

УДК 629.7.01

В.Е. Хроматов, Р.В. Чухлебов, В.Н. Щугорев

НИУ «МЭИ», г. Москва, Россия

E-mail: [KhromatovVY@mpei.ru](mailto:KhromatovVY@mpei.ru); [ruslanchuhlebov@mail.ru](mailto:ruslanchuhlebov@mail.ru)

## РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ АВИАЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

В работе представлены методика и результаты экспериментального исследования и численного моделирования напряженно-деформированного состояния конструкции авиационного изделия, при стационарном гармоническом нагружении. В результате расчетов были определены первые три собственные частоты и формы колебаний соответствующие им, наиболее нагруженные зоны конструкции и также выявлено максимальные значения эквивалентной нагрузки. Во время проведения тензометрических испытаний в качестве отклика на возбуждение, рассматривалось значение виброускорения, действующие на оперение, в направлении входного вибрационного воздействия. Учитывая допустимое расхождение результатов, выявленных с помощью экспериментальных и численных способов, сделан вывод о возможности применения этого метода для оценки характеристик вибрационной прочности элементов тонкостенных конструкций авиационной продукции.

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние, авиационное изделие, стационарное гармоническое нагружение, виброускорение, тензоизмерения

В работе представлены методика и результаты экспериментального исследования и численного моделирования напряженно-деформированного состояния конструкции авиационного изделия, при стационарном гармоническом нагружении. Объектом исследования является тонкостенная конструкция отсека корпуса авиационного изделия, состоящая из конической подкрепленной оболочки с присоединенным оперением. Конструкция выполнена из алюминиевого сплава и содержит сварные соединения (рис.1).



Рис. 1. Объект исследования

Объемная твердотельная модель конструкции, была построена в среде автоматизированного проектирования SolidWorks и импортирована в систему конечно-элементного анализа ANSYS. Предварительно были проведены тестовые расчеты первых пяти собственных частот квадратной консольно-закрепленной пластины, с использованием разных типов элементов, целью которых являлось определение наиболее подходящего типа элемента для построения корректной конечно-элементной модели. Результаты сравнивались с известным аналитическим решением. Для разбиения был выбран двадцатиузловой объемный элемент SOLID186 в форме тетраэдра. Варьируя размер сетки, был достигнут удовлетворительный уровень сходимости результатов. В качестве граничных условий использовалась заделка в месте крепления отсека к изделию. Учитывая важность соответствия значения массы реального объекта исследования масс, полученных при моделировании в программных комплексах (SolidWorks, ANSYS) проведено взвешивание. Относительная погрешность составила менее 3%.

В результате модального анализа определены собственные формы и частоты конструкции на диапазоне от 0 до 300 Гц. Полученные формы, соответствующие изгибно-крутильным колебаниям пера, приведены на рис.2, 3 и 4.

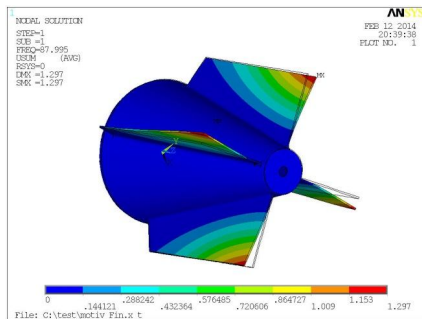


Рис. 2. Первая форма (87.995 Гц)

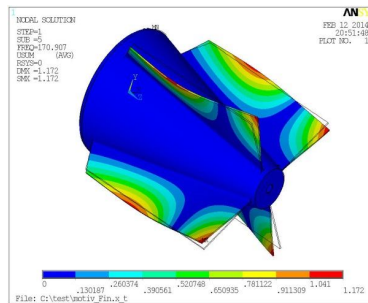


Рис. 3. Вторая форма (179.91 Гц)

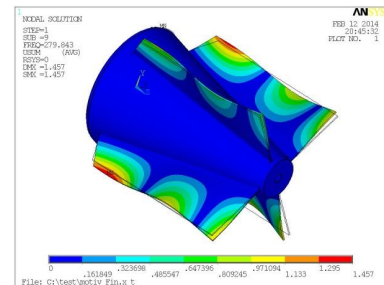


Рис. 4. Третья форма (179.91 Гц)

