УДК 629.7.01

А.Г. Гребеников, И.Н. Шепель

Метод расчета резонансных характеристик винтокрылого летательного аппарата нормальной категории от переменных сил, действующих на несущем винте

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт»

Разработан метод расчета резонансных характеристик винтокрылого аппарата нормальной категории от переменных сил, действующих на несущем винте. Проведен анализ различных типов закрепления конструкции на несущем винте и их влияние на результат, полученный при модальном анализе конструкции фюзеляжа вертолета. Даны рекомендации по выбору типа конечного элемента и качеству конечно- элементной модели для проведения модального анализа исследуемого объекта. Метод апробирован на примере расчета фюзеляжа вертолета Ак1-3.

***Ключевые слова*:** модальный анализ, собственная частота колебаний, резонанс, мода, конечно-элементная модель, перемещения.

При поступательном полете вертолета лопасти несущего и рулевого винтов находятся под действием переменных сил. При этом лопасти совершают колебания в плоскости как пропульсивной силы, так и вращения. Силы, возникающие при данных колебаниях, передаются на всю конструкцию вертолета. Эти силы являются основным источником вибраций вертолета (рис.1). Кроме того, они вносят немалый вклад в усталостные повреждения конструкции. При этом возникающие на винтах возбуждающие силы могут быть только с частотами, кратными частоте вращения данных винтов: $z\omega_{НВ}, 2z\omega_{НВ}, 3z\omega_{НВ} \ldots kz\omega_{НВ}$; $z\omega_{РВ}, 2z\omega_{РВ}, 3z\omega_{РВ} \ldots kz\omega_{РВ}$.

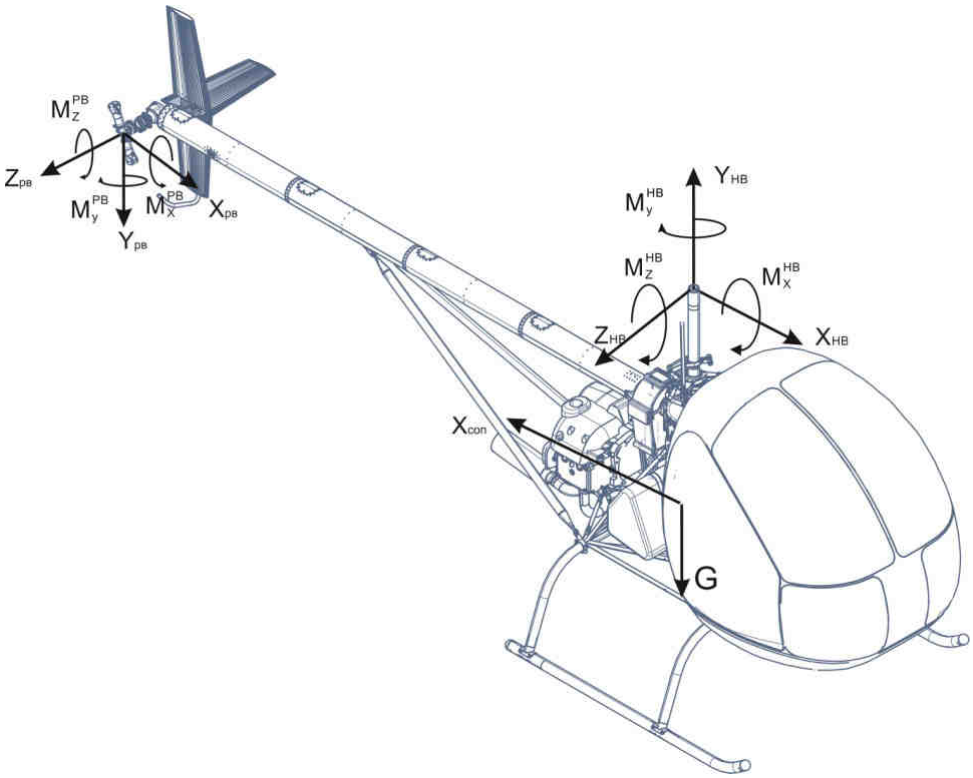

Рис.1. Силы и моменты, действующие на вертолет со стороны колеблющихся лопастей винтов

Наибольшими амплитудами обладают колебания низких тонов, более высокие тона имеют малые амплитуды и как правило несут меньшую опасность. При неправильном подборе жесткостных параметров фюзеляжа и винтов может произойти резонанс конструкции и ее динамическое разрушение. Кроме того, при колебании конструкции с частотами, близкими к резонансным зонам, возможны неприятные ощущения у пассажиров от возникающей тряски. Эти колебания также вносят свой вклад в усталостную прочность всей конструкции вертолета.

