

исследования. Были проведены исследования дроссельных характеристик на режимах $M=0$, $H=0$ и $H=11\text{км}$, $M=0,8$ при различных значениях площади канала 3-го контура. Результаты расчётов показали, что на дроссельных режимах работы двигателя, соответствующих дозвуковым режимам полёта самолёта, увеличение перепуска воздуха в третий контур позволит уменьшить удельный расход топлива.

Библиографический список

1. Шмотин Ю.Н., Кикоть Н.В., Кретицин Г.В., Лещенко И.А., Федечкин К.С. Исследование термодинамической эффективности силовой установки многорежимного самолёта с независимо управляемым третьим контуром // Насосы. Турбины Системы. 2016. №2, с.40-48.

2. Луковников А.В. Технология формирования оптимального предварительного облика силовых установок летательных аппаратов // Научный вестник МГТУ ГА серия «Эксплуатация воздушного транспорта». 2008. №134, с.16-24

3. Федоров Р.М. Характеристики осевых компрессоров: монография / Воронеж: изд.-полиграф. центр «Научная книга», 2015. – 220с.

4. Маракуева О.В., Ворошнин Д.В. Использование CFD методов при решении задач гидроаэродинамики лопаточных машин / Сборник тезисов докладов Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Новые решения и технологии в газотурбостроении», ФГУП «ЦИАМ им. П.И.Баранова», 26 – 28 мая 2015г., Москва., с.97–99

5. Ремеев Н.Х. Аэродинамика воздухозаборников сверхзвуковых самолетов / ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского. 2002г. – 177с.

6. Минин О.П., Юрлова Н.Ю., Лещенко И.А. Методика проектирования входного устройства силовой установки интегральной компоновки дозвукового летательного аппарата с применением методов многокритериальной оптимизации // Насосы. Турбины Системы. 2017. №1, с.85-92.

УДК 539.376

АНАЛИТИЧЕСКОЕ И ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОБ УСТАНОВИВШЕЙСЯ ПОЛЗУЧЕСТИ ТРУБЫ С ЭЛЛИПТИЧЕСКИ ВОЗМУЩЁННОЙ ГРАНИЦЕЙ

© 2018 А.Д. Москалик

Самарский государственный технический университет

ANALYTICAL AND NUMERICAL SOLUTIONS OF THE PROBLEM ABOUT THE STEADY CREEP OF THE TUBE WITH ELLIPTICALLY PERTURBED BOUNDARIES

Moskalik A.D. (Samara State Technical University, Samara, Russian Federation)

The approximate analytical solution to the problem of the steady creep of the thick-walled tube with an elliptically perturbed outer boundary is compared with the existence of an internal pressure with a numerical solution of the same problem based on the finite element method. The analytical solution is obtained by the method of small parameter taking into account the approximation to the second inclusive. The degree of correspondence between numerical and approximate analytical solution is shown.

Учёт явления ползучести в расчётах на прочность элементов конструкций имеет большое значение для ответственных конструкций в авиадвигателестроении, энергетиче-

ском машиностроении, эксплуатирующихся в условиях высокотемпературной ползучести.

В связи с этим рассматривается краевая задача о толстостенной трубе под действием внутреннего давления q с внутренним конту-

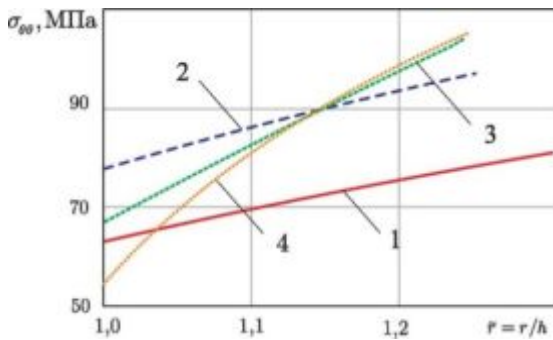


Рис.2. Тангенциальные напряжения для трубы с эллиптической внешней границей из сплава ЭИ698 при $\delta = 0,04$, $\theta = \pi/2$:

$$1 - \sigma_{\theta\theta}^{(0)}, 2 - \sigma_{\theta\theta}^{(0+1)}, 3 - \sigma_{\theta\theta}^{(0+1+2)}, 4 - \sigma_{\theta\theta}^{(ANS)}$$

ром в виде окружности радиуса $r = h$, внешним эллиптическим контуром с большой полуосью $r = a$ и малой полуосью $r = b$ (рис.1) в условиях установившейся ползучести. В качестве малого параметра δ принимается величина сжатия эллипса: $\delta = (b - a)/a$. Аналогичная задача для несоосной трубы решена методом малого параметра в работах [1,2]. Для упругопластических тел данный метод решения детально изложен в монографии [3].

Задача решается в условиях плоского деформированного состояния в предположении степенного закона ползучести и несжимаемости материала для скоростей деформаций ползучести.

Используется разложение тензора напряжений σ_{ij} , тензора скоростей деформаций ползучести $\dot{\epsilon}_{ij}$, вектора скоростей перемещений \dot{u}_i и уравнения внешнего контура по малому параметру δ до членов второго порядка включительно. Для определения последующих (после нулевого) приближений используются линеаризованные определяющие соотношения и линеаризованные граничные условия на внешнем контуре трубы при $r = a$. Методика построения приближенного аналитического решения до второго приближения включительно приведена в [4].

Сравнительный анализ приближенного и численного решений выполнен на модельном примере трубы из сплава ЭИ698 при следующих параметрах: $h = 115$ мм; $a = 150$ мм; величина δ изменялась от 0 до 0,06 с шагом 0,02. Численный расчёт осуществлялся в программном комплексе ANSYS.

На рис. 2 представлен график тангенциальных напряжений при $\delta = 0,04$, $\theta = \pi/2$, где верхний индекс означает количество приближений, используемых для расчёта напряжений, (σ^{ANS}) – напряжения, полученные в результате численного решения.

Оценка погрешности приближенного аналитического решения до второго приближения включительно по отношению к численному выполнена на основе значений радиальных σ_{rr} и тангенциальных $\sigma_{\theta\theta}$ напряжений в 15 равноотстоящих точках по координате r_i :

$$a \leq \underline{r_i} \leq b + \delta \cos 2\theta + \delta^2 (\cos 4\theta - 1) / 4b,$$

($i = 1, 15$) при $\theta = \pi/2$ по двум нормам:

$$s = \frac{\sum_{i=1}^{15} |\sigma_{\omega\omega_i}^{(0+1+2)} - \sigma_{\omega\omega_i}^{ANS}|}{\sum_{i=1}^{15} |\sigma_{\omega\omega_i}^{ANS}|} \quad \text{и} \quad \sigma = \left(\frac{\sum_{i=1}^{15} [\sigma_{\omega\omega_i}^{(0+1+2)} - \sigma_{\omega\omega_i}^{ANS}]^2}{\sum_{i=1}^{15} [\sigma_{\omega\omega_i}^{ANS}]^2} \right)^{1/2}, \quad \omega = r, \theta, \quad (1)$$

где $\sigma_{\omega\omega_i}^{(0+1+2)} = \sigma_{\omega\omega}^{(0+1+2)}(r_i)$, $\sigma_{\omega\omega_i}^{ANS} = \sigma_{\omega\omega}^{ANS}(r_i)$ – расчётные значения для приближенного аналитического и численного решений соответственно, и приведена в табл.1.

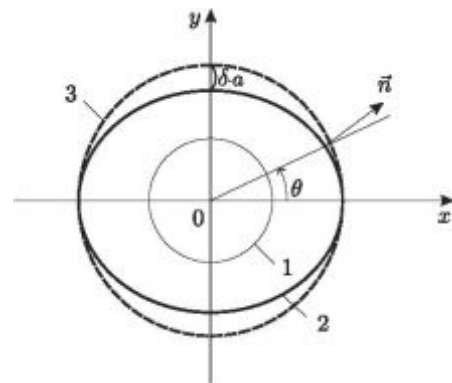


Рис.1. Схема трубы с эллиптически возмущенной границей: 1 – внутренняя граница $r=h$, 2 – внешняя возмущенная граница, 3 – граница осесимметричной трубы $r=a$

Таблица 1 - Погрешность приближенного аналитического решения к численному для трубы с эллиптической внешней границей для сплава ЭИ698 при $\theta = \pi/2$

δ	0,0	0,02	0,04	0,06
σ_{rr}	0,09/0,20	1,67/1,61	1,87/1,79	2,23/2,24
$\sigma_{\theta\theta}$	0,01/0,02	2,55/3,24	5,11/6,11	8,98/9,04

Величина сжатия $\delta = 6\%$ для рассмотренной в качестве модели трубы в абсолютных величинах составляет 9 мм, что при толщине данной трубы 35 мм составляет 26% толщины. Из табл. 1 видно, что при $\delta = 6\%$ расхождение результатов аналитического и численного решений не превышает 10%.

Таким образом, можно утверждать, что приближённое аналитическое решение применимо в прикладных задачах при величине сжатия эллиптического внешнего контура до $\delta = 6\%$. Результаты выполненной работы, а также исследований [1,2,4] позволяют сделать вывод о хорошей согласованности численного и аналитического решений с учётом двух приближений.

Библиографический список

1. Москалик А.Д. Применение метода

возмущений к задаче о несоосной трубе в условиях установившейся ползучести. – Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки. –2013. –№ 4 (33). – С. 76–85.

2. Радченко В.П., Москалик А.Д., Адеянов И.Е. Сравнительный анализ приближённого аналитического и конечно-элементного решений для несоосной трубы // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки. –2014. –№ 3 (36). –С. 39–49.

3. Ивлёв Д.Д., Ершов Л.В. Метод возмущений в теории упругопластического тела. – М. : Наука, 1978. – 208 с.

4. Радченко В.П., Москалик А.Д. Приближённое аналитическое решение задачи для трубы с эллиптическим внешним контуром в условиях установившейся ползучести // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки. – 2014. – № 4 (37). – С. 65–84.

УДК 621.822.6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ РОЛИКОПОДШИПНИКА ГТД МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ЦЕЛЬЮ КОРРЕКТИРОВКИ РАСЧЁТА ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОДШИПНИКА

© 2018 В.Н. Яковкин, В.Э. Зезеева, М.В. Кирьянова, И.Л. Гладкий,

АО "ОДК-Авиадвигатель", г. Пермь

EVALUATION OF GAS TURBINE ENGINE ROLLER BEARING LOADS BY FINITE ELEMENT METHOD TO ADJUST BEARING DURABILITY ANALYSIS

Yakovkin V.N., Zebzeeva V.E., Kiryanova M.V., Gladkiy I.L. (JSC "ODK-Aviadvigatel", Perm, Russian Federation)

The paper presents the comparative results of calculating the life factor of a bearing of one standard size by domestic and foreign methods. In order to correct the calculated life factor, obtained by the domestic method, the paper provides the analysis of the results of calculating the roller bearing, undertaken by the finite element method. It is presented that for a roller bearing having a temperature spread, the correction in the first approximation gives an underestimation of the resource in 100 times.

В работе представлены сравнительные результаты расчёта долговечности подшипника одного типоразмера по разным методикам, как отечественным, так и зарубежным. Представлен пример возможной корректировки расчётной долговечности с учётом распределения нагрузки по телам качения роликоподшипника, имеющего температурный распор, с использованием МКЭ.

Опыт сотрудничества с зарубежными производителями показывает, что расчётная долговечность подшипников зарубежного

производства существенно отличается от расчётной долговечности отечественных аналогов.

Например, для опоры КВД одного из авиационных двигателей расчётная долговечность шарикоподшипника зарубежного производства в ~9 раз превышает расчётную долговечность отечественного аналога, рассчитанную по отечественной методике. В то же время, для опоры ТВД того же двигателя, наоборот, расчётная долговечность импортного роликоподшипника в ~20 раз меньше