

УДК 622.691.4.052:517.9

РАСЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ЦЕНТРОВКИ ДВИГАТЕЛЬ–НАГНЕТАТЕЛЬ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА ГПА-Ц-16

В. П. Голуб¹, В. К. Итбаев², Ю. В. Лукашук³

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. Рассмотрены вопросы компьютерного моделирования изменения соосности соединения двигатель–нагнетатель под воздействием силовых и температурных полей.

Ключевые слова: газоперекачивающий агрегат; центровка вального соединения; метод конечных элементов.

Основными типами газоперекачивающих агрегатов (ГПА) на компрессорных станциях России, эксплуатируемых в ОАО «Газпром», являются ГПА с приводом от газотурбинных установок. Средняя наработка ГПА-Ц-16 с авиационным приводом составляет свыше 60 000 ч. [1]. Разработка методики центровки вального соединения двигатель–нагнетатель направлена на существенное увеличение межремонтного периода. Для определения характера изменения центровки выполнено численное исследование.

В настоящее время наиболее эффективным способом определения деформационных перемещений реальных конструкций является использование численных алгоритмов механики деформируемого твердого тела, реализуемых методом конечных элементов.

В данной работе с помощью пакета ANSYS решаются две связанные между собой задачи: расчет температурного поля в опорной конструкции агрегата на основании экспериментальных данных по замеру температуры в определенных точках конструкции, а затем расчет деформационных перемещений, обусловленных температурными деформациями [3].

Одним из основных достоинств МКЭ является максимально адекватное воспроизведение геометрических особенностей конструкции рассчитываемого объекта.

На основании чертежей агрегата в графическом редакторе препроцессора ANSYS была разработана твердотельная трехмерная модель

(рис. 1) в принятой глобальной декартовой системе координат.

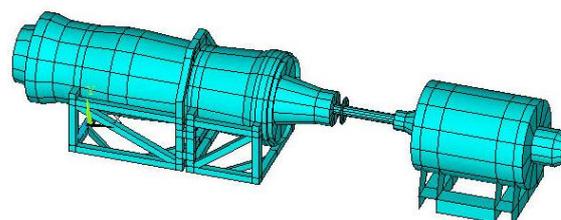


Рис. 1. Твердотельная модель ГПА

Дискретизация этой модели на трехмерные четырехузловые конечные симплекс-элементы привела к созданию конечно-элементной модели, содержащей 42 842 узла и 41 814 элементов. Использование элементов данного типа обуславливает линейную аппроксимацию исходных величин в пределах каждого конечного элемента [2].

Замер температуры в характерных точках конструкции осуществлялся с помощью инфракрасного пирометра FLUKE65 с диапазоном измерений: $-40^{\circ}\text{C} \dots +500^{\circ}\text{C}$ и погрешностью измерения $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

Для определения параметров температурного поля в определенный момент времени, соответствующий проведению замеров температур (рис. 2) в характерных точках конструкции, решается стационарная задача теплопроводности на основании уравнения:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right) = -q(T), \quad (1)$$

где T – температура; $\lambda_x(T)$, $\lambda_y(T)$, $\lambda_z(T)$ – компоненты тензора теплопроводности; $q(T)$ – удельная мощность тепловыделения.

В результате применения численного алгоритма МКЭ уравнение теплопроводности (1) представляется системой линейных алгебраических уравнений:

$$[K_T]\{T\} = \{Q\}, \quad (2)$$

где $\{T\}$ – вектор-столбец искомых узловых температур; $\{Q\}$ – вектор-столбец мощности источников тепла.

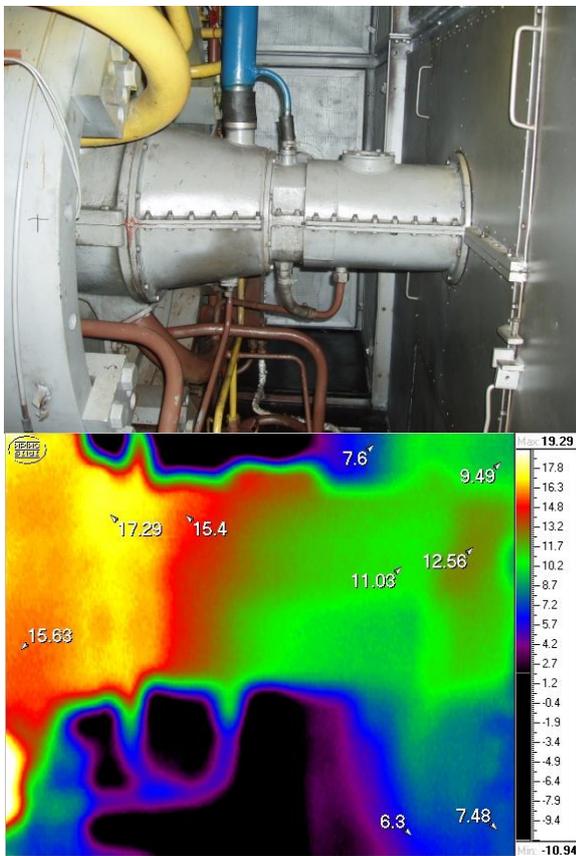


Рис. 2. Результаты замера температурных полей на работающем агрегате

В данном расчете решается задача аппроксимационного восстановления параметров температурного поля в объеме модели по известным температурам в отдельных точках с учетом свойств теплопроводности материала конструкции. В связи с этим граничные условия могут быть существенно упрощены:

- граничное условие первого рода реализуется заданием экспериментально определенных значений температур в узлах, соответствующих точкам замеров;

- граничное условие второго рода в данном случае является однородным, т.е. все границы являются адиабатическими и тепловые потоки на них равны нулю;

- граничное условие третьего рода связано в данном случае с отсутствием конвективного теплового обмена;

- граничное условие четвертого рода связано в данном случае с отсутствием радиационного теплового обмена.

В результате решения линейной системы алгебраических уравнений (2) получаем поле узловых температур и поле температурных градиентов.

Температурное воздействие характеризуется вектором-столбцом дополнительных температурных деформаций. Для каждого конечного элемента имеем:

$$\{\epsilon^{th}\} = \Delta T \{\alpha_x \alpha_y \alpha_z 0 0 0\}^T, \quad (3)$$

где ΔT – температурный перепад для конечного элемента; $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$ – коэффициенты линейного температурного расширения соответствующих осей. В данном расчете использовалось постоянное значение этого коэффициента.

Итоговые деформации в пределах элемента определяются суммированием деформаций, обусловленных внешними нагрузками, и термических деформаций

$$\{\epsilon_e\} = \{\epsilon\} + \{\epsilon^{th}\}. \quad (4)$$

В результате деформационное поведение упругой конечно-элементной модели описывается системой линейных алгебраических уравнений:

$$[K]\{\delta\} = \{F\}, \quad (5)$$

где $\{\delta\}$ – вектор-столбец искомых узловых перемещений; $\{F\}$ – вектор-столбец внешних узловых сил.

Решение этих уравнений определяет поля температурных перемещений в принятой системе координат.

В результате реализации вычислительного алгоритма на первом этапе получаем поле температур, а на втором этапе – поле деформационных перемещений.

На рис. 3 показано распределение температуры в расчетной модели ГПА при использовании числовых данных из ведомости замеров

температурных полей Ямбургского ЛПУМГ от 11.03.09 в 10 ч 20 мин.

Наличие температурных перепадов в конструкции опорных частей двигателя, свободной турбины и нагнетателя приводит к значительным температурным деформациям, обуславливающим нарушение центровки агрегата.

На рис. 4 приведено распределение суммарного вектора линейных деформационных перемещений. На рис. 5–6 приведены температурные перемещения точек оси приводного вала ГПА Ямбургского ЛПУМГ от 11.03.09 в 10 ч 20 мин и 12 ч 20 мин соответственно. Показано, что изменение параметров температурного поля с течением времени приводит к увеличению расцентровки с 1,66 мм до 1,74 мм в течение двух часов работы.

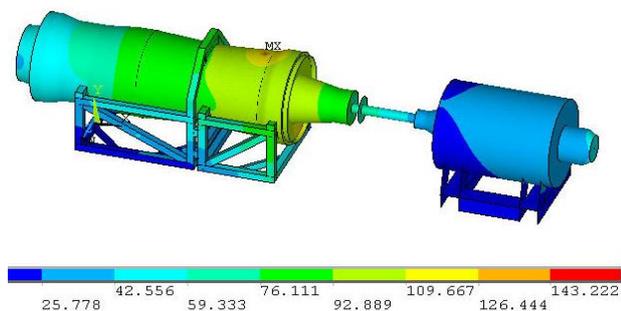


Рис. 3. Распределение температуры в ГПА

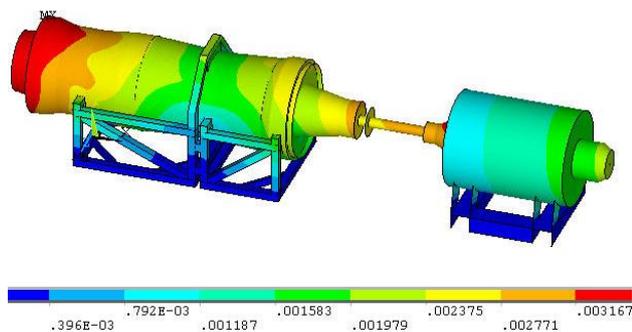


Рис. 4. Поле суммарных температурных деформационных перемещений, м

Сравнение представленных данных свидетельствует об удовлетворительном совпадении результатов замеров и расчетов и подтверждает эффективность разработанной расчетной модели, описывающей изменения соосности соединения двигатель–нагнетатель ГПА-Ц-16 под воздействием силовых и температурных полей.