Таким образом, правильный подбор параметров фюзеляжа и винтов является необходимым условием, обеспечивающим динамическую усталостную прочность и эргономику вертолета.

Для исключения таких явлений применяли аналитические методы [1], приводившие фюзеляж вертолета к расчетной схеме типа свободной упругой балки.

На этом этапе развития методов динамического анализа наибольшего распространения получил метод конечных элементов, так как он является универсальным и позволяет убрать ряд допущений.

Предлагаемый метод динамического анализа конструкции фюзеляжа вертолета включает в себя несколько этапов:

- Анализ конструктивно – силовой схемы вертолета, вариантов центровки.
- Определение частот и амплитуд возбуждающих сил.
- Построение эквивалентной расчетной схемы с сохранением жесткостных и массовых параметров конструкции.
- Расчет собственных частот колебаний фюзеляжа для различных вариантов закрепления.
- Построение резонансных диаграмм и их анализ.
- Изменение параметров проектируемой конструкции при необходимости (изменение жесткостных параметров фюзеляжа).

Этот метод был апробирован на примере расчета фюзеляжа вертолета АК1-3 при воздействии переменных сил от несущего винта.

Определяющим параметром при расчете собственных частот является правильное формирование расчетной модели, к которой предъявляют ряд основных требований, а именно – соблюдение геометрического жесткостного и массового подобия реальной конструкции и расчетной модели.

Поскольку фюзеляж вертолета Ак1,3 представляет собой пространственную сварную стержневую систему с прикрепленной к ней элементами типа кабины, радиатора, бака и т.д., это приводит к усложнению расчетной конструкции, росту счетного времени и сложности модели. Данные элементы можно упростить без потери качества расчета. Таким образом, геометрически эквивалентную модель представляют как набор пространственных линий с заданными характеристиками сечений и сымитированных с помощью конечных элементов типа Beam. Хвостовая балка вследствие своего большого диаметра и небольшого относительного удлинения лучше всего имитируется поверхностными элементами типа Shell. Для больших и жестких элементов конструкции типа двигателя, блока ременной передачи, главного редуктора применяем твердотельное моделирование, а именно – элементы типа Solid. Массивные элементы с пониженной жесткостью (кабина, бак, радиатор) представим пилотными точками, прикрепленными к фюзеляжу. Полученная эквивалентная геометрическая модель показана на рис. 2.

