4 Расчет негерметичного отсека

4.1 Подбор толщины обшивки и площади сечения лонжеронов,

выбор типа и определение количества стрингеров.

4-5

Заданное расчетное сечение представляет собой цилиндрический отделяемый отсек радиуса , изображенный на рисунке 4.1. 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 .

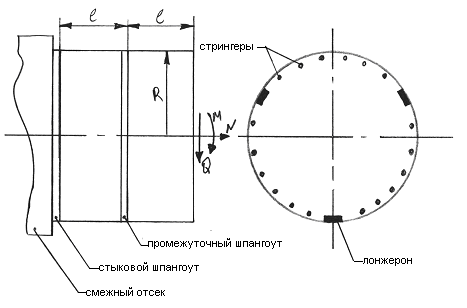


Рисунок 4.1 – Расчетное сечение

Исходные данные для расчета негерметичного отсека представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета негерметичного отсека

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 3 | Рассчетный случай | I | II | III |
| R, мм | 1500 |  | -860 | -430 | -122 |
| L, мм | 3300 |  | 80 | 140 | 400 |
|  | 1600 |  | 12 | 25 | 62 |
| Коэффициент безопасности f | | | 1,7 | 1,7 | 1,7 |

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:

Для первого расчетного случая:

Для второго расчетного случая:

Для третьего расчетного случая:

Подбор толщины обшивки производится по следующей формуле:

где – максимальная расчетная перерезывающая сила.

Тогда толщина обшивки будет равна

В соответствии с нормальным рядом толщин принимаем

Для подбора сечения лонжерона необходимо сначала выбрать расчетный случай, в котором возникает наибольшее растяжение лонжеронов. Это можно сделать, основываясь на значении эквивалентной растягивающей осевой силы:

Для первого расчетного случая она будет равная:

Для второго расчетного случая:

Для третьего расчетного случая:

Принимаем

Потребная площадь сечения лонжерона рассчитывается по формуле:

где – количество лонжеронов.

Принимаем площадь сечения лонжерона равной

Подбор потребного количества стрингеров негерметичного отсека проводится на ЭВМ с помощью программы OTCEK.EXE. Результаты расчетов приведены на рисунке 4.2.

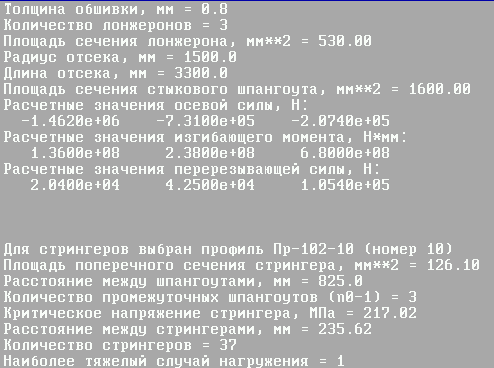


Рисунок 4.2 – Результат приближенного расчета с помощью программы OTCEK.EXE

Для стрингеров был принят профиль ПР-102-10

Характеристики выбранного профиля, изображенного на рисунке 4.3 равны:



Рисунок 4.3 – Профиль ПР-102-10

По результатам работы программы принимаем необходимое количество стрингеров

. Тогда расстояние между стрингерами будет равно:

根据程序结果，我们计算出所需的弦杆数量

nstr=39。那么弦杆之间的距离将等于

Нормальное и касательное критические напряжения обшивки при их раздельном действии:

包层单独作用时的法向和切向临界应力：

Критическое напряжение местной потери устойчивости в предположении о справедливости закона Гука будето равно:

在胡克定律的假设条件下，局部失稳的临界应力等于：

где k =0,385 – коэффициент принимаемы в зависимости от закрепления стенок.

系数的取值取决于墙体的固定情况。

Так как , следует уточнить эти величины. 应明确这些值。

,

где ,

где 条件屈服强度

Тогда критическое напряжение при местной потери устойчивости будет равно

那么，局部失稳时的临界应力等于

При расчете принимаем, что весте со **стрингером** работает часть прикреплённой к нему обшивки шириной: 在计算σkr.obsh.时，我们假定与钢绞线宽度相等的部分表皮与钢绞线一起工作：(实际工作的表皮)

Сечение стрингера с присоединенной к нему обшивкой изображено на рисунке 4.4.

