# 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 | -21.03 | -3.647 | 29.88 | 180 | -3.515 | -7.955 | 4.739 | 10.25 |
| 5 | 0.1979 | -24.23 | -5.627 | 25.1 | 185 | -2.943 | -9.447 | 3.976 | 6.6 |
| 10 | -0.682 | -26.57 | -7.85 | 19.57 | 190 | -2.479 | -10.35 | 3.108 | 2.36 |
| 15 | -1.865 | -27.95 | -10.24 | 13.42 | 195 | -2.132 | -10.59 | 2.189 | -2.22 |
| 20 | -3.365 | -28.28 | -12.7 | 6.829 | 200 | -1.905 | -10.15 | 1.279 | -6.89 |
| **25** | -5.188 | -27.51 | 14.86 | 0.0208 | 205 | -1.794 | -9.02 | 0.4383 | -11.4 |
| 30 | -3.402 | -28.26 | 12.42 | -6.766 | 210 | -1.785 | -7.261 | -0.276 | -15.5 |
| 35 | -1.938 | -27.92 | 9.958 | -13.29 | 215 | -1.859 | -4.95 | -0.813 | -19 |
| 40 | -0.7917 | -26.54 | 7.575 | -19.31 | 220 | -1.988 | -2.2 | -1.127 | -21.6 |
| 45 | 0.05221 | -24.22 | 5.353 | -24.67 | 225 | -2.143 | 0.8453 | -1.188 | -23.2 |
| 50 | 0.6202 | -21.06 | 3.372 | -29.2 | 230 | -2.287 | 4.023 | -0.976 | -23.7 |
| 55 | 0.9483 | -17.21 | 1.697 | -32.83 | 235 | -2.386 | 7.156 | -0.487 | -23 |
| 60 | 1.08 | -12.82 | 0.3834 | -35.51 | 240 | 9.597 | 10.06 | -16.73 | -21.1 |
| 65 | 1.066 | -8.037 | -0.529 | -37.23 | 245 | 7.472 | 14.05 | -15.68 | -18.1 |
| 70 | 0.9606 | -3.031 | -1.013 | -38.02 | 250 | 5.506 | 17.48 | -14.3 | -14.2 |
| 75 | 0.8203 | 2.041 | -1.056 | -37.91 | 255 | 3.74 | 20.22 | -12.65 | -9.64 |
| 80 | 0.7034 | 7.03 | -0.659 | -36.98 | 260 | 2.204 | 22.19 | -10.79 | -4.67 |
| 85 | 0.6665 | -13.21 | 0.1645 | -35.3 | 265 | 0.9211 | 23.32 | -8.799 | 0.471 |
| 90 | 0.6212 | -8.702 | -0.79 | -32.96 | 270 | -0.097 | 23.6 | -6.745 | 5.596 |
| 95 | 0.4764 | -4.477 | -1.362 | -30.04 | 275 | -0.845 | 23.04 | -4.704 | 10.55 |
| 100 | 0.28 | -0.631 | -1.582 | -26.65 | 280 | -1.332 | 21.67 | -2.747 | 15.24 |
| 105 | 0.07593 | 2.749 | -1.486 | -22.87 | 285 | -1.571 | 19.55 | -0.944 | 19.59 |
| 110 | -0.0972 | 5.595 | -1.118 | -18.8 | 290 | -1.588 | 16.73 | 0.6444 | 23.58 |
| 115 | -0.207 | 7.851 | -0.527 | -14.53 | 295 | -1.415 | 13.29 | 1.959 | 27.19 |
| 120 | -0.2278 | 9.481 | 0.234 | -10.15 | 300 | -1.09 | 9.298 | 2.948 | 30.42 |
| 125 | -0.1408 | 10.46 | 1.109 | -5.76 | 305 | -0.659 | 4.837 | 3.568 | 33.29 |
| 130 | 0.06508 | 10.8 | 2.041 | -1.461 | 310 | -0.173 | -0.0107 | 3.781 | 35.77 |
| 135 | 0.3937 | 10.5 | 2.975 | 2.638 | 315 | 0.3119 | -5.157 | 3.557 | 37.86 |
| 140 | 0.8417 | 9.603 | 3.856 | 6.421 | 320 | 0.7379 | -10.51 | 2.875 | 39.52 |
| 145 | 1.399 | 8.167 | 4.635 | 9.759 | 325 | 1.044 | -15.97 | 1.72 | 40.69 |
| 150 | 2.049 | 6.269 | 5.268 | 12.51 | 330 | 1.167 | 8.574 | 0.0876 | 41.32 |
| 155 | 2.77 | 4.009 | 5.719 | 14.54 | 335 | 1.217 | 3.124 | 0.5983 | 41.33 |
| 160 | 3.537 | 1.509 | 5.961 | 15.69 | 340 | 1.303 | -2.307 | 0.6333 | 40.65 |
| 165 | 4.321 | -1.091 | 5.979 | 15.87 | 345 | 1.363 | -7.583 | 0.2001 | 39.21 |
| 170 | -4.908 | -3.638 | 5.772 | 15.01 | 350 | 1.336 | -12.56 | -0.681 | 36.95 |
| 175 | -4.177 | -5.975 | 5.35 | 13.11 | 355 | 1.166 | -17.09 | -1.979 | 33.84 |

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 перерезывающая сила при непрерывны.

3. Для сечения имеем:

.

На эпюре будет скачок на величину .

Перерезывающая сила и нормальная сила при непрерывны.

4. Для сечения имеем:

.

На эпюре будет скачок на величину

На эпюре будет скачок на величину

Нормальная сила при непрерывна.

5. Для сечения имеем:

.

На эпюре будет скачок на величину

Изгибающий момент и перерезывающая сила при непрерывны.

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

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

* 1. Эпюры
  2. - Эпюра
  3. - Эпюра
  4. - 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.

图 2.7 显示了动力撑杆的典型横截面。它由皮带、船壁和与动力撑杆配合使用的部分船体蒙皮组成。

Введём следующие обозначения: 让我们引入以下术语：

- площадь сечения пояса; 皮带的横截面积；sectional area of the belt;

- площадь прессованных уголков; 压角区域；pressed corner area

- высота стенки. wall height

Для определения высоты стенки используем следующую формулу:

To determine the height of the wall, we use the following formula:

,

где - максимальное расчётное значение изгибающего момента;

maximum design value of the bending moment;

- критическое напряжение для полки пояса.

critical stress for the belt flange. 皮带凸缘的临界应力。

,

- максимальное расчётное значение перерезывающей силы.

maximum design value of the shear force.



* 1. – Типовое сечение силового шпангоута.

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

取自之前建造的外显子（图 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.

根据 GOST 13737-90，我们选择 PR 100-36 角，如图 2.8 所示。



* 1. – Геометрические параметры выбранного уголка.

所选角的几何参数。

Для данного уголка:

, , .

Определяем величину критического напряжения для выбранного профиля:

.

Где

- критическое напряжение для местной потери устойчивости;

局部失稳的临界应力；

(зависит от закрепления стенок); (取决于墙面固定方式）；

- модуль упругости материала.

.

Значение превышает предел пропорциональности .

σcr.m0 的值超过了比例极限 \sigma\_p。

.

В этом случае значение :

在这种情况下，σkr：

,

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).