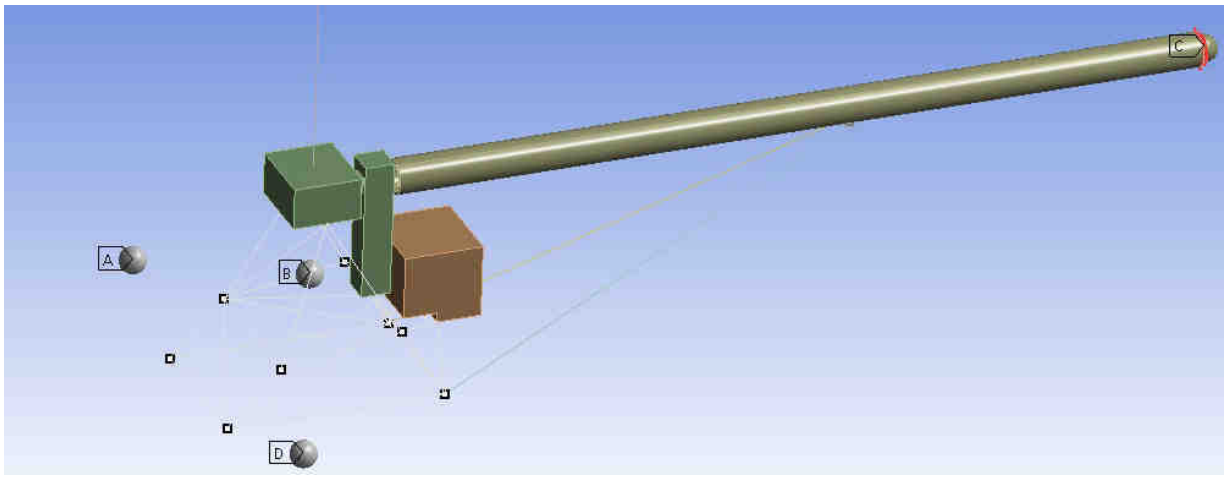

Рис. 2. Геометрическая эквивалентная модель

Для сохранения особенностей закрепления стержней подкосов балки и самой хвостовой балки, а также стержней к двигателю и главному редуктору приведем ограничение только на взаимное перемещение, но с возможностью поворотов в соответствующих осях. Такая особенность необходима для моделирования крепления стержней, так как свойства защемления влияют на собственные частоты элементов конструкции. Таким образом, получаем конечно–элементную модель, показанную на рис. 2.

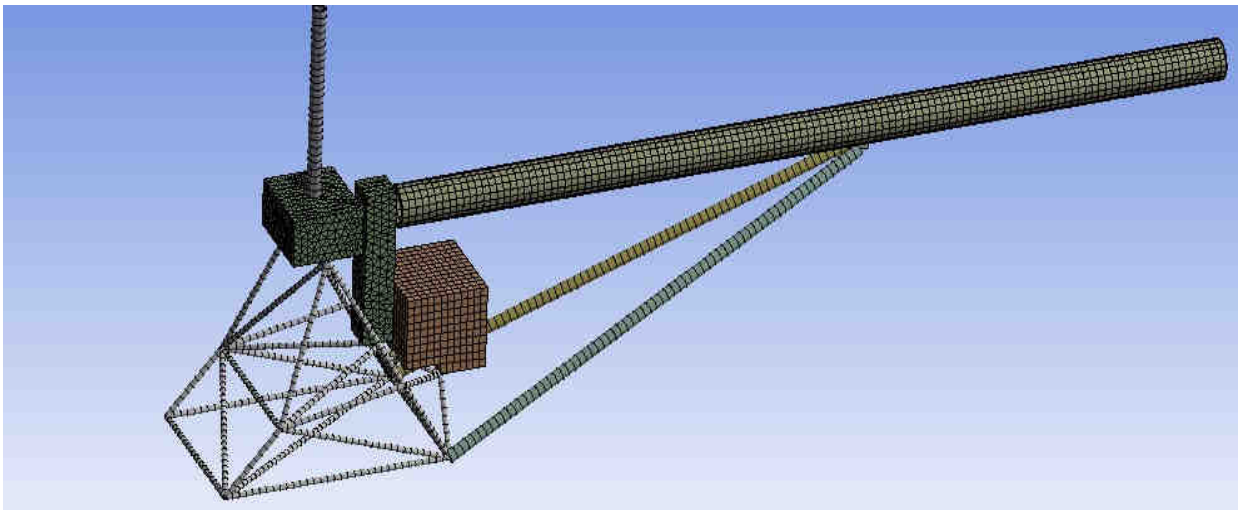

Рис. 2. Конечно-элементная модель фюзеляжа вертолета

Основной сложностью при анализе спектра собственных частот конструкции является правильный выбор схемы закрепления. Для исключения погрешности определение собственных частот проведем с использованием различных граничных закреплений конструкции.

Поскольку в полете фюзеляж не закреплен на твердой опоре, так как винт не является жестким элементом, а имеет промежуточные характеристики между жесткой опорой и шарнирным закреплением, то необходимо рассмотреть различные варианты закрепления вала винта:

Свободное тело в пространстве (рис.3) рассмотрено в работе [1] . В данном расчетном случае первые 6 мод являются нулевыми, так как описывают поступательное и вращательное движение тела в пространстве.

Вторым вариантом закрепления является шарнирное (рис. 4) закрепление на валу несущего винта. Тут нулевыми модами являются первые три, так как описывают движение фюзеляжа как математического маятника. То же касается и третьего варианта закрепления (рис. 5).

Для каждого варианта закрепления анализируют получаемую форму колебаний (рис.6–8) и спектр частот собственных частот.

С полученным спектром частот и возбуждающих усилий проводят гармонический анализ, который позволит определить запасы отстройки от резонансных явлений и наиболее опасные участки конструкции а также предварительные значения напряжений и перемещений.

