mathematical modelling of gas turbine acoustic and thermal enclosures. Synopsis for PhD thesis in Engineering Science]. Perm, 2012. 16 p.
10. Kostyuk V.E., Kirilash E.I., Kravchuk A. L. Obobshchennaya matematicheskaya model' teplovogo sostoyaniya ukrytii gazoturbinnyykh ustanovok [Generalized mathematical model of thermal condition of gas turbine enclosures]. Integrirovannyye tekhnologii i energosberezhenie – Technologies and Energy Conservation, 2013, no 1, pp. 22-26.
11. Smirnov A. V., Kostyuk V. E., Tkachenko D. A., Kirilash, E. I., Slabko Yu. N. Obespechenie teplovogo rezhima silovogo bloka gazoperekachivayushchego agregata organizovannoi podachei vozdukhha pod shumoteploizoliruyushchii kozhukh gazoturbinnogo dvigatelya [Providing thermal condition of turbo-compressor package power unit by air ventilation of acoustic and thermal enclosure]. Vestnik dvigatelestroeniya – Bulletin of engine-building, 2013, no 2, pp. 99 – 107.
12. Shcherbakov O. M., Tkachenko D. O., Parafiyuk V. P., Gurinenko V. M., Kostyuk V. E., Skrypka O. I., Kyrylash O. I. Eksperimental'ne doslidzhennyya teplovogo stanu kozhuxa dlya shumoteploizolyaciyi gazoturbinnogo dviguna DG90L2 u skladi turbobloka agregatu typu GPA-C-16S [Experimental research on the thermal state of an acoustic enclosure of the UGT16000 usde for mechanical drive of the GPA-C-16S turbocompressor package]. Vostochno-evropejskiy zhurnal peredovykh texnologiy – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2015, no 6/7(78), pp. 35-42.
13. Merzlyakov E. V. Analiz faktorov, vliyayushchikh na temperaturnyi rezhim v kozhukhe gazopereka-chivayushchego agregata [Analysis of factors affecting the temperature in enclosure of turbo-compressor package]. Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta - Bulletin of Izhevsk State Technical University, 2013, no 1, pp. 150-151.
14. Grigoriev A. A., Nihamkin M. Sh., Voronov L. V., Sazhenkov N. A. Experimentalnoe issledovanie teplovogo sostoyaniya korpusov gazoturbinnyykh dvigateley [Experimental investigation of gas-turbine casing thermal state]. Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Aerokosmicheskaya tekhnika – Bulletin of Perm National research polytechnical university. Aerospace technology, 2014, no 37, pp. 86-98.