Следующим этапом исследования было численное моделирование напряженно-деформированного состояния конструкции, при стационарном гармоническом нагружении. В качестве характеристик внешних нагрузок при моделировании напряженно-деформированного состояния использованы значения виброускорений с амплитудой в  $1g$ , приложенные в месте крепления отсека к корпусу изделия, изменяющиеся по гармоническому закону на фиксированных частотах из диапазона от 0 до 300 Гц. Параметры конечно-элементной модели устанавливались по сходимости результатов вычислений при варьировании этих параметров. Получены распределения эквивалентных напряжений а также зависимости эквивалентных напряжений от частоты вблизи резонанса при частотах возбуждения колебаний соответствующих первой (рис. 5, 6), второй (рис. 7, 8) и третьей (рис. 9, 10) собственной частоте.

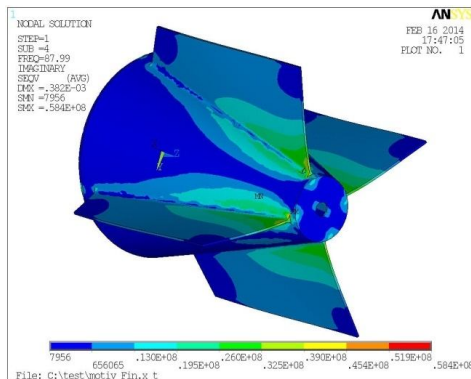


Рис. 5. Распределение эквивалентных напряжений

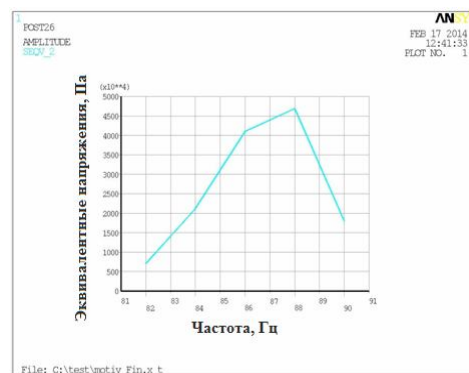


Рис. 6. Зависимость эквивалентных напряжений от частоты

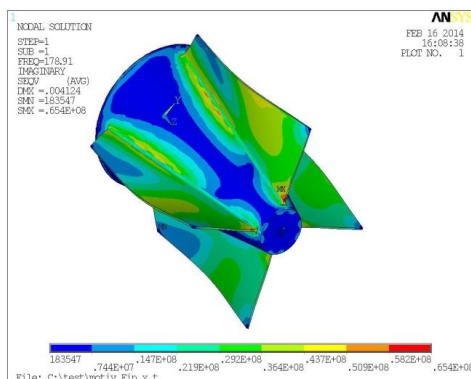


Рис. 7. Распределение эквивалентных напряжений

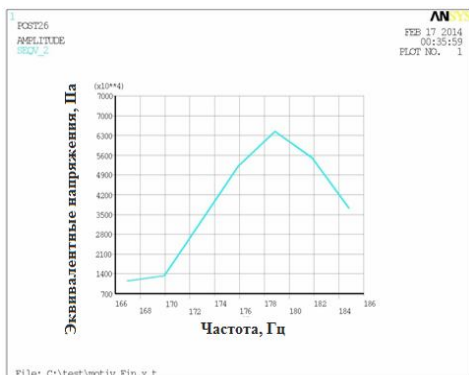


Рис. 8. Зависимость эквивалентных напряжений от частоты

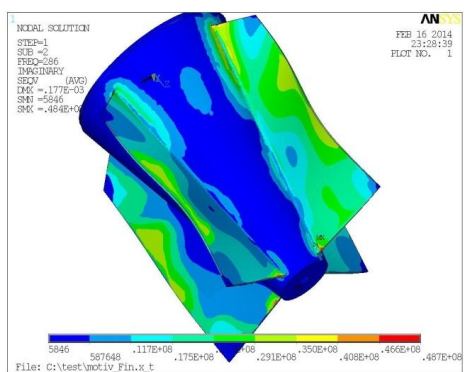


Рис. 9. Распределение эквивалентных напряжений

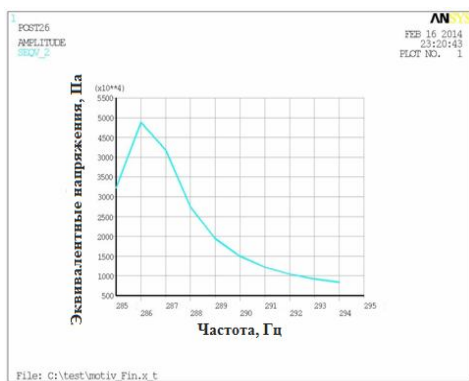


Рис. 10. Зависимость эквивалентных напряжений от частоты

В результате вычислений были определены наиболее нагруженные зоны конструкции и максимальные значения эквивалентных напряжений. Из выше представленных рисунков видно, что области максимальных уровней вибронапряжений для всех принятых частот возбуждения расположены на концах стыков оперения и корпуса. Данный факт будет определяющим при выборе места

установки тензорезисторов при проведенні тензоізмєренєй.