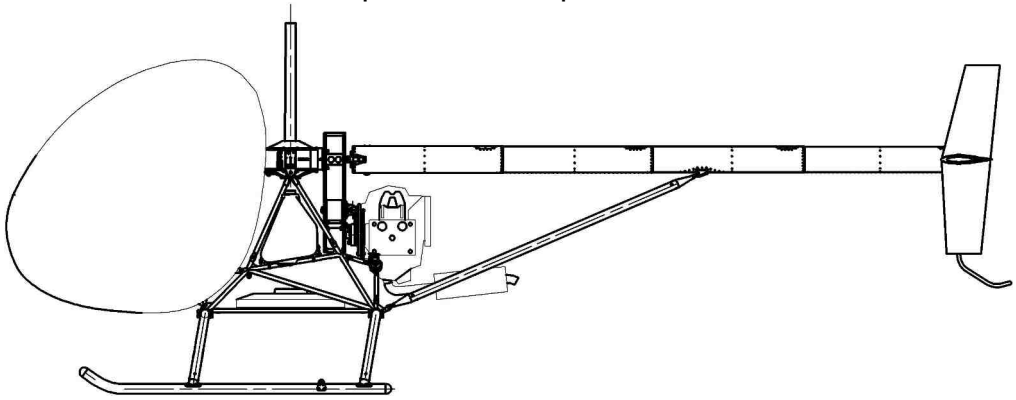

Рис. 3. Свободное закрепление конечно–элементной модели фюзеляжа

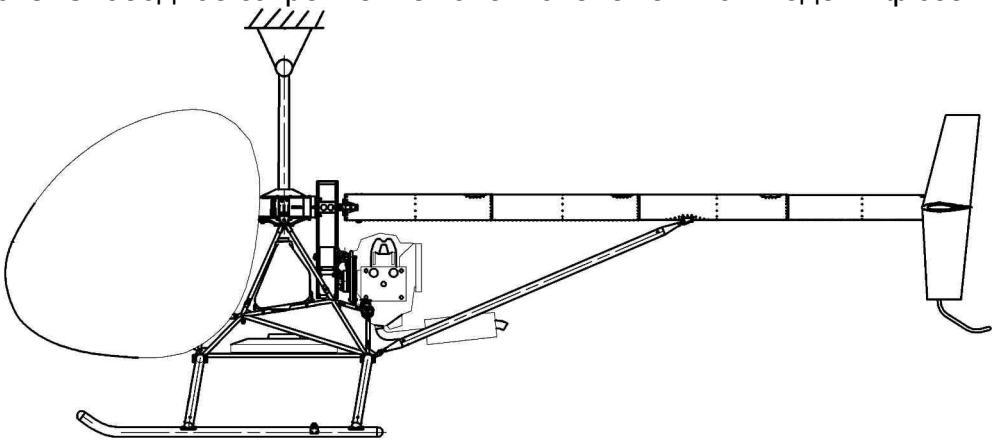

Рис. 4. Шарнирное закрепление конечно–элементной модели фюзеляжа

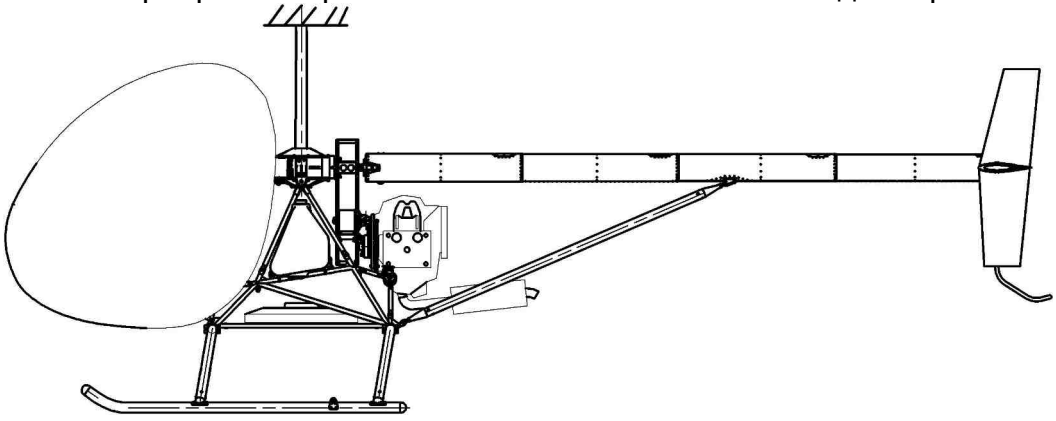