图 4.4 显示了附有表皮的支柱横截面。

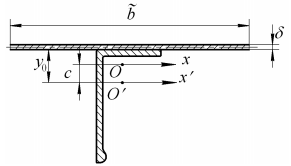


Рисунок 4.4 – Сечение стрингера с обшивкой

Геометрические характеристики сечения: 横截面的几何特征

Площадь:

Статический момент относительно оси 绕{ x}^\prime轴的静态力矩

Координата центра тяжести с: 重心 c 的坐标：

Момент инерции относительно оси 绕轴惯性矩

Момент инерции относительно оси х: 关于 x 轴的惯性矩

Критическое напряжение общей потери устойчивости стрингера в предположении о справедливости закона Гука будет равно:

假定胡克定律成立，支柱完全失去稳定性的临界应力等于：

где – коэффициент, определяемы характером закрепления стрингера по концам. На практике чаще всего принимается равным 2, что, как правило, идет в запас прочности;

系数由两端钢绞线固定的性质决定。在实践中，该系数通常取 2，这通常是一个安全系数；

支柱长度，其中 L 是隔间的长度、

– количество промежуточных шпангоутов.

中间支柱的数量。

Так как , значит

Тогда критическое напряжения стрингера будет равно

那么支柱的临界应力等于

4.2. Расчет для наиболее опасного расчетного случая нормальный и касательных напряжений методом последовательных приближений.

Изобразим на рисунке 4.5 в силу симметрии относительно оси y половину поперечного сечения рассматриваемого отсека и пронумеруем все пояса, включая лонжероны.

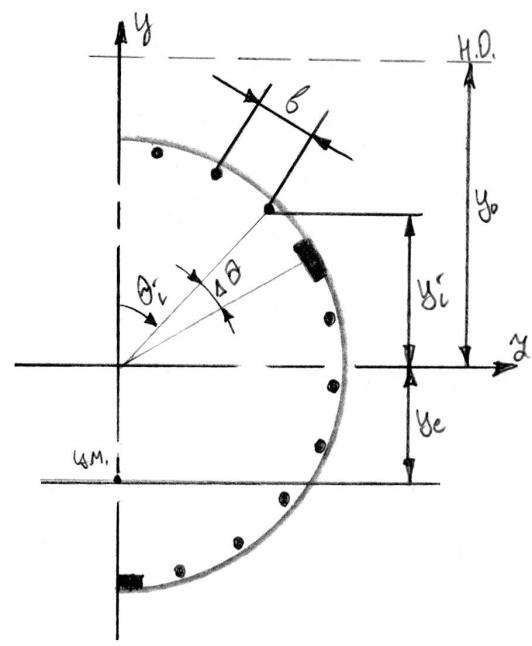


Рисунок 4.5 – Поперечное сечение негерметичного подкрепленного отсека

Расчет напряжений выполняем методом последовательных напряжений. Вычислим положение нейтральной оси, что необходимо для определения числа поясов, участвующих в работе. Исходя из результатов работы программы OTCEK.EXE

наиболее опасным расчетным случаем принимаем первый.

Величину в нулевом приближении определяется по формуле:

Так как , то все пояса в отсеке работают на сжатие.

Дальнейшие расчеты приведем в табличном виде в таблице 2. Первые 3 столбца заполняем в соответствии с рисунком 4.5. В четвертый столбец заносим площади пояса. учитывая что если пояса находится на оси y, то в силу симметрии в качестве будем брать половину площади его сечения. В нулевом приближении примем редукционный коэффициент

Ширину прикрепленной обшивки для растянутых поясов принимаем равной , для сжатых поясов принимаем В растянутой зоне работают только лонжероны, в сжатой зоне работают все пояса.

Приведенная площадь пояса:

Площадь поперечного сечения будет равна:

Статический момент поперечного отсека относительно оси z равен:

Момент инерции поперечного сечения отсека относительно оси z равен:

Координата центра тяжести поперечного сечения отсека будет равна:

Момент инерции сечения относительно центральной оси, параллельной оси z равен

Приведенной нормальное напряжение в поясах равно:

Уточненной положение нейтральной оси можно найти из условия, что :

Касательные напряжения в поясах отсека вычисляются по формуле:

где – статический момент отсеченной части приведенного сечения относительно центральной оси, параллельной оси z.

Результаты расчетов , приведены в таблице 2. Значения нормального напряжения в последнем поясе и наибольшее значения касательного напряжения в обшивке в нулевом приближении являются исходными данными для поверочного расчета в программе OTCEK.EXE. Результат работы представлен на рисунке 4.6.