Експериментальне визначення амплитудно-частотних характеристик вироблювалось з використанням методу плавного змєнення частоти синусоїдальних коливань в діапазонє частот від 0 до 300 Гц. В якостє отклику на возбужденє, розматривалось значення віброскорєння, дєйствующє на оперєння, в напрямленнє входного вібраційного впливу. Амплитудно-частотна характеристика приведєна на рис. 11.

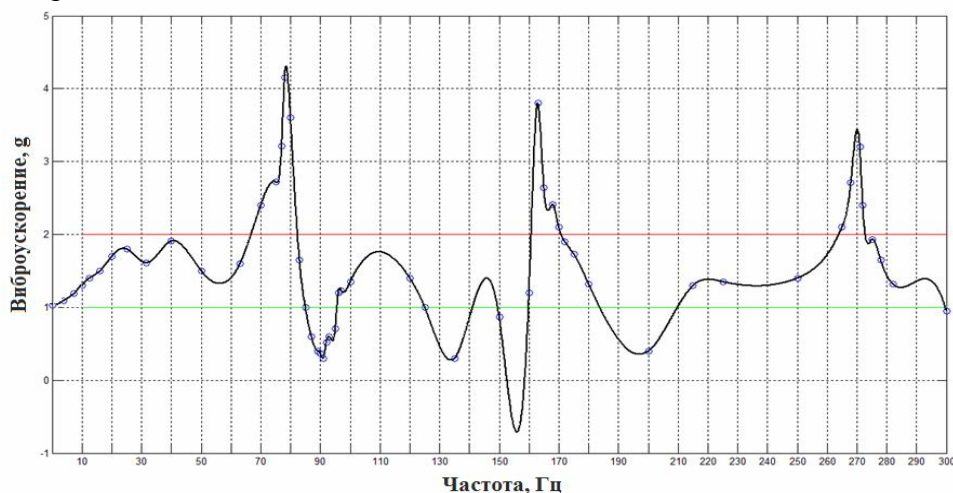


Рис. 11. Амплитудно-частотна характеристика

Експериментальне дослідження вібрації хвостового отсека, підвєрженого дєйствію стаціонарного гармонічного нагруження, проводилось в лабораторних умовлах з використанням вимєрально-вчислительного комплексу з систємою управлєння віброспєтаннєми. При установкє отсеку на стіл вібровозбудитєля використовувалось спеціальне крєпежне пристособлєння, забезпєчующє умовлє закрєплєння близькє до реальних і відсуттєвє іскажєння вібраційного сигналу [3, 4]. Рєжим вібраційного нагруження задавалсь і підтримувалсь по показаннєм датчика ускорєння установлєного на пристособлєнні. Вібраційнє спєтаннє проводилось при впливєнні синусоїдальної вібрації методом фіксованих частот на діапазонє від 10 до 300 Гц [4]. Тєнзоізмєрєння проводилось з використанням тєнзодатчиків тєпу КФ5П1-10-200. Тєнзорєзисторє устанавливались в зонах дєйствєя максимальних рівнєй вібронапруженнєй. Цє зонє були визначєні по рєзультатам числєнного моделювання. Отриманє рєсєрєнні значєння напруженнєй в мєстах розположеннє тєнзодатчиків удєвлетворитєльно сòтветствують експериментальним даним (таблиця 1). Вслєдствє чєго можнò зробити висновк, чò розроблєнна методика експериментального і числєнного дослідження конструкції хвостового отсеку, при впливєнні стаціонарного гармонічного вібраційного нагруження, можє бути використана для оцєнки характеристик вібропрочностє елєментів тонкостєнних конструкцій авіаційних вєделєй.