Рис. 5. Жесткое закрепление конечно–элементной модели фюзеляжа

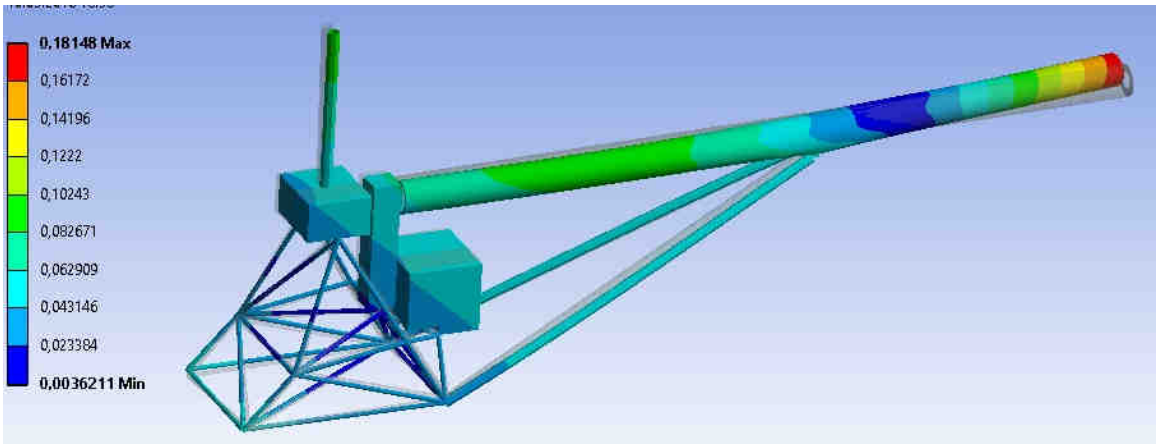

Рис. 6. Седьмая форма колебаний незакрепленного фюзеляжа (15,2Гц)

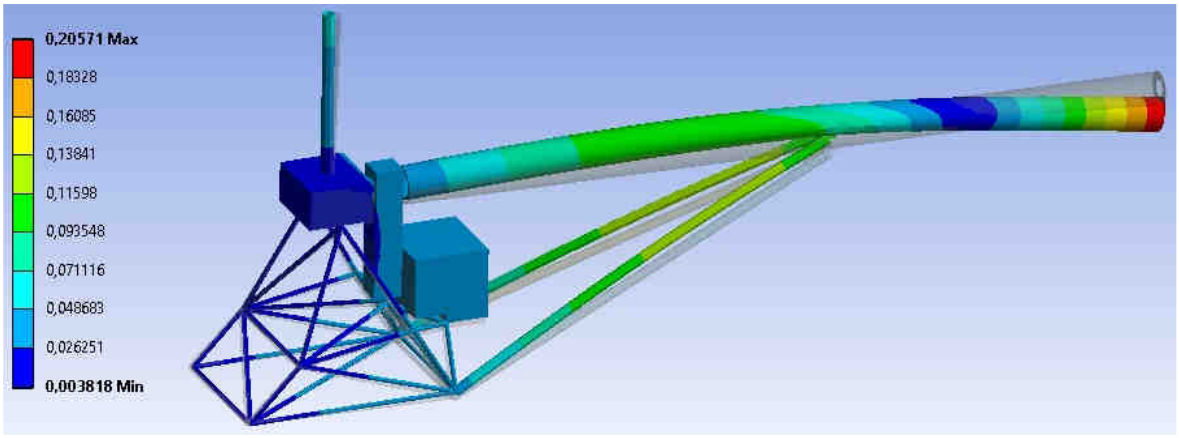

Рис. 7. Восьмая форма колебаний незакрепленного фюзеляжа (19Гц)

