

УДК: 539.374

**МНОГООСНОЕ УСТАЛОСТНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ДИСКОВ  
КОМПРЕССОРА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ И  
АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК**

**MULTIAXIAL FATIGUE FRACTURE OF THE COMPRESSOR  
DISKS UNDER CENTRIFUGAL AND AERODYNAMIC LOADS**

**Н. Г. БУРАГО, И. С. НИКИТИН, П. А. ЮШКОВСКИЙ**

**N. G. BURAGO, I. S. NIKITIN, P. A. YUSHKOVSKIY**

*Институт проблем механики РАН им. А. Ю. Ишлинского, г. Москва*

*Институт автоматизации проектирования РАН, г. Москва*

*МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского, г. Москва*

**Аннотация.** Решена трехмерная задача определения напряженно-деформированного состояния и оценки усталостной долговечности вращающегося диска переменного сечения под действием аэродинамических и центробежных нагрузок в диске и лопатках. На основе известных критериев многоосного усталостного разрушения получены распределения долговечности по сечениям диска в полетных циклах нагружения. Определены опасные сечения и сроки зарождения усталостных повреждений в диске.

**Abstract.** The problem of determining the stress-strain state is solved and fatigue durability is estimated for the rotating disk of various cross sections under centrifugal loads. Durability distributions are obtained based on the known multi-axial fatigue criteria along the disk cross sections for the flight loading cycles. The dangerous cross sections and the terms of the fatigue damage generation are determined.

**Ключевые слова:** усталостное разрушения, усталостная долговечность, диск компрессора, центробежная нагрузка, аэродинамическое давление

**Keywords:** fatigue fracture, fatigue durability, compressor disk, centrifugal load, aerodynamic pressure

---

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проектов 12-08-00366-а; 12-08-01260-а).

Решается задача определения трехмерного напряженно-деформированного состояния и оценки усталостной долговечности вращающегося диска переменного сечения под действием аэродинамических и центробежных нагрузок в диске и лопатках для полетным циклов нагружения (малоцикловая усталость). Выведена упрощенная система дифференциальных уравнений для расчета напряжений, деформаций и смещений в диске малой, но значительно изменяющейся по радиальной координате, толщины. На внешнем контуре диска задавались переменные и периодические по углу радиальные напряжения, которые моделировали центробежное воздействие от лопаток и были согласованы с ним по амплитуде. Учитывались распределенные центробежные нагрузки в самом диске. Аэродинамические давления рассчитаны на основе гипотезы «изолированного профиля» с использованием известных решений об обтекании пластины с отрывом потока [2-3]. Предложена и реализована численная схема решения полученной жесткой системы уравнений [1].

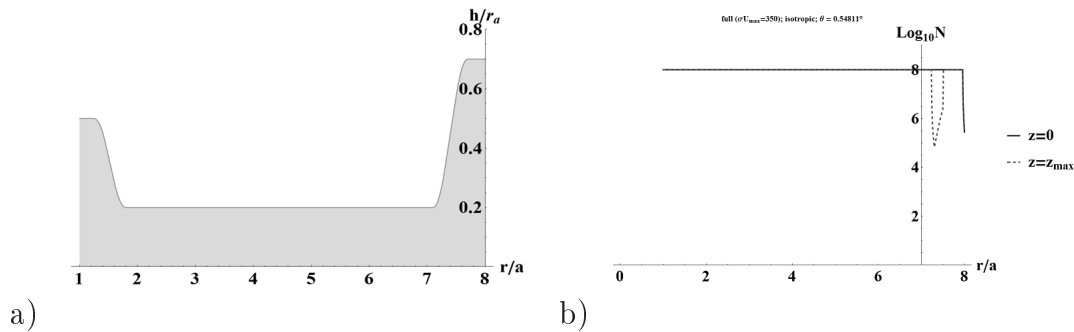


Рис. 1. Сечение диска и радиальное распределение долговечности.

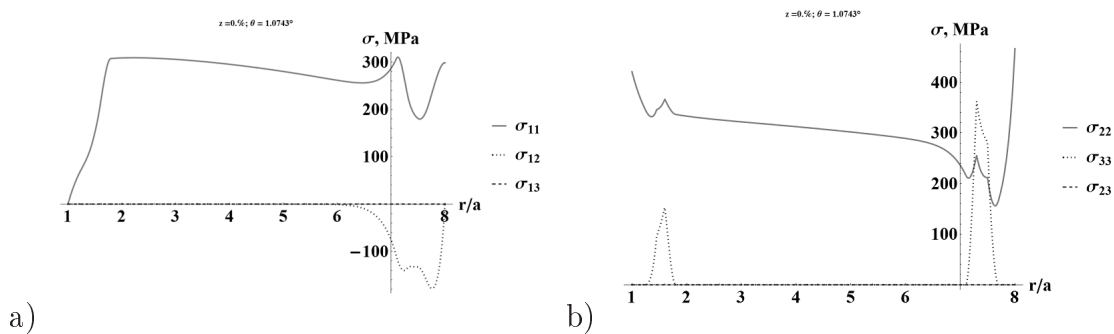


Рис. 2. Радиальное распределение напряжений при  $z = 0$  под лопаткой

Форму сечения диска при  $z > 0$  показана на Рис. 1а, в расчете принималось: число лопаток  $N_0 = 32$ , угловая скорость вращения  $\omega = 6001/s$ , параметры

Ламе  $\lambda = 78\text{МПа}$ ,  $\mu = 44\text{МПа}$ , плотность  $\rho = 4370\text{кг/м}^3$ . На основе критериев многоосного усталостного разрушения [4] были получены распределения логарифма долговечности  $\log N(r)$  (количества циклов до разрушения) по радиальной координате для титанового сплава с пределом усталости  $\approx 350\text{МПа}$ , (Рис. 1б). Определены опасные сечения и сроки зарождения усталостного разрушения в диске. На Рис. 2 показаны распределения компонент напряжений по радиальной координате под правым краем корня лопатки (а) и при  $z = 0$  (б).

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бураго Н.Г., Журавлев А.Б., Никитин И.С., Юшковский П.А. Влияние анизотропии усталостных свойств титанового сплава на долговечность элементов конструкций. Препринт ИПМех РАН № 1064. Москва.2014. – 35 с.  
[2] Мхитарян А.М. Аэродинамика. - М.: Машиностроение. 1976. – 447 с.  
[3] Гуревич М.И. Теория струй идеальной жидкости. - М.: Наука. 1979. – 536 с.  
[4] Бураго Н.Г., Журавлев А.Б., Никитин И.С. Модели многоосного усталостного разрушения и оценка долговечности элементов конструкций. // Изв. РАН. МТТ. 2011. № 6. С. 22-33.

### АВТОРЫ:

*Бураго Николай Георгиевич.*

*ведущий научный сотрудник, д.ф.м.н., профессор, ИПМех РАН, г. Москва*

*e-mail: buragong@yandex.ru*

*Никитин Илья Степанович.*

*ведущий научный сотрудник, д.ф.м.н., ИАП РАН, г. Москва*

*e-mail: i\_nikitin@list.ru*

*Юшковский Павел Анатолиевич.*

*аспирант, РГТУ-МАТИ, г. Москва*

*e-mail: abrahamas.23@gmail.com*

### AUTHORS:

*Burago, Nikolay Georgievich*

*Leading Scientist, D.Sc., Institute for problems in mechanics RAS, Moscow*

*Nikitin, Ilya Stepanovich*

*Leading Scientist, D.Sc., Institute for computer aided design of RAS, Moscow*

*Yushkovskiy, Pavel Anatolievich*

*Ph.D. student, Institute for computer aided design of RAS, Moscow*