

нению с адиабатическим случаем вследствие теплопроводности стенки. Теплопроводность в стенке распространяется в поперечном направлении в пределах стенки, суммируясь в равномерном распределении температуры для сопряженных случаев.

#### Библиографический список

1. Bunker R.S. A Review of Shaped Hole Turbine Film-Cooling Technology. / Journal of Heat Transfer, 2005. Vol. 127. P. 441-453.

2. Kelso R.M., Lim T.T., Perry A.E. An experimental study of round jets in cross-flow. / Journal of Fluid Mechanics. 1996. Vol. 306. P. 111-144.

3. Goldstein R.J., Eckert E.R.G., Burggraf F. Effects of Hole Geometry and Density on Three-Dimensional Film Cooling. / International

Journal of Heat and Mass Transfer, 1974. Vol. 17. P. 559-607.

4. Thole K., Gritsch M., Schulz A., Wittig S. Flowfield Measurements for Film-Cooling Holes with Expanded Exits / ASME Journal of Turbomachinery, 1998. Vol. 120. P. 327-336.

5. Ames F.E. Aspects of Vane Film Cooling With High Turbulence: Part II – Adiabatic Effectiveness. / Journal of Turbomachinery, 1998. Vol. 120. P. 777-784.

6. Nadali H.N., Karlsson M., Kinell M., Utriainen E. CFD Based Sensitivity Analysis of Influencing Flow Parameters for Cylindrical and Shaped Holes in a Gas Turbine Vane. / ASME Turbo Expo, Copenhagen, Denmark, ASME GT2012-69023. 2012.

УДК 37.013.75

## ОПЫТ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА ПО ДЕТАЛЯМ МАШИН С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

©2016 А.Г. Керженков<sup>1</sup>, П.А. Самойлов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

<sup>2</sup>ООО «АСКОН-Самара», г.Самара

### THE EXPERIENCE OF THE PROJECT IMPLEMENTATION IN THE LEARNING COURSE OF MACHINE PARTS USING MODERN COMPUTER TECHNOLOGY

Kerzhenkov A.G. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

Samojlov P.A. («ASCON-Samara»), Samara, Russian Federation)

*Here is presented the organization of the educational designing of aviation gear using licensed software, curriculum transmission calculations of details and connections. During of this project they applies the remote access to computing resources of the university, the Moodle system of distance education, the Internet and e-mail.*

При выполнении курсовых проектов по учебным дисциплинам студенты в настоящее время широко используют различные информационные технологии.

Ниже представлен опыт организации выполнения курсового проекта по деталям машин с применением современных компьютерных технологий.

Объектом проектирования при выполнении курсового проекта традиционно является авиационный редуктор. Конструкция авиационного редуктора содержит большое количество различных соединений, передач и узлов. Многообразие возможных компоновочных решений и конструктивных исполнений деталей и узлов открывает широкий

простор для творческого роста будущего специалиста.

На этапе эскизного проектирования студенты выполняют необходимые расчёты, применяя при этом специально разработанные учебные программы. Если раньше выполнение таких расчётов требовало личного присутствия студентов в компьютерном классе кафедры, то теперь наличие домашних компьютеров и возможность удалённого подключения к серверу университета, на котором размещено необходимое программное обеспечение, избавили студентов от утомительного стояния в очередях перед компьютерным классом.

Удалённый доступ к серверу университета радикально изменил и подход к приме-

нению различных дорогостоящих систем компьютерной графики и специализированных расчётов. При выполнении курсового проекта по деталям машин студенты используют размещённые на сервере самые последние профессиональные версии систем компьютерного моделирования и выпуска документации, такие как КОМПАС 3D, КОМПАС–График, справочники материалов и сортаментов, стандартных изделий, программы проектирования валов и тел вращения, программы расчёта на прочность с помощью МКЭ.

Завершается эскизное проектирование разработкой 3D модели будущего редуктора, позволяющей студенту куда яснее, чем раньше, представить его конструкцию и особенности функционирования.

Применение информационных технологий очень сильно изменило всю организацию процесса проектирования. Основное изменение состоит в непрерывности этого процесса на протяжении всего семестра, постоянном и круглосуточном контакте студента с информацией и преподавателем.

Теперь еженедельные консультации по курсовому проектированию проводятся в дисплейном классе, оснащённом мультимедийным проектором, с возможностью выхода в Интернет, с возможностью запуска любой из перечисленных выше систем.

Неоценимую помощь при проведении консультаций и, в ещё большей степени, в ходе самостоятельной работы студентов оказывает наличие специально разработанного образовательного контента по дисциплине «Детали машин и основы конструирования машин», доступного студентам с любого компьютера, в том числе с мобильных устройств. В качестве системы дистанционного образования выбрана одна из наиболее популярных в мире систем - Moodle. Весь образовательный контент разделён на темы – по одной на каждое занятие и включает в себя содержание занятия, рекомендуемую учебно-методическую литературу и электронные источники информации, рекомендации по выполнению учебных заданий и необходимые примеры.

Занятия проводятся в дисплейном классе. Условием проведения занятий является наличие ПЭВМ в количестве, достаточном для индивидуальной работы каждого студента.

Во время аудиторных занятий ставится задача данного занятия, даются краткие пояснения со ссылкой на соответствующую тему в системе Moodle, проводятся необходимые демонстрации, даются ссылки на традиционные и электронные источники информации, выдаётся домашнее задание.

Студенты, каждый за своим компьютером, отрабатывает тему занятия под контролем и при консультациях преподавателя.

В рамках самостоятельной домашней работы студенты, опираясь на доступные им по Интернету темы системы Moodle, завершают отработку материала прошедшего занятия. Для работы с ПО на сервере университета, на домашних компьютерах устанавливается виртуальный клиент VMware-Horizon, обеспечивающий удалённый доступ. Между аудиторными занятиями контакт студентов и преподавателей осуществляется через форум системы Moodle и по электронной почте.

В итоге студент представляет на защиту помимо традиционных документов – чертежей общего вида, чертежей деталей, пояснительной записки - также трёхмерные модели деталей редуктора и трёхмерную модель сборки, включающую как разработанные студентом оригинальные детали, так и взятые из библиотек (например, крепёжные элементы, подшипники). Пример трёхмерной модели конического редуктора представлен на рис. 1.

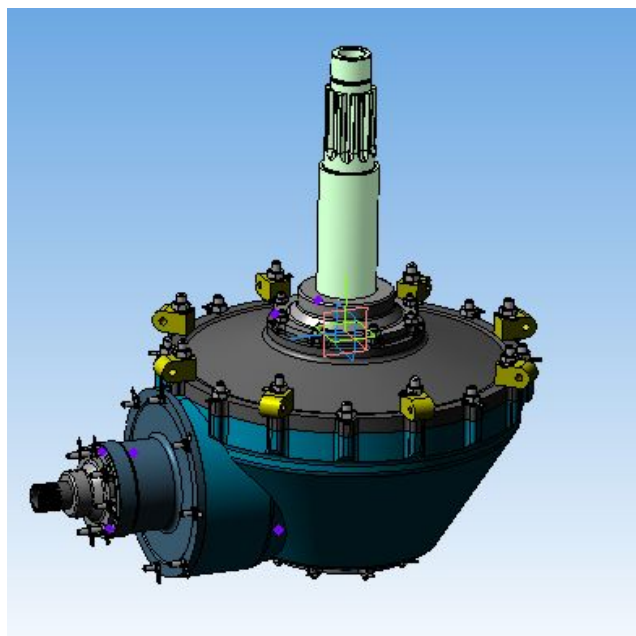


Рис. 1. 3D модель конического редуктора

Результатом применения изложенной методики и разработанных методических материалов явилось заметное повышение

качества подготовки студентов по дисциплине «Детали машин и основы конструирования», интереса к изучаемой дисциплине.

УДК: 620.169.1

## ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ КАК ПРИЧИНА СНИЖЕНИЯ ВЫНОСЛИВОСТИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБИНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

©2016 Е.Е. Кочерова, А.С. Злобин, Д.В. Анохин, Р.Р. Кяримов, К.В. Рунова

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

### RESIDUAL STRESSES AS THE CAUSE OF ENDURANCE DECREASE OF GTE HOUSING PARTS

Kocherova E.E., Zlobin A.S., Anokhin D.V., Kyarimov R.R., Runova K.V. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

*By the carried out investigation it's been established that the cause of the GTE combustion chamber body endurance limit decrease is tensile residual stresses to 500 MPa caused by unfavorable technological heredity.*

Опыт эксплуатации газотурбинных двигателей показывает, что неучтённая отрицательная технологическая наследственность может привести к разрушению деталей в работе, особенно при циклическом характере нагружения. При этом отказы ответственных деталей ведут к опасным, а в ряде случаев и к катастрофическим последствиям для объекта эксплуатации.

Анализ дефектов, проявившихся в процессе эксплуатации изделия, исследования, проведённые для выявления причин их возникновения, а также разработка мероприятий по их предотвращению, дают основу для оценки влияния технологической наследственности на надёжность типовых деталей. В данной работе исследуется влияние технологических остаточных напряжений на прочность внутреннего корпуса камеры сгорания.

Дефект заключается в образовании четырёх трещин на конической части фланца с внутренней стороны корпуса, направленных по образующей (меридиану). Проведённый люминесцентный контроль выявил в той же зоне, кроме вышеуказанных четырёх трещин, большое количество аналогично ориентированных несквозных трещин длиной от 1,5 до 5 мм, две из которых оказались сквозными. Для исследования причин возникновения дефекта было принято решение о проверке различными методами контроля ещё нескольких ремонтных корпусов [1]. По ре-

зультатам контроля трещины были выявлены на 70 % ремонтных корпусов с наработками от 1000 до 6600 часов.

Оболочка камеры сгорания находится под внешним перепадом давления, что обеспечивает сжимающие окружные напряжения достаточно высокого уровня, не способствующие образованию и развитию меридиональных трещин отрыва [2]. Это говорит о наличии специфических условий образования и развития трещин, выяснение которых, наряду с необходимостью обоснования конструктивных и технологических мероприятий, потребовало проведения исследований [3].

Металлургические исследования выявили наличие нагартованного слоя в виде линий скольжения, а также остаточные напряжения сжатия порядка 10 МПа на внутренней поверхности. На рис. 1 и 2 приведены эпюры остаточных напряжений  $\sigma$  по толщине поверхностного слоя  $h$  исследованных корпусов, полученных методом Н.Н. Давиденкова.

Из приведённых на рис.1 и 2 данных можно сделать вывод, что основную роль в снижении выносливости корпуса камеры сгорания играет неблагоприятная технологическая наследственность, связанная с высоким уровнем растягивающих остаточных напряжений (до 500 МПа) в поверхностном слое.