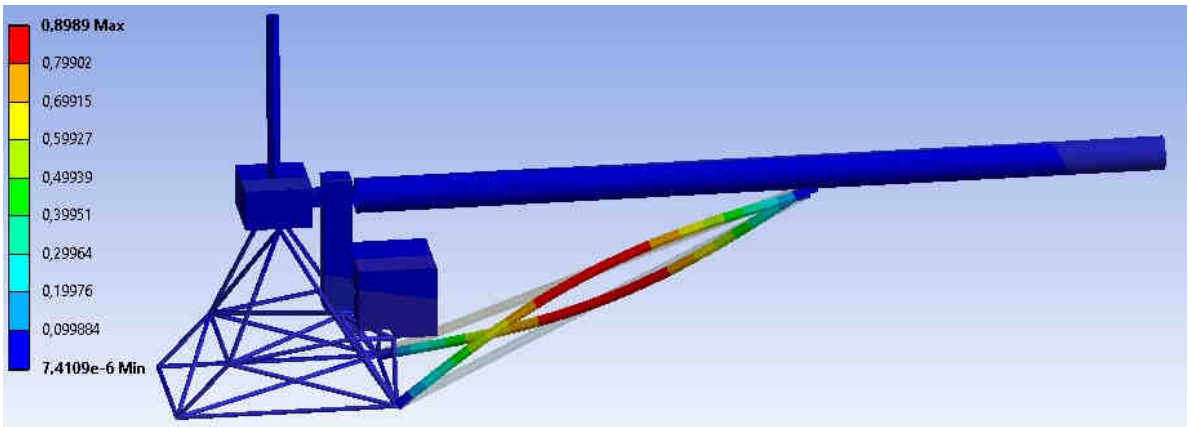

Рис. 8. Девятая форма колебаний незакрепленного фюзеляжа (30,5Гц)

В качестве сил, возбуждающих колебания были приложены переменные силы от несущего винта (рис. 9).

На полученной резонансной диаграмме (рис. 10) видно, что частота возбуждающих сил, действующих на фюзеляж (28,25 Гц). лежит за пределами резонансных участков. Запас до ближайшей собственной частоты составляет 8%, что является значительной разностью и гарантирует непопадание в резонанс. От ближайшей нижней частоты запас составляет 36% что полностью исключает появление резонанса низшей частоты.

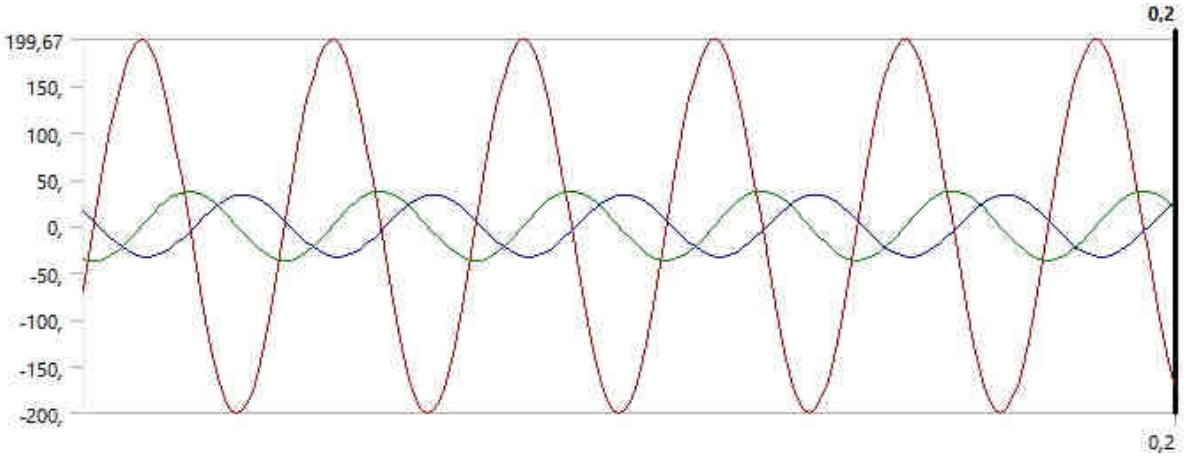

Рис. 9. Силы, действующие на втулку несущего винта

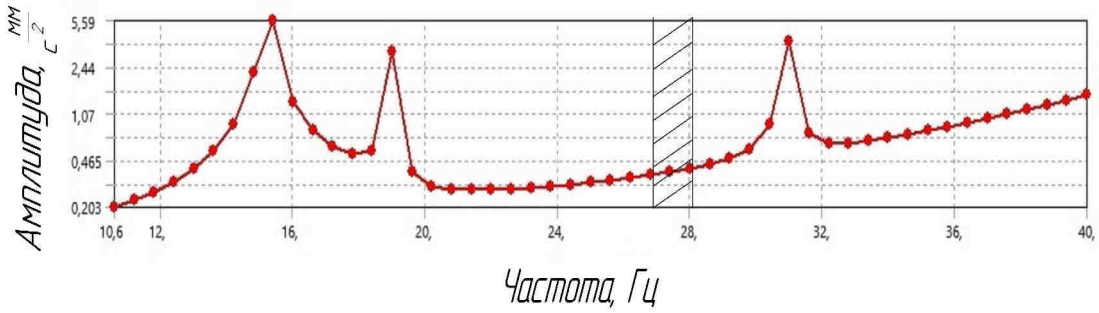

Рис.10. Резонансная диаграмма фюзеляжа вертолета с рабочей зоной оборотов несущего винта

Выводы

Предлагаемый метод позволяет проводить расчет собственных частот фюзеляжа вертолета и динамический анализ конструкции вертолета.

