

629/135.201

629.73

K-83

K83

# Расчет горизонтального оперения

## Описание конструкции

Стабилизатор двухлонжеронный, свободно-несущий  
Обшивка - полотно. Вид в плане - трапеция с сильно закругленными концами.

Руль глубины с цельным лонжероном.

Крепление руля на пяти шарнирах.

Руль глубины с осевой компенсацией.

Проверено  
1958 г.

ПРОВЕРЕНО  
1958 г.

## Геометрические величины.

Площадь горизонтального оперения.

$$S_{г.о.} = 3,5 \text{ м}^2$$

Научно-техническая библиотека "ХАИ"



kn0003356

Площадь стабилизатора

$$S_{ст} = 2 \text{ м}^2 [57\% S_{г.о.}]$$

ПЕРЕОБЛІК 1955 г.

Площадь руля глубины

$$S_{р.г.} = 1,5 \text{ м}^2 [43\% S_{г.о.}]$$

ПРОВЕРЕНО  
1952 г.

Площадь компенсатора

$$S_{к-ра} = 0,265 \text{ м}^2 [175\% S_{р.г.}]$$

## Выбор дужки.

Профиль взят из «Атласа профилей Горского»

№ 152 дужка «Мипк» М-3

У корня (у первой нервюры) дужка 11%

У конца (у шестой нервюры) 6%

БИБЛИОТЕКА  
ХАРЬКОВСЬКОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ  
ІМЕНІ ГОРЬКОГО

ПЕРЕОБЛІК 2012 р.

3356

45455

ХАРЬКОВСЬКОМУ  
УНІВЕРСИТЕТУ  
ІМЕНІ ГОРЬКОГО

Нагрузка на горизонтальное оперение.

Нагрузка на горизонтальное оперение определяется из условