Пермский государственный технический университет

Кафедра МКМК

Группа ПКМ-03

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Расчетно-пояснительная записка

ШЕН.ПКМ03.00.00.02

Тема: расчет элементов ферменно-стержневой конструкции.

Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Шустова Е.Н.

Руководитель проекта \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Аношкин А.Н.

Проект защищен \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ с оценкой \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Члены комиссии \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Чекалкин А.А.

Пермь, 2007

Пермский государственный технический университет

Факультет \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Аэрокосмический\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ МКМК\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Дисциплина \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Строительная механика\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Курс\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 4\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Группа\_\_\_\_\_\_\_ПКМ-03 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Студент \_\_\_\_\_\_Шустова Е.Н.\_\_\_\_Дата\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Тема Расчет элементов ферменно-стержневой конструкции\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Краткое обоснование и основные цели проекта \_\_\_\_\_ Проектирование силовой конструкции представляет собой сложный многоступенчатый процесс, своеобразие которого определяется в основном двумя требованиями к конструкции: прочности или механической надежности, минимальной массы. Поиск путей увеличения прочности без увеличения массы или снижения массы без уменьшения прочности и составляют творческое содержание процесса проектирования силовой схемы конструкции \_\_\_\_\_\_\_\_

Перечень технических расчетов \_\_\_\_\_\_\_ расчет упругих характеристик слоистого композита по заданным характеристикам слоя; расчет сил в элементах фермы; определение критической нагрузки стержня; определение коэффициента запаса прочности. Определение массы; облегчение конструкции\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Перечень работ, выполняемых на ЭВМ\_\_\_ расчет упругих характеристик слоистого композита по заданным характеристикам слоя (mathcad)

Список основной литературы\_\_\_\_\_\_ Балабух Л.И., Алфутов Н.А., Усюкин В.И. «Строительная механика ракет», 1984г; Лизин В.Т., В.А. Пяткин В.А. «Проектирование тонкостенных конструкций», 2003г\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Срок представления к защите \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_3.05.2007\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Руководитель \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Аношкин А.Н.

Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Шустова Е.Н.

***Содержание***

Введение

Основная часть

1. Исходные данные
   1. постановка задачи
   2. исходные материалы
   3. физико-механические свойства
   4. геометрические размеры
2. теоретическая часть
3. модель конструкции
4. свойства углепластиков
5. расчетная часть
6. расчет упругих характеристик слоистого композита по заданным характеристикам слоя
7. расчет сил в элементах фермы
8. определение критической нагрузки стержня
9. определение коэффициента запаса прочности. Определение массы.
10. облегчение конструкции

Заключение

Список литературы

Приложения

***Введение***

**Данный курсовой проект содержит основы проектирования ферменно-стержневой конструкции. Работа основана на аналитических методах и поэтому, на первый взгляд, при современных возможностях исследования прочности на основе универсальных методов может показаться несовременной. Между тем основное преимущество аналитических методов исследования состоит в том, что онидают ясное представление о взаимосвязи параметров конструкции с ее несущей способностью, возможностью параметрического анализа и формулировки новых закономерностей. Кроме того (и это главное), современными универсальными пакетами нетрудно рассчитать любую конструкцию, но перед проектантом стоит другая задача: как быстро и грамотно определить параметры конструкции минимальной масс, принять рационально конструкторские решения?**

**Проектирование силовой конструкции представляет собой сложный многоступенчатыйпроцесс, своеобразие которого оределяется в основном двумя требованиями к конструкции: прочности или механической надежности, минимальной массы. Эти два требования – взаимопротиворечащие, так как, очевидно, проще всего обеспечить механическую надежность, увеличив массу, и , соответсвенно, снизить массу конструкции, уменьшив запасы прочности. Поиск путей увеличения прочности без увеличения массы или снижения массы без уменьшения прочности и составляют творческое содержание процесса проектирования силовой схемы кострукции.[5]**

***Основная часть***

1. **Исходные данные**
2. Постановка задачи

Проверочный расчет на прочность заданной конструкции, определение запасов прочности конструкции в исходном варианте, оценка возможности облегчения конструкции - рациональное проектирование элементов конструкции (стержней), при условии варьирования толщиной (количество слоев), схемой намотки, геометрией поперечного сечения. Форму конструкции и число стержней менять нельзя.

1. Исходные материалы
   * Углепластик КМУ 4Л
   * Углепластик на основе препрега К
2. Физико-механические свойства материалов
   * Плотность

Углепластик КМУ 4Л γа = 1,5 г/см3

Углепластик на основе препрега К γb = 1,7 г/см3

* Модуль упругости при растяжении вдоль волокон

Еа1 = 140 ГПа

Еb1 = 210 ГПа

* Модуль упругости при растяжении поперек волокон

Еа2 = 8 ГПа

Еb2 = 8 ГПа

* Модуль сдвига в плоскости

G12 = 4 ГПа

* Коэффициент Пуассона

ν12 = 0,25

* Сила тяги

F1 = 10787 Н

* Сила, возникающая от смещения вектора тяги

F2 = 0,1 F1 = 1078 Н

1. Геометрические размеры

* Высота конструкции

h= 700мм

* Диаметр шпангоутов

D1 = 700мм

D2 = 400мм

* Сечение стержня прямоугольное

a = 0,20мм

b = 0,36мм

* Схема армирования

+80/0/0/0/0/-80

* Толщина слоя:

δа = 0,18мм

δb = 0.2мм

1. **Теоретическая часть**

Модель конструкции



Данная конструкция состоит из двух кольцевых шпангоутов и симметрично расположенных стержневых элементов фермы. Стержни в узлах соединены шарнирами. Нагрузка приложена в центре меньшего шпангоута и распределена по шести точкам соединения стержней.

Стержень фермы представляет собой слоистый композиционный материал, армированный прямыми волокнами. Верхний и нижний слои – это углепластик КМУ–4Л (наполнитель Лу-П-0,1; связующее ЭНФБ). Средние слои – это углепластик на основе препрега К (наполнитель Кулон-П; связующее ЭНФБ). Верхний слой намотан под углом плюс 800 по направлению к нагрузке, далее четыре слоя - под углом 00, и последний слой намотан под углом минус 800.

Требования предъявляемые к исходным материалам:

* низкая плотность
* высокая удельная прочность
* высокая удельная жесткость

По сочетанию прочности и модуля упругости армированные ПКМ с однонаправленной ориентацией волокон существенно превосходят все современные металлические конструкционные материалы. Эти преимущества оказываются тем более значительными, если принять во внимание низкую плотность ПКМ (1300.2000 кг/м3). Основной особенностью армированных пластиков является ярко выраженная анизотропия их механических свойств, определяемая ориентацией волокон в матрице в одном или нескольких направлениях. Выбор ориентации обусловливается распределением напряжений в элементах конструкций. Это дает возможность оптимизировать структуру материала по весовым характеристикам, что позволяет создавать конструкции с минимизированной материалоемкостью [4].

Углеродные волокна нашли широкое применение в конструкциях, которые должны иметь ограниченный вес. Среди всех армированных пластмасс углепластики обладают наиболее высокими стойкостью к усталостным испытаниям и долговечностью. Углепластики плохо пропускают рентгеновские лучи. Они имеют очень низкий коэффициент линейного расширения и оказываются наиболее подходящими для конструирования космических аппаратов, подвергающихся значительным перепадам температур между солнечной и теневой сторонами[8].

Слоистая структура армированных пластиков дает возможность в широком диапазоне варьировать механические свойства этих материалов.

1. **Расчетная часть**
   1. **расчет упругих характеристик слоистого композита (стержня) по заданным упругим характеристикам слоя.**

Закон Гука устанавливает функциональную зависимость между напряжениями и деформациями. Напряжения и деформации являются физическими величинами, которые можно классифицировать как тензоры второго ранга.

, (1.1)

где *σij* – тензор напряжений

*Cijmn* – тензор упругости

*εij* – тензор деформаций.

Для ортотропного слоя, нагруженного в плоскости армирования 1-2 и для случая плоского напряженно-деформированного состояния закон деформирования выглядит следующим образом:

 (1.2)

где

  (1.3)

Составим матрицу *Q1* для слоев под углом 00

, (Па)

Составим матрицу *Q*2 для верхнего нижнего слоев

, (Па)

Приведенные зависимости относятся к частному случаю, когда оси нагружения *x* и *y* совпадают с осями упругой симметрии ортотропного материала 1 и 2. В общем случае эти оси не совпадают, и уравнения состояния отдельных слоев должны быть трансформированы в произвольных осях по следующей схеме:

 (1.4)

 (1.5)

Матрица трансформации имеет следующий вид:

 (1.6)

где *m = cos(α)* и *n = sin(α*)

матрица тансформации для α = 0



Матрица трансформации для α = 80



Матрица трансформации для *α* = -80



Используя зависимости (2), (4) и (5), уравнения состояния слоя впроизвольных осях *x* и *y* можно записать в следующем виде:

 (1.7)

Введем следующие обозначения

 (1.8)

где *Θj* – относительная толщина слоя

Закон деформирования для пакета слоев:

 (1.9)

где  (1.10)

, (Па)

Получаем выражения технических деформативных характеристик слоистых материалов через упругие характеристики <Amn>, а следовательно, через соответствующие характеристики отдельных слоев:

 

   (1.11)



* 1. **расчет сил в элементах фермы**

Ферма наружается осевой F1 и поперечной F2 силами. Усилие в отдельном стержне от осевой силы

 (2.1)

При вычислении усилий в стержне от поперечной силы F2 полагаем, что нагрузку воспринимают только те стержневые треугольники (рис.2.), плоскость которых параллельна плоскости действия силы F2.



Тогда усилие в отдельном стержне

**** (2.2)

где **** (2.3)

****

Предположим, что усилия от F1 и F2 складываются в одном стержне по максимуму

независимо от направления их действия:

 (2.4)

Найдем напряжение:

 (2.5)

* 1. **определение критической нагрузки стержня**

Потеря устойчивости первоначальной формы равновесия элементов конструкций может оказаться причиной исчерпания их несущей способности и в процессе эксплуатации недопустима. Положение равновесия может быть устойчивым, безразличным (нейтральным) и неустойчивым.

При центральном сжатии стержня с прямолинейной осью, с фиксированной линией действия силы характерны следующие ситуации:

1. Если Р<Pкр , то при снятии малых поперечных возмущений продольная ось стержня стремится вернуться к исходному прямолинейному положению равновесия.
2. При Р=Ркр возможно множество форм равновесия – прямолинейная и близкие к ней мало деформированные, что соответствует безразличному положению равновесия. При этом исходная прямолинейная форма равновесия стержня перестает быть устойчивой. Нагрузка Р= Ркр, при которой прямолинейная форма равновесия перестает быть устойчивой, называется критической.
3. При Р>Pкр прямолинейное положение оси стержня статически возможно, но неустойчиво.

Для определения критической силы для сжатого стержня при различных условиях закрепления (различных граничных условиях) воспользуемся формулой Эйлера:

 (3.1)

где μ – коэффициент приведенной длины, показывающий во сколько раз нужно изменить длину шарнирно опертого стержня, чтобы критическая сила для него равнялась критической силе для стержня длиной *l* при рассматриваемых граничных условиях.

Для шарнирно опертого стержня μ=1.

Найдем длину стержней

 (3.2)

где *R* – радиус верхнего шпангоута

*r* – радиус нижнего шпангоута

*h* – высота конструкции

*n* – количество узлов.

Найдем момент инерции сечения стержня:

 (3.3)

Подставим найденные значения в формулу Эйлера (3.1) и получим критическую силу



Найдем критические напряжения:

 (3.4)

* 1. **определение коэффициента запаса прочности. Определение массы**

Найдем коэффициент запаса прочности

 (4.1)



Найдем массу фермы без учета распорных шпангоутов

 (4.2)

где

 (4.3)

Подставим (4.3) в (4.2)

 (4.4)



* 1. **облегчение конструкции**

Для облегчения конструкции изменим размер сечения и схему армирования стержней.

* + Сечение – тонкостенный квадрат со стороной 20мм
  + Схема армирования – 45/0/0/-45

Используя формулы (1.3), (1.6), (1.8), (1.10), (1.11) найдем упругие характеристики для четырехслойного пакета.



Найдем момент инерции:

 (5.1)

Подставим найденные значения в формулу Эйлера (3.1) и получим критическую силу



Найдем критические напряжения по формуле (3.4)



Найдем напряжение в стержне от приложенной силы по формуле (2.5)



Найдем коэффициент запаса прочности по формуле (4.1)



Найдем массу по формуле (4.4)



***Заключение***

В данном курсовом проекте был проведен проверочный расчет ферменно-стержневой конструкции. При заданном сечении стержня, конструкция может выдерживать сравнительно большие осевые нагрузки. Но при заданных поперечной и продольной силах можно уменьшить прочностные характеристики, т.к. коэффициент запаса прочности получился слишком большой.

Изменив форму сечения, размеры сечения и схему армирования, удалось снизить массу фермы более чем в 3 раза. Причем прочностные характеристики остались достаточно высокими.

***Список литературы***

1. Анурьев В.И. «Справочник конструктора-машиностроителя», том1, 2003г
2. Балабух Л.И., Алфутов Н.А., Усюкин В.И. «Строительная механика ракет», 1984г
3. Ганенко А.П. «Оформленеи текстовых и графических материалов при подготовке дипломных поектов, курсовых и письменных работ», 2002г
4. Зеленский Э.С. «Армированные пластики – современные конструкционные материалы», 2001г
5. Лизин В.Т., В.А. Пяткин В.А. «Проектирование тонкостенных конструкций», 2003г
6. Окопный Ю.А., Радин В.П., ЧирковВ.П. «Механика материалов и конструкций», 2002г
7. Скудра А.М., Булава Ф.Я. «Структурная механика армированных пластиков»
8. Симамура С. «Углеродные волокна», перевод с японского, 1987г
9. справочник композиционные материалы, /под редакцией Карпиноса Д.М., 1985г

Приложение 1



Приложение 2

