# Расчёт кругового шпангоута

## Графическое изображение расчетной схемы

В данной части курсовой работы рассматривается круговой центральный лонжерон, на который действуют две радиальные силы (P\_{n1},P\_{n2}), две тангенциальные силы (P\_{t1},P\_{t2}) и два изгибающих момента (M\_1,M\_2) (рисунок 2.1). Значения нагрузок приведены в таблице 2.1. 图示, 工程绘图

描述已自动生成

* 1. – Схема нагружения шпангоута

【正方向的确定:拉力拉伸为正，剪力顺时针为正，弯矩逆时针为正】

Таблица 2.1 - Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер сечения | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| , градусы | 25 | 85 | 170 | 240 | 330 |
| , | -30 |  |  | 17 |  |
| , |  | 25 |  |  | -30 |
| , |  |  | 10 | -12 |  |

Радиус шпангоута

Толщина обшивки

Коэффициент безопасности

Материал шпангоута Д16АТ имеет следующие характеристики:

## Определения с помощью ЭВМ закона изменения погонной касательной силы , изгибающего момента , перерезывающей силы и продольной силы. Эпюры , , и

Для расчёта,  и  необходимо рассчитать нагрузки с учётом коэффициента безопасности . Расчетные значения усилий вычисляются по следующей формуле:

Где - **расчетные значения усилий;**

- номер нагрузки.

Для заданного шпангоута имеем:

В соответствии со схемой нагружения шпангоута (Рисунок 2.1) и полученными значениями расчётных нагрузок на ЭВМ вычисляются значения ,.

Расчёт проводится с помощью программы ring.exe. Результаты расчётов приведены в таблице 2.2. Распечатка результатов программы представлена в приложении 3.

Таблица 2.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Угол, град | М, кН\*м | N, kH | Q, kH | qt, kH/м | Угол, град | М, кН\*м | N, kH | Q, kH | qt, kH/м |
| 0 | -0.8018 | 8,735 | 1,59 | -57,25 | 180 | 1,533 | -1,214 | -5,53 | 6,087 |
| 5 | 0.1979 | 14,54 | 2,605 | -56,72 | 185 | 0,898 | -12,46 | -6,601 | 9,992 |
| 10 | -6.820 | 20 | 4,1 | -54,4 | 190 | 0,149 | -13,06 | -7,71 | 13,37 |
| 15 | -1.865 | 25,17 | 6,097 | -50,64 | 195 | 0,71 | -13,89 | -8,88 | 16,12 |
| 20 | -3.365 | 29.56 | 8,491 | -45 | 200 | 1,715 | -14,86 | -10,14 | 18,24 |
| **25** | -5.188 | **7,05** | **11,23** | **-37,82** | 205 | 2,846 | -15,91 | -11,48 | 19,76 |
| 30 | -3.402 | 9,56 | 11,96 | -29,18 | 210 | 4,123 | -16,98 | -12,92 | 20,79 |
| 35 | 3,39 | 11,03 | 12,87 | -19,42 | 215 | 5,555 | -18 | -14,44 | 21,45 |
| 40 | 4,79 | 11,35 | 13,85 | -8,92 | 220 | 5,849 | 26,56 | -16,06 | 21,84 |
| 45 | 6,296 | 10,47 | 14,81 | 1,857 | 225 | 4,287 | 25,57 | -13,78 | 22,04 |
| 50 | 7,892 | 8,392 | -16,85 | 12,39 | 230 | 2,959 | 24,36 | -11,6 | 22,05 |
| 55 | 6,165 | 8,014 | -16,13 | 22,13 | 235 | 1,854 | 22,98 | -9,53 | 21,86 |
| 60 | 4,511 | 6,62 | -15,48 | 30,57 | 240 | 0,958 | 21,46 | -7,593 | 21,4 |
| 65 | 2,917 | 4,381 | -15 | 37,25 | 245 | 0,258 | 19,84 | -5,79 | 20,61 |
| 70 | 1,362 | 1,517 | -14,74 | 41,83 | 250 | 0,2597 | 18,17 | -4,132 | 19,46 |
| 75 | -0,1795 | -1,719 | -14,75 | 44,12 | 255 | 0,61 | 16,50 | -2,619 | 17,93 |
| 80 | -1,737 | -5,058 | -15,04 | 44,04 | 260 | 0,8132 | 14,89 | -1,25 | 16,03 |
| 85 | -3,34 | -8,231 | -15,62 | 41,7 | 265 | 0,878 | 13,38 | 0,0168 | 13,82 |
| 90 | -5,018 | -10,99 | -16,47 | 37,34 | 270 | 0,8211 | 12 | 1,09 | 11,31 |
| 95 | -6,796 | -13,11 | -17,52 | -31,31 | 275 | 0,654 | 10,83 | 2,085 | 8,567 |
| 100 | -8,693 | -14,44 | 20,27 | 24,10 | 280 | 0,3877 | 9,866 | 2,987 | 5,606 |
| 105 | -6,643 | -18,26 | 18,84 | 16,23 | 285 | 0,031 | 9,145 | 3,814 | 2,46 |
| 110 | -4,758 | -21,11 | 17,11 | 8,250 | 290 | 0,4094 | 8,692 | 4,591 | -0,853 |
| 115 | -3,066 | -22,99 | 15,18 | 0,6744 | 295 | 0,9295 | 8,529 | 5,340 | -4,340 |
| 120 | -1,584 | -23,93 | 13,12 | -6,063 | 300 | 1,528 | 8,676 | 6,088 | -8,022 |
| 125 | -0,319 | -24,05 | 11,03 | -11,63 | 305 | 2,206 | 9,154 | 6,864 | -11,95 |
| 130 | 0,7264 | -23,47 | 8,948 | -15,80 | 310 | 2,967 | 9,989 | 7,697 | -16,17 |
| 135 | 1,558 | -22,36 | 6,945 | -18,45 | 315 | 3,821 | 11,21 | 8,618 | -20,73 |
| 140 | 2,185 | -20,87 | 5,057 | -19,58 | 320 | 4,973 | -26,17 | 9,66 | -25,62 |
| 145 | 2,622 | -19,19 | 3,308 | -19,26 | 325 | 4,078 | -23,96 | 7,472 | -30,79 |
| 150 | 2,883 | -17,47 | 1,709 | -17,62 | 330 | 3,400 | -21,02 | -5,504 | -36,08 |
| 155 | 2,985 | -15,84 | 0,2566 | -14,88 | 335 | 2,915 | -17,37 | 3,823 | -41,31 |
| 160 | 2,942 | -14,43 | -1,062 | -11,30 | 340 | 2,588 | -13,06 | 2,491 | -46,20 |
| 165 | 2,766 | -13,31 | -2,271 | -7,141 | 345 | 2,379 | -8,165 | 1,561 | -50,51 |
| 170 | 2,469 | -12,55 | -3,396 | -2,691 | 350 | 2,245 | -2,799 | 1,079 | -53,94 |
| 175 | 2,057 | -12,16 | -4,472 | 1,795 | 355 | 2,136 | 2,892 | 1,082 | -56,26 |

В таблице 2.2 для сечений представлены значения внутренних силовых факторов, соответствующие подходы к этим сечениям со стороны углов больших , т.е. даны значения (здесь под понимается любая из величин и ).

在表2.2中，对于phi=\alpha\_\iota的截面，给出了**从大于\alpha\_\iota的角度接近这些截面时的内力因子值**，即给出了fleft(\alpha\_\iota+0\right)值（这里的fleft(\phi\right)指的是N^P,Q^P,M^P和q\_t^p中的任意值）。

1. По таблице 2.2 для сечения имеем:

.

На эпюре будет скачок на величину

Что касается нормальной силы , и изгибающего момента то M они при непрерывны.

至于法向力N和弯矩M，它们在\phi=\alpha\_1处连续

2. Для сечения имеем:

.

На эпюре будет скачок на величину .

Изгибающий момент и нормальная сила при непрерывны.

3. Для сечения имеем:

.

На эпюре будет скачок на величину .

Изгибающий момент и нормальная сила при непрерывны.

4. Для сечения имеем:

.

На эпюре будет скачок на величину

На эпюре М будет скачок на величину

Перерезывающая сила при непрерывна.

5. Для сечения имеем:

.

На эпюре будет скачок на величину

На эпюре будет скачок на величину .

Нормальная сила при непрерывна.

На рисунке 2.2 представлены графики распределения усилий , , и вдоль осевой линии шпангоута.

* 1. - Графики распределения усилий , , и

Эпюры , , и , представлены на рисунках 2.3 – .2.6.

* 1. - Эпюра
  2. - Эпюра
  3. - Эпюра

## Подбор сечения шпангоута

Типовое сечение силового шпангоута показано на рисунке 2.7. Оно состоит из поясов, стенки и части обшивки корпуса ЛА, работающей совместно со шпангоутом.

Введём следующие обозначения:

- площадь сечения пояса;

- площадь прессованных уголков;

- высота стенки.

Для определения высоты стенки используем следующую формулу:

,

где - максимальное расчётное значение изгибающего момента;

- критическое напряжение для полки пояса.

,

- максимальное расчётное значение перерезывающей силы.



* 1. – Типовое сечение силового шпангоута.

Значения и берутся из эпюр построенных ранее (рисунки 2.3-2.6).

,

,

,

,

,

.

Принимаем .

Величину определяем из выражения

.

Площадь уголка равна

.

По ГОСТ 13737-90 выбираем уголок ПР 100-36 , приведённый на Рисунок 2.8.



* 1. – Геометрические параметры выбранного уголка.

Для данного уголка:

, , .

Определяем величину критического напряжения для выбранного профиля:

.

Где

- критическое напряжение для местной потери устойчивости;

(зависит от закрепления стенок);

- модуль упругости материала.

.

Значение превышает предел пропорциональности .

.

В этом случае значение :

,

где .

Уточняем величину по формуле:

.

Принимаем .

Определяем толщину стенки :

.

В соответствии с нормальным рядом толщин .

Далее подберём заклёпки. Рассчитаем диаметр заклёпок, соединяющих пояса со стенкой (Рисунок 2.9).





Величина срезающей силы в этом случае равна:

, где

- шаг заклёпок, выбирается из стандартного ряда .

Выбираем .

.

Тогда, потребная площадь сечения заклепки определится по формуле:

, где

- потребная площадь сечения заклепки;

- предел прочности материала на сдвиг.

Получим

.

Тогда диаметр заклепки найдется по формуле:

.

Округлим полученное значение до стандартного .

Рассмотрим заклепки, крепящие шпангоут к обшивке (Рисунок 2.10).





Величина срезающей силы:

, где

- шаг заклепок;

- количество рядов заклёпок.

Тогда

.

Т.к. , то можно принять диаметр заклёпок

## Поверочный расчёт шпангоута

Вид выбранного сечения шпангоута представлен на Рисунок 2.11.



* 1. – Сечение шпангоута

Ранее получены значения:

.

Ранее подобран пояс с параметрами:

,

.

Пусть в опасном сечении шпангоута расчетные значения изгибающего момента и нормальной силы равны и . Тогда нормальные напряжения в точках А и В исследуемого сечения шпангоута будут равны (Рисунок 2.11):

Здесь и – площадь и момент инерции сечения шпангоута (относительно оси 0-0) с учетом ослабления отверстиями под заклепки; ордината центра тяжести ослабленного сечения шпангоута. При вычислении и к верхнему поясу следует добавить прилегающую часть обшивки, работающую со шпангоутом. Ширину этой части обшивки можно принять равной 50=82,5мм, где - толщина обшивки.

Определим положение главной центральной оси 0-0:

,

где статический момент сечения.



* 1. - Профиль стрингера

Пусть .

1 Рассмотрим сечение с максимальным положительным значением момента:

;

;

2 Рассмотрим сечение с максимальным отрицательным значением момента:

;



Вычислим коэффициенты запаса по устойчивости шпангоута:

для сжатого пояса;

для растянутого пояса.

Максимальные касательные напряжения  будут в точке С сечения шпангоута (Рисунок 2.11)

.

Здесь статический момент части сечения, лежащий выше точки С (или ниже этой точки) относительно оси 0-0 (центральной оси, параллельной оси х).

Величину сравним с критическим напряжением для стенки

,

где (Рисунок 2.11).

Определим коэффициент запаса:

стенка не потеряет устойчивость.

Прочность заклепок, соединяющих пояса со стенкой, можно проверить по следующему уточненному значению срезающей силы Р:

.

Здесь t – шаг заклепок, площадь сечения выбранного для пояса профиля.

;

Величина не должна превосходить срезающей силы для заклепки.

.

Таблица 2.3

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **F** | **y'** | **Fy'** | **y** | **Fy2** | **I** |
| обшивка | 123,75 | 265,75 | 32886,6 | 122,66 | 1861877 | 23,2031 |
| заклепка | -20,8 | 265 | -5512 | 121,91 | -309130 | -27,733 |
| уголок | 144,1 | 256,676 | 36987 | 113,59 | 1859145 | 12240 |
| уголок | 144,1 | 256,676 | 36987 | 113,59 | 1859145 | 12240 |
| заклепка | -22,5 | 250 | -5625 | 106,91 | -257169 | -16,875 |
| стенка | 662,5 | 132,5 | 87781,3 | -10,59 | 74299 | 3877005 |
| заклепка | -22,5 | 15 | -337,5 | -128,09 | -369159 | -16,875 |
| уголок | 144,1 | 8,324 | 1199,49 | -134,77 | 2617128 | 12240 |
| уголок | 144,1 | 8,324 | 1199,49 | -134,77 | 2617128 | 12240 |
|  | 1296,85 |  | 185566 |  | 9953262 | 3925927 |

|  |  |
| --- | --- |
| у цт | 143,09 |
| I сеч | 13879189 |

;

;

2 Рассмотрим сечение с максимальным отрицательным значением момента:

;



Вычислим коэффициенты запаса по устойчивости шпангоута:

для сжатого пояса;

для растянутого пояса.

Максимальные касательные напряжения  будут в точке С сечения шпангоута (Рисунок 2.11)

.

Здесь статический момент части сечения, лежащий выше точки С (или ниже этой точки) относительно оси 0-0 (центральной оси, параллельной оси х).

Величину сравним с критическим напряжением для стенки

,

где (Рисунок 2.11).