Этот метод был апробирован на примере расчета динамических характеристик фюзеляжа вертолета Ак1.3. Так, первый возбуждающий тон колебаний находится на частоте 28,25 Гц. Ближайшая собственная частота 30,5 Гц при рассмотрении фюзеляжа как свободного тела и 32 Гц с жестким защемлением. Таким образом, отстройка от резонанса в первом случае составляет 7,4%, во втором – 11%. Данные значения полностью обеспечивают отстройку конструкции от резонанса по первой собственной частоте колебания несущего винта.

Список литературы

1. Вертолеты (расчет и проектирование)– Т. 2. Колебания и динамическая прочность [Текст] / под ред. М. Л. Миля. – М.: Машиностроение, 1967. – 424 с.

2. Прочность, устойчивость, колебания [Текст]: справ. в 3–х т. / под ред. И. А. Биргера. – М.: Машиностроение, 1968. – 567 с.

3. Шепель, И.Н. Метод определения характеристик общего напряженно-деформированного состояния фюзеляжа легкого вертолета [Текст] / И.Н. Шепель // Открытые информационные и компьютерные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского “ХАИ”. – Вып. 57. – Х., 2012. – С. 145 – 152.

6. Гребеников А. Г., Анализ влияния различных типов конечных элементов на собственные частоты колебаний конструктивных элементов фюзеляжа вертолета при модальном анализе [Текст] / А. Г. Гребеников Д. Ю. Дмитренко, И. Н. Шепель// Открытые информационные и компьютерные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского “ХАИ”. – Вып. 59. – Х., 2013. – С. 328 – 342.

4. Басов, К. А. ANSYS. Справочник пользователя [Текст] / К. А. Басов. – М.: ДМК “Пресс”, 2005. – 640 с.

5. Лукашевич, А. А. Современные численные методы строительной механики [Текст]: учеб. пособие / А. А. Лукашевич. – Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2003. – 135 с. 6. ANSYS 14.0, Theory Reference.

Поступила в редакцию 27.01.2017

Метод розрахунку резонансних характеристик гвинтокрилого літального апарату нормальної категорії від змінних сил, що діють на несучому гвинті

Розроблено метод розрахунку резонансних характеристик гвинтокрилого апарату нормальної категорії від змінних сил, що діють на несучому гвинті. Проведено аналіз різних типів закріплення конструкції на несучому гвинті і їх вплив на результат, отриманий при модальному аналізі конструкції фюзеляжу вертольота. Дано рекомендації по вибору типу скінченного елемента і якості скінчено елементної моделі для проведення модального аналізу досліджуваного об'єкта. Метод опробований на прикладі розрахунку фюзеляжу вертольота АК1-3.

Ключові слова: модальний аналіз, власна частота коливань, резонанс, мода, скінченно -елементна модель, переміщення

The Method of Calculating the Resonant Characteristics of a Rotorcraft of the Normal Category from the Variable Forces Acting on the Rotor

A method is developed for calculating the resonant characteristics of a rotorcraft of the normal category from the variable forces acting on the rotor. The analysis of various types of fixing the structure on the rotor and their effect on the result obtained with the modal analysis of the fuselage structure of the helicopter are analyzed. Recommendations are given on the choice of the finite element type and on the quality of the finite element model for modal analysis of the object under study. The method is approved using the example of the calculation of the fuselage of the helicopter Ak1-3.

Keywords*:* modal analysis, natural oscillation frequency, resonance, mode, finite element model, displacement.

Гребеников Александр Григорьевич – д-р техн. наук, проф., зав. каф. №103 «Проектирования самолетов и вертолетов», Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

Шепель Иван Николаевич – ст. преподаватель каф. №103 «Проектирования самолетов и вертолетов», Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.