Таблиця 1. Сравниє рєсєрєнних і експериментальних рєзультатів

№ собствєнной частоты	Рєзультаты			
	Собствєнная частота		Макс. эквивалентное напряжение	
	Расчет, Гц	Эксперимент, Гц	Расчет, МПа	Эксперимент, МПа
1	87.99	79	57.421	53.8
2	178.83	163	64.346	69.5
3	286	270	48.128	44.6

**Список літератури:**

1. Самогин Ю.Н., Хроматов В.Е., Чирков В.П. Метод конечных элементов в задачах сопротивления материалов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 200 с.
2. Сидоренко С.А. Методы и средства испытаний и контроля: Учебное пособие.-М: Изд-во МАИ, 2005. – 96 с.
3. Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Определение динамических характеристик конструкции. ГОСТ 30630.1.1-99. М.: Изд-во стандартов, 2000. – 19 с.
4. Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие вибрации. ГОСТ 30630.1.2-99. М.: Изд-во стандартов, 2000. – 23 с.
5. Сидоренко С.А., Чухлебов Р.В. Расчетно-экспериментальное исследование вибрации конструкции авиационного изделия// Материалы XX международного симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» им. А.Г.Горшкова. 17 – 22 февраля 2014 г., М: Изд-во МАИ , 2014.

Надійшла до редколегії 15.05.2014р.

**V. Chromate, R. Chukhlebov, V. Shchugorev**

**SETTLEMENT AND EXPERIMENTAL RESEARCH OF STRESS-STRAIN STATE AIRCRAFT PRODUCTS UNDER DYNAMIC LOADING**

*In presented work the technique and results of a pilot study and numerical modeling intense the deformed condition of a design of an aviation product are presented, at stationary harmonious loading. As a result of calculations the first three own frequencies and forms of fluctuations corresponding to them were determined, the most loaded zones of a design and the maximum values of equivalent tension are also revealed. The obtained data were used during the carrying out strain-gauge and tests by definition frequency response function. Considering an admissible divergence of results, identified by experimental and numerical ways, is drawn a conclusion on possibility of application of this technique for an assessment of characteristics of vibration strength of elements of thin-walled designs of aviation products.*

**Keywords:** stress-strain state, aviation product, stationary harmonic loading, acceleration, strain-gauge

**В.Є. Хроматов, Р.В. Чухлебов, В.Н. Щугорев**

**РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ  
НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН АВІАЦІЙНИХ ВИРОБІВ ПРИ ДИНАМІЧНОМУ  
НАВАНТАЖЕННІ**

*У роботі представлені методика і результати експериментального дослідження та чисельного моделювання напружено-деформованого стану конструкції авіаційного виробу, при стаціонарному гармонійному навантаженні. У результаті розрахунків були визначені перші три власні частоти і форми коливань відповідні їм, найбільш навантажені зони конструкції і також виявлено максимальні значення еквівалентного навантаження. Під час проведення тензометричних випробувань в якості відгуку на збудження, розглядалося значення віброприскорення, що діють на оперення, в напрямку вхідного вібраційного впливу. Враховуючи допустима розбіжність результатів, виявлених за допомогою експериментальних і чисельних способів, зроблено висновок про можливість застосування цього методу для оцінки характеристик вібраційної міцності елементів тонкостінних конструкцій авіаційної продукції.*

**Ключові слова:** напружено-деформований стан, авіаційний виріб, стаціонарне гармонійне навантаження, віброприскорення, тензоізмерення