Результаты расчетов использованы при проведении центровки систем Д-Н. Например, скорректированная соосность вального соединения Д-Н т/а 11 Ямбургского ЛПУ МГ с учетом влияния температурных полей привела к уменьшению вибрации по передней опоре нагнетателя в два раза. При этом агрегат прорабо-

том влияния температурных полей привела к уменьшению вибрации по передней опоре нагнетателя в два раза. При этом агрегат проработал до плановой остановки на регламентное обслуживание без аварийных остановок и существенный износ деталей трансмиссии не был выявлен.

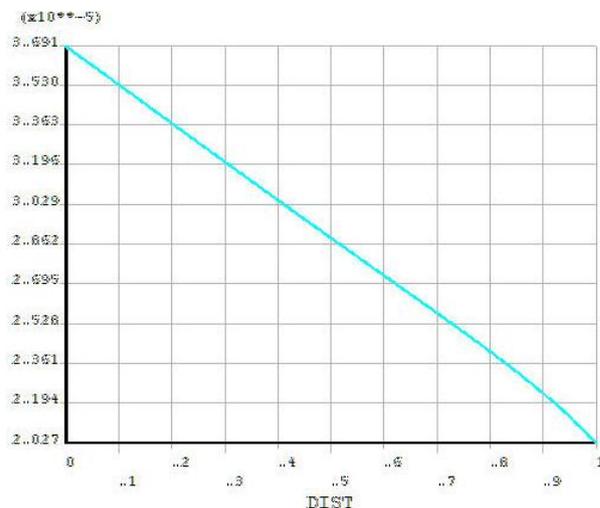


Рис. 5. Температурные перемещения точек оси приводного вала ГПА Ямбургского ЛПУМГ от 11.03.09 в 10 ч 20 мин

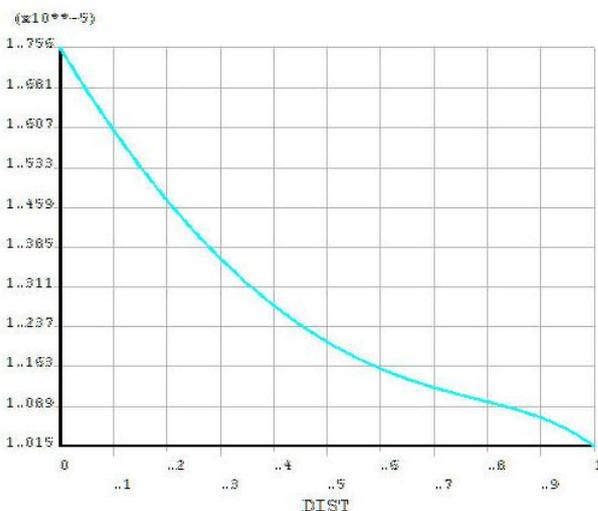


Рис. 6. Температурные перемещения точек оси приводного вала ГПА Ямбургского ЛПУМГ от 11.03.09 в 12 ч 20 мин

Результаты расчетов использованы при проведении центровки систем Д-Н. Например, скорректированная соосность вального соединения Д-Н т/а 11 Ямбургского ЛПУ МГ с учетом влияния температурных полей привела к уменьшению вибрации по передней опоре нагнетателя в два раза. При этом агрегат прорабо-

тал до плановой остановки на регламентное обслуживание без аварийных остановок и существенный износ деталей трансмиссии не был выявлен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ревзин Б. С.** Газоперекачивающие агрегаты с газотурбинным приводом. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2002. 269 с. [В. S. Revzin, *Gas compressor units with gas turbine drive*, (in Russian). Ekaterinburg: USTU-UPI, 2002.].

2. **Костюк В. Е., Кирилах Е. И.** Численное моделирование теплового состояния укрытия газотурбинного двигателя для привода газоперекачивающего агрегата // Вестник НТУ «ХПИ». Темат. вып.: Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. №13. С.63–72. [V. E. Kostyuk, E. I. Kirilach, "Numerical modeling of the thermal state of the gas turbine engine cover for the drive pumping unit," (in Russian), *VestnikNTU "HPI"*, no. 13, pp.63-72.]

3. **ANSYS.** User's manual for version 10.0. Theory.

ОБАВТОРАХ

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: Calculation of the change-blower motor alignment gas compressor units GPA-C-16.

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: ² okmim@ugatu.ac.ru.

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 18, no. 4 (65), pp. 34-37, 2014. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: The problems of computer modeling compound changes the alignment of motor blower under the influence of force and temperature fields..

Key words: gas compressor unit; centering rampart compounds; finite element technique.

About authors:

GOLUB, Victor Petrovich, head. Engineering degree (TSNU, 1997). Candidate of Sciences tehnicheskikh 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