,

где ,

.

Тогда .

,

,

Для .

Результаты вычислений, выполненных в программе tcr.exe, реализующей метод последовательных приближений, приведены в приложении .

Вычисления проводятся до тех пор пока в двух соседних приближения не будут отличаться менее чем на один процент.

По результатам вычислений окончательно принимаем .

Коэффициент запаса:

.

где - максимальное расчётное касательное напряжение.

Коэффициент значит, бак теряет устойчивость от действия касательных напряжений. Необходимо выбрать большую толщину обечайки

# Расчёт негерметичного отсека

## Графическое изображение расчетного сечения

Заданное расчетное сечение представляет из себя цилиндрический отделяемый отсек радиуса , изображенный на рисунке 2.1.1. Отсек подкреплен шпангоутами с шагом , крайний левый шпангоут служит для его соединения со смежным отсеком.

Считается, что на торцевом сечении отсека действует осевая сила , изгибающий момент и перерезывающая сила .

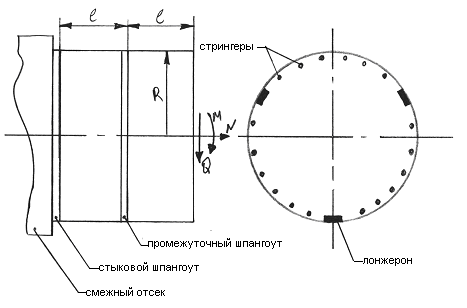


Рисунок 4.1 - Схема отсека.

Исходные данные:

## Подбор толщины обшивки и площади сечения лонжеронов, выбор типа и определение количества стрингеров

Целью проектировочного расчёта является подбор размером всех силовых элементов отсека: толщины обшивки ; площади поперечного сечения лонжеронов ; площади поперечного сечения стрингера ; расстояние между промежуточными шпангоутами ; потребное количество стрингеров .

Материал отсека: .

Характеристики материала:

Рассчитаем расчетные значения нагрузок

Подбор толщины обшивки производится по следующей формуле:

.

Где

- максимальная расчетная перерезывающая сила.

Тогда

В соответствии с нормальным рядом толщин принимаем .

Для подбора сечения лонжерона необходимо сначала выбрать расчётный случай, в котором возникает наибольшее растяжение лонжеронов. Это можно сделать, находя из значения эквивалентной растягивающей осевой силы:

.

Для первого расчётного случая:

.

Для второго расчётного случая:

.

Для третьего расчётного случая:

.

Следовательно:

.

Потребная площадь сечения лонжерона подсчитывается по формуле:

,

где - количество лонжеронов.

Примем

Подбор потребного количества стрингеров негерметичного отсека проводится на ЭВМ с помощью программы OTCEKNEW.EXE. Результаты расчётов приведены в приложении .

Для стрингеров выбран профиль ПР-102-12.

Характеристики сечения выбранного стрингера (Рисунок 4.2) следующие:



Рисунок 4.2 – Профиль ПР-102.

По результатам программы (см. приложение ) необходимое количество стрингеров равно 24. Между лонжеронами должно находиться одинаковое количество стрингеров

.

Число стрингеров равное оставим неизменным.

## Расчёт для наиболее опасного расчётного случая нормальных и касательных напряжений методом последовательных приближений

Изобразим в силу симметрии относительно оси y одну половину поперечного сечения рассматриваемого отсека (рисунок 4.3) и пронумеруем все пояса, включая лонжероны.

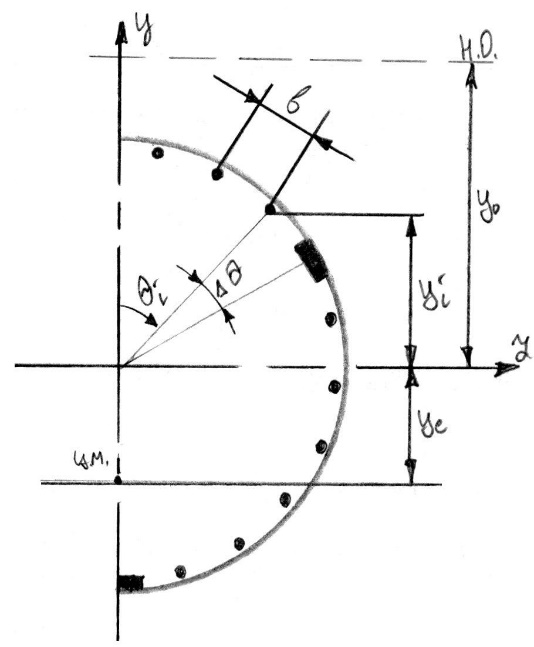


Рисунок 4.3 – Поперечное сечение отсека.

Расчёт напряжений выполняем методом последовательных приближений. Вычисления начинаем с определения положения нейтральной оси, что необходимо для определения числа поясов, участвующих в работе.

Величина в нулевом приближении определяется по формуле:

.

Дальнейшие расчёты проводим в табличном виде (таблица 4.1). Первые три столбца заполняем в соответствии с рисунком 4.3. В четвёртом столбце заносим площади поясов, причём, если пояс находится на оси , то в силу симметрии в качестве будем брать половину площади его сечения.

При нулевом приближении принимаем .

Принятая ширина обшивки для растянутых поясов , для сжатых . В растянутой зоне работают только лонжероны, в сжатой – все элементы поперечного сечения.

Приведённая площадь пояса:

.

Площадь поперечного сечения:

.

Тогда

Статический момент приведённого сечения отсека относительно оси равен:

.

где - координата центра масс отсека относительно оси .

Тогда

Момент инерции приведённого поперечного сечения отсека относительно оси z равен:

.

Координата центра тяжести приведённого сечения определяется как:

.

.

Момент инерции сечения относительно центральной оси, параллельной оси z, равен:

.

Приведённое нормальное напряжение в поясах:

,

где ,

.

Уточнённое положение нейтральной оси можно найти из условия :

.

Касательные напряжения в поясах отсека вычисляются по формуле:

,

где - статический момент отсечённой части приведённого сечения относительно центральной оси, параллельной оси .

Результаты расчётов величин приведены в таблице 4.1.

Значения нормального напряжения в последнем поясе и наибольшее значение касательного напряжения в обшивке в нулевом приближении являются исходными данными для поверочного расчёта в программе OTSEKNEW.EXE. Результаты работы программы представлены в приложении .

Таблица 4.1. – Расчёт нормальных и касательных напряжений.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***i*** | ***θi*** | ***yi*** | ***Fi пояса, мм2*** | ***φ(0)i*** | ***b(0)пр i ,мм*** | ***Fi , мм2*** | ***Fi\*φi , мм2*** | ***Fi\*φi\*yi , мм3*** | ***Fi\*φi\*yi2, мм4*** | ***σri,МПа*** | ***Fi\*φi(yi-yc), мм3*** | ***Siотс, мм3*** | ***, МПа*** |
| ***1*** | ***2*** | ***3*** | ***4*** | ***5*** | ***6*** | ***7*** | ***8*** | ***9*** | ***10*** | ***11*** | ***12*** | ***13*** | ***14*** |
| 1 | 6,43 | 1490,57 | 353,3 | 1 | 168,30 | 487,94 | 487,94 | 727307,43 | 1,0841E+09 | -118,5732 | 7,2731E+05 | 7,2731E+05 | 1,3263 |
| 2 | 19,29 | 1415,82 | 353,3 | 1 | 168,30 | 487,94 | 487,94 | 690837,20 | 9,7810E+08 | -120,7714 | 6,9084E+05 | 1,4181E+06 | 2,5860 |
| 3 | 32,14 | 1270,09 | 353,3 | 1 | 168,30 | 487,94 | 487,94 | 619725,51 | 7,8710E+08 | -125,0575 | 6,1973E+05 | 2,0379E+06 | 3,7161 |
| 4 | 45,00 | 1060,66 | 1888,447 | 1 | 168,30 | 2023,09 | 2023,09 | 2145807,44 | 2,2760E+09 | -131,2167 | 2,1458E+06 | 4,1837E+06 | 7,6290 |
| 5 | 57,86 | 798,05 | 353,3 | 1 | 168,30 | 487,94 | 487,94 | 389399,35 | 3,1076E+08 | -138,9401 | 3,8940E+05 | 4,5731E+06 | 8,3391 |
| 6 | 70,71 | 495,42 | 353,3 | 1 | 168,30 | 487,94 | 487,94 | 241734,39 | 1,1976E+08 | -147,8404 | 2,4173E+05 | 4,8148E+06 | 8,7799 |
| 7 | 83,57 | 167,95 | 353,3 | 1 | 168,30 | 487,94 | 487,94 | 81947,87 | 1,3763E+07 | -157,4713 | 8,1948E+04 | 4,8968E+06 | 8,9294 |
| 8 | 96,43 | -167,95 | 353,3 | 1 | 168,30 | 487,94 | 487,94 | -81947,87 | 1,3763E+07 | -167,3498 | -8,1948E+04 | 4,8148E+06 | 8,7799 |
| 9 | 109,29 | -495,42 | 353,3 | 1 | 168,30 | 487,94 | 487,94 | -241734,39 | 1,1976E+08 | -176,9807 | -2,4173E+05 | 4,5731E+06 | 8,3391 |
| 10 | 122,14 | -798,05 | 353,3 | 1 | 168,30 | 487,94 | 487,94 | -389399,35 | 3,1076E+08 | -185,8810 | -3,8940E+05 | 4,1837E+06 | 7,6290 |
| 11 | 135,00 | -1060,66 | 1888,447 | 1 | 168,30 | 2023,09 | 2023,09 | -2145807,44 | 2,2760E+09 | -193,6044 | -2,1458E+06 | 2,0379E+06 | 3,7161 |
| 12 | 147,86 | -1270,09 | 353,3 | 1 | 168,30 | 487,94 | 487,94 | -619725,51 | 7,8710E+08 | -199,7636 | -6,1973E+05 | 1,4181E+06 | 2,5860 |
| 13 | 160,71 | -1415,82 | 353,3 | 1 | 168,30 | 487,94 | 487,94 | -690837,20 | 9,7810E+08 | -204,0497 | -6,9084E+05 | 7,2731E+05 | 1,3263 |
| 14 | 173,57 | -1490,57 | 353,3 | 1 | 168,30 | 487,94 | 487,94 | -727307,43 | 1,0841E+09 | -206,2479 | -7,2731E+05 | 0,0000E+00 | 0,0000 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 9901,4495 | 0,0000 | 1,1139E+10 |
| 19802,8991 | 0,0000 | 2,2278E+10 |

## Расчёт для трёх наиболее нагруженных панелей дополнительных напряжений в обшивке и стрингерах

Согласно результатам расчета программы OTSEKNEW.EXE наиболее нагруженными являются пояса № 6,7,8,13.

Напряжения в обшивке вычисляются по формулам:



где - коэффициент коррекции,

- угол волнообразования (см. приложение)



Так как , то

Сжимающие напряжения в стрингере за счёт потери устойчивости обшивки от сдвига определяем следующим образом:

,

где - приведённая площадь сечения стрингера,

- участок обшивки примыкающей к стрингеру,

- берём из приложения.

Напряжения изгиба  в среднем сечении стрингера определяем по формуле:

,

где  - максимальный изгибающий момент,

 - момент инерции сечения стрингера относительно оси  с учётом присоединённого к нему участка обшивки,

 - расстояние от оси  (рисунок 4.4).

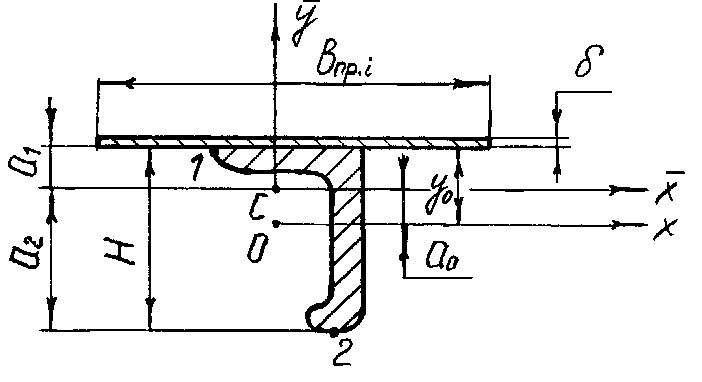


Рисунок 4.4 – К расчёту стрингера на изгиб.

,

где - погонная поперечная нагрузка.

,

.

, где берём из таблицы 4.1 для выбранных поясов;

, если , что и является нашим случаем.

- критические напряжения обшивки для каждой панели.

, где - берём из приложения;

.

Для всех стрингеров:

.

Наибольшие сжимающие напряжения изгиба будут в точке 1, наибольшие растягивающие в точке 2.

Для этих точек имеем:

.

По рисунку 4.4 видно, что ; ; .

Окончательные напряжения в стрингере находим как

.

Результаты расчётов приведены в таблице 4.2.

## Определение запасов прочности наиболее нагруженных силовых элементов (стрингера, шпангоута, панели обшивки, заклепок)

Критические напряжения местной формы потери устойчивости определяем по формуле:

где .

Критические напряжения общей формы потери устойчивости:

где , где момент инерции и площадь сечения i –ого пояса с учётом обшивки;

- для стрингера.

Проверяем обшивку на разрыв. Запас её прочности определяется по формуле:

,

где - эквивалентные напряжения,

- коэффициент, учитывающий ослабление обшивки отверстиями под заклёпки.

,

, где - шаг заклёпок, - диаметр заклёпок.

Для сжатых стрингеров проводится проверка на устойчивость. Общая устойчивость проверяется по напряжениям :

.

Определяем запас устойчивости для сжатой полки стрингера:

.

Запас прочности по разрыву для точки 2 определим следующим образом:

.

Для растянутого лонжерона запас прочности:

,

где - коэффициент, учитывающий ослабление лонжерона отверстиями под заклёпки.

Проверяем заклёпки на срез. При этом запас прочности:

,

срезывающая сила для данной заклёпки,

- действующая на заклёпку сила,

.

Для заклёпок, крепящих обшивку к торцевому шпангоуту: .

Для заклёпок, крепящих обшивку к стрингеру: ,

где - шаг заклёпок, .

Результаты расчётов представлены в таблице 4.3. Так как коэффициенты запаса прочности >1, то отсек выдерживает заданную нагрузку.

Таблица 4.2 - Расчёт вторичных напряжений

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***№*** | ***,МПа*** | ***,МПа*** | ***ξ*** | ***ωi*** | ***αi, град*** | ***σxi, Мпа*** | ***σθi, Мпа*** | ***Rτi*** | ***b\_, мм*** |
| ***6*** | 8,831 | 0,382 | 0,32 | 0,80702427 | 46,362 | 6,7958 | 7,4740 | 0,065 | 2,111 |
| ***7*** | 8,964 | 0,363 | 0,32 | 0,81506232 | 47,153 | 6,7768 | 7,8770 | 0,062 | 1,93 |
| ***8*** | 8,816 | 0,335 | 0,32 | 0,8225288 | 48,032 | 6,5219 | 8,0626 | 0,057 | 1,70 |
| 13 | 1.235 | 0.038 | 0.32 | 0.84538267 | 51.021 | 0.844819666 | 1.29025806 | 0.007 | 0.182154252 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ***№*** | ***F\*i, мм2*** | ***σ'i, Мпа*** | ***qi, Н/мм*** | ***Mmax i, Н\*мм*** | ***σ0кр, Мпа*** | ***Rσ*** | ***σкр i, Мпа*** | ***σ I 0, Мпа*** | ***bпр i, мм*** |
| ***6*** | 354,9888 | -5,1550 | 0,6709 | 77283,3845 | 42,364 | 0,996 | 42,1946 | -166,386 | 168,827 |
| ***7*** | 354,8438 | -5,1427 | 0,7070 | 81451,0436 | 42,364 | 0,996 | 42,1946 | -177,742 | 163,345 |
| ***8*** | 354,6632 | -4,9518 | 0,7237 | 83369,5345 | 42,364 | 0,997 | 42,2369 | -189,39 | 158,481 |
| 13 | 353.4457 | -0.6436 | 0.1158 | 13341.6913 | 42.364 | 1 | 42.3640 | -232.666 | 143.630 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ***№*** | ***a0 , мм*** | ***a1 , мм*** | ***a2 , мм*** | ***Ii , мм4*** | ***σ\*i(1), Мпа*** | ***σ\*i(2), Мпа*** | ***σ(1)стр i, Мпа*** | ***σ(2)стр i, Мпа*** |  |
| ***6*** | 3,0053 | 7,4616 | 42,5380 | 120145,9 | -4,7997 | 27,3627 | -176,3407 | -144,1784 |  |
| ***7*** | 2,9342 | 7,5329 | 42,4671 | 119872,1 | -5,1185 | 28,8557 | -188,0031 | -154,0290 |  |
| ***8*** | 2,8698 | 7,5972 | 42,4028 | 119625 | -5,2947 | 29,5515 | -199,6364 | -164,7902 |  |
| 13 | 2.6669 | 7.8001 | 42.1999 | 118845.3 | -0.8757 | 4.7374 | -234.1853 | -228.5722 |  |

Таблица 4.3 - Определение запасов прочности

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***№*** | ***Kзак*** | ***σэквi, Мпа*** | ***ηобш*** | ***σ0кр общ, Мпа*** | ***σкр общ, Мпа*** | ***(σ I 0 +σ'i), Мпа*** | ***ηстр*** | ***σкр м, Мпа*** | ***η(1)стр*** |
| ***6*** | 0,9 | 16,888 | 23,448 | 379,391 | 232,680 | -171,541 | 1,356 | 248,577 | 1,410 |
| ***7*** | 0,9 | 17,195 | 23,031 | 381,957 | 233,027 | -182,885 | 1,274 | 248,577 | 1,322 |
| ***8*** | 0,9 | 16,974 | 23,330 | 384,259 | 233,336 | -194,342 | 1,201 | 248,577 | 1,245 |
| 13 | 0.9 | 2.422 | 163.529 | 391.441 | 234.282 | *-233.310* | 1.004 | 248.577 | 1.061 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ***№*** | ***η(2)стр*** | ***P1, Н*** | ***P2, Н*** | ***P, Н*** | ***Pср, Н*** | ***η*** | ***,МПа*** | ***,МПа*** | ***P1, Н*** |
| ***6*** | - | 190,283 | 247,268 | 312,008 | 1870 | 5,993 | 8,831 | 8,422 | 11,452 |
| ***7*** | - | 189,750 | 250,992 | 314,646 | 1870 | 5,943 | 8,964 | 8,831 | 3,724 |
| ***8*** | - | 182,612 | 246,848 | 307,052 | 1870 | 6,090 | 8,816 | 8,964 | -4,144 |
| 13 | - | 23.655 | 34.580 | 41.897 | 1870 | 44.634 | 1.235 | 2.410 | -32.900 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ***№*** | ***σθi, Мпа*** | ***σθi-1, Мпа*** | ***P2, Н*** | ***P, Н*** | ***η*** |  |  |  |  |
| ***6*** | 7.474 | 6.862 | 17.127 | 20.603 | 90.763 |  |  |  |  |
| ***7*** | 7.877 | 7.474 | 11.285 | 11.884 | 157.355 |  |  |  |  |
| ***8*** | 8.063 | 7.877 | 5.195 | 6.645 | 281.400 |  |  |  |  |
| 13 | 1.290 | 1.405 | -3.202 | 33.055 | 56.572 |  |  |  |  |

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой части данной курсовой работы был произведен расчет внутренних усилий в сечениях корпуса летательного аппарата на основе полученного задания, построены эпюры продольной, поперечной сил и изгибающего момента.

Во торой части рассчитаны усилия и момент, действующие на круговой шпангоут и построены их эпюры, произведен подбор сечений всех силовых элементов шпангоута, проведен поверочный расчет спроектированного шпангоута, который показал, что шпангоут имеет достаточные запасы прочности и устойчивости.

В третьей части выполнен подбор толщин обечайки, днищ и площади сечения распорных шпангоутов топливного бака. Также произведен расчет топливных баков летательного аппарата на прочность и устойчивость, который показывает, что сжимающие и касательные напряжения опасны и бак теряет устойчивость, поэтому рекомендовано выбрать другую конструкцию бака либо увеличить толщину обечайки.

В последней части курсовой работы был произведен расчет негерметичного отсека. Сначала были подобраны толщина обшивки, площадь сечения лонжеронов и количество стрингеров. Затем произведен расчет наиболее опасного расчетного случая нормальных и касательных напряжений, а также расчет дополнительных напряжений в обшивке и в стрингерах для наиболее нагруженных панелей. В конце были определены запасы прочности наиболее нагруженных силовых элементов, которые показали что отсек спроектирован правильно и все запасы прочности и устойчивости больше единицы.