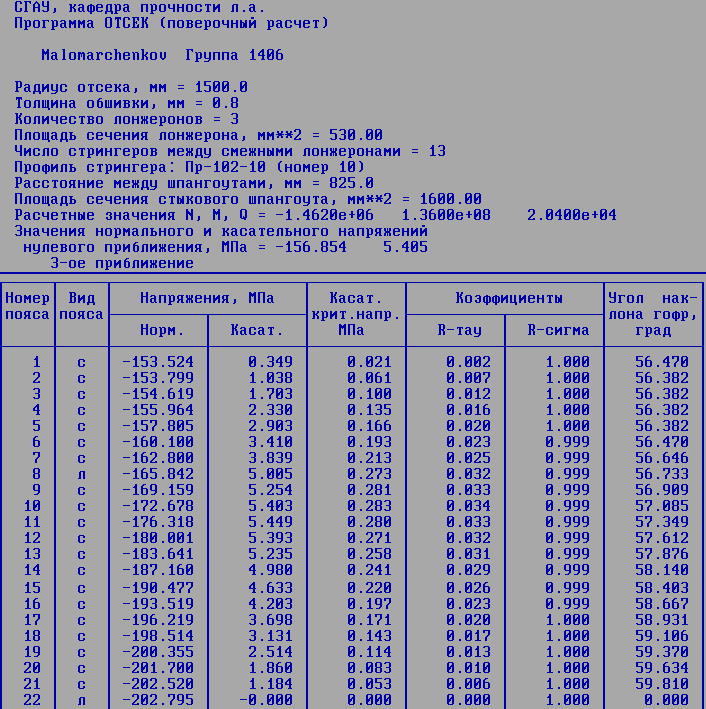


Рисунок 4.6 – Поверочный расчет, выполненный в программе OTCEK.EXE

Таблица 2 – Расчёт нормальных и касательных напряжений.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **i** | **θi** | **Yi** | **Fпояс** | ***φ(0)i*** | ***b(0)пр i,мм*** | ***Fi , мм2*** | ***F=Fi\*φi , мм2*** | ***Sx=Fi\*φi\*yi , мм3*** | ***Iz=Fi\*φi\*yi2, мм4*** | ***σri,МПа*** | ***Siотс, мм3*** | ***, МПа*** |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **13** | **14** |
| 1 | 0 | 1500,0 | 63,05 | 1 | 112,2 | 152,81 | 152,81 | 229215 | 343822500 | -122,758 | 229215 | 0,488447 |
| 2 | 8,5714286 | 1483,2 | 126,1 | 1 | 112,2 | 215,86 | 215,86 | 320173,5 | 474896189,1 | -122,949 | 549388,533 | 1,170722 |
| 3 | 17,142857 | 1433,4 | 126,1 | 1 | 112,2 | 215,86 | 215,86 | 309404,9 | 443488389,6 | -123,516 | 858793,452 | 1,83005 |
| 4 | 25,714286 | 1351,5 | 126,1 | 1 | 112,2 | 215,86 | 215,86 | 291724,7 | 394252322,2 | -124,447 | 1150518,16 | 2,451702 |
| 5 | 34,285714 | 1239,4 | 126,1 | 1 | 112,2 | 215,86 | 215,86 | 267527,9 | 331562827,7 | -125,721 | 1418046,01 | 3,021792 |
| 6 | 42,857143 | 1099,6 | 126,1 | 1 | 112,2 | 215,86 | 215,86 | 237354,9 | 260990142,8 | -127,309 | 1655400,88 | 3,527584 |
| 7 | 51,428571 | 935,2 | 126,1 | 1 | 112,2 | 215,86 | 215,86 | 201879,8 | 188804960,1 | -129,177 | 1857280,64 | 3,957781 |
| 8 | 60 | 750,0 | 530 | 1 | 112,2 | 619,76 | 619,76 | 464820 | 348615000 | -131,282 | 2322100,64 | 4,948291 |
| 9 | 68,571429 | 548,0 | 126,1 | 1 | 112,2 | 215,86 | 215,86 | 118293,8 | 64826350,82 | -133,578 | 2440394,41 | 5,20037 |
| 10 | 77,142857 | 333,8 | 126,1 | 1 | 112,2 | 215,86 | 215,86 | 72050,05 | 24048967,7 | -136,013 | 2512444,47 | 5,353905 |
| 11 | 85,714286 | 112,1 | 126,1 | 1 | 112,2 | 215,86 | 215,86 | 24196,86 | 2712350,082 | -138,532 | 2536641,32 | 5,405468 |
| 12 | 94,285714 | -112,1 | 126,1 | 1 | 112,2 | 215,86 | 215,86 | -24196,9 | 2712350,082 | -141,08 | 2512444,47 | 5,353905 |
| 13 | 102,85714 | -333,8 | 126,1 | 1 | 112,2 | 215,86 | 215,86 | -72050,1 | 24048967,7 | -143,6 | 2440394,41 | 5,20037 |
| 14 | 111,42857 | -548,0 | 126,1 | 1 | 112,2 | 215,86 | 215,86 | -118294 | 64826350,82 | -146,034 | 2322100,64 | 4,948291 |
| 15 | 120 | -750,0 | 126,1 | 1 | 112,2 | 215,86 | 215,86 | -161895 | 121421250 | -148,33 | 2160205,64 | 4,6033 |
| 16 | 128,57143 | -935,2 | 126,1 | 1 | 112,2 | 215,86 | 215,86 | -201880 | 188804960,1 | -150,435 | 1958325,88 | 4,173104 |
| 17 | 137,14286 | -1099,6 | 126,1 | 1 | 112,2 | 215,86 | 215,86 | -237355 | 260990142,8 | -152,303 | 1720971,01 | 3,667311 |
| 18 | 145,71429 | -1239,4 | 126,1 | 1 | 112,2 | 215,86 | 215,86 | -267528 | 331562827,7 | -153,892 | 1453443,16 | 3,097222 |
| 19 | 154,28571 | -1351,5 | 126,1 | 1 | 112,2 | 215,86 | 215,86 | -291725 | 394252322,2 | -155,165 | 1161718,45 | 2,475569 |
| 20 | 162,85714 | -1433,4 | 126,1 | 1 | 112,2 | 215,86 | 215,86 | -309405 | 443488389,6 | -156,096 | 852313,533 | 1,816242 |
| 21 | 171,42857 | -1483,2 | 126,1 | 1 | 112,2 | 215,86 | 215,86 | -320174 | 474896189,1 | -156,663 | 532140 | 1,133966 |
| 22 | 180 | -1500,0 | 265 | 1 | 112,2 | 354,76 | 354,76 | -532140 | 798210000 | -156,854 | 0 | 0 |
|  |  |  |  |  |  |  | 10457,34 | 0 | 11966467500,0 |  |  |  |

4.3 Расчет трех наиболее нагруженных панелей дополнительных напряжений в обшивке и стрингерах.

По результатам поверочного расчета программы OTCEK.EXE, выбираем панели №13, №17, №21

Напряжения в обшивке вычисляются по формуле:

где – коэффициент коррекции,

- угол наклона гофр (см. рисунок 4.6)

Коэффициент коррекции находится по формуле:



Так как то

Получаем

где

- принимаем из данных программы OTCEK.EXE.

Тогда напряжения в обшивке будут равны

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

где – приведенная площадь сечения стрингера,

где – участок обшивки, примыкающей к стрингеру,

Получаем

Напряжения изгиба в среднем сечении стрингера определяем по формуле:

где – максимальный изгибающий момент,

- момент инерции сечения стрингера относительно оси с учетом прикрепленного к нему участка общивки,

- расстояние от оси , изображенной на рисунке 4.7.

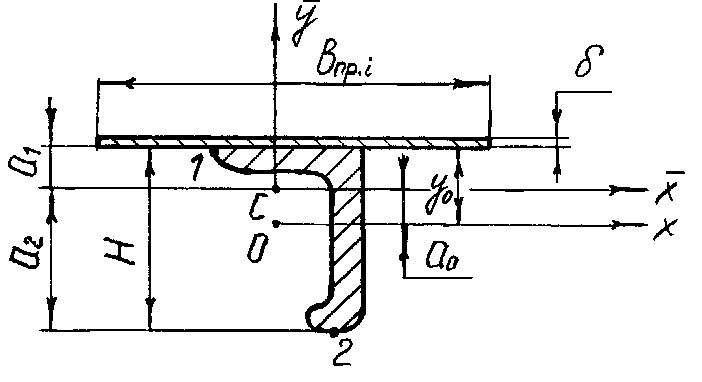


Рисунок 4.7 – К расчету стрингера на изгиб

где – погонная поперечная нагрузка.

Получаем

Найдем момент инерции сечения относительно оси :

где

Получаем

где МПа, где

берем из результатов программы OTCEK.EXE;

取自 OTCEK.EXE 程序的结果；

если

– критические напряжения для каждой панели.

где

*–* берем из результатов программы OTCEK.EXE.

Характеристики выбранного профиля, изображенного на рисунке 4.7 равны:

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

Для выбранных точек имеем:

По рисунке 4.7 видно, что

【注意分母】

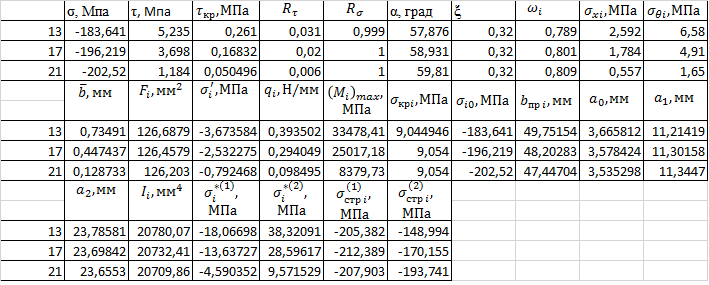
Момент инерции для панели №13 получим равным

Тогда получаем наибольшие сжимающие и растягивающие напряжения будут равны

Окончательные напряжения в стрингере находим как

Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчет вторичных напряжений



4.4 Определение запасов прочности наиболее нагруженных силовых элементов

Определим запасы прочности основных элементов конструкции. Обшивка находится в условиях плоского напряжённого состояния, и для нее нужно вычислить эквивалентное напряжение .



Получим

Тогда запас прочности обшивки найдем как:

где – коэффициент, учитывающий ослабление обшивки отверстиями под заклепки, где t = 25 мм – шаг заклепок, d = 2,5 мм- диаметр заклепок.

Значение  рассчитывается по формулам раздела 4.2 для данного сечения, а величина посчитана в разделе 4.2.

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

Определим запас устойчивости для сжатой полки стрингера:

Определим запас прочности по разрыву для точки 2:

Проверяем заклепки на срез. При этом запас прочности:

,

где  – срезывающая сила для данной заклепки;

.

Для заклепок, крепящих обшивку к торцевому шпангоуту:

где t= 25 мм – шаг заклепок.

где –напряжение на срез.

Для заклепок, крепящих обшивку к стрингеру:

Тогда запас прочности для заклепок, крепящих обшивку к стрингеру будет равно

Результаты расчетов представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Определение запасов прочности наиболее нагруженных силовых элементов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Kзак** | ***σэквi, Мпа*** | ***ηобш*** | ***σ0кр общ, Мпа*** | ***σкр общ, Мпа*** | ***(σ I 0 +σ'i), Мпа*** | ***ηстр*** | ***σкр м, Мпа*** | ***η(1)стр*** |
| 13 | 0,9 | 12,21584 | 32,41692 | 338,86 | 223,7 | -187,315 | 1,119985 | 218,6 | 1,06436 |
| 17 | 0,9 | 8,781779 | 45,09337 | 338,86 | 223,7 | -198,751 | 1,05703 | 218,6 | 1,029246 |
| 21 | 0,9 | 2,853439 | 138,7799 | 338,86 | 223,7 | -203,312 | 1,034042 | 218,6 | 1,051453 |
|  | ***η(2)стр*** | ***P1, Н*** | ***P2, Н*** | ***P, Н*** | ***Pср, Н*** | ***ηср*** | ***,МПа*** | ***,МПа*** | ***P1, Н*** |
| 13 | 2,953146 | 51,84924 | 104,7 | 116,8351 | 1202,641 | 10,29349 | 5,235 | 5,393 | -3,16 |
| 17 | 2,585876 | 35,67583 | 73,96 | 82,11484 | 1202,641 | 14,64584 | 3,698 | 4,203 | -10,1 |
| 21 | 2,271074 | 11,14214 | 23,68 | 26,1704 | 1202,641 | 45,95425 | 1,184 | 1,86 | -13,52 |
|  | ***σθi, Мпа*** | ***σθi-1, Мпа*** | ***P2, Н*** | ***P, Н*** | ***ηср*** |  |  |  |  |
| 13 | 6,58 | 6,70 | -2,547146 | 4,058762 | 296,3073 |  |  |  |  |
| 17 | 4,91 | 5,52 | -12,05723 | 15,72853 | 76,46237 |  |  |  |  |
| 21 | 1,65 | 2,54 | -17,96106 | 22,48088 | 53,49616 |  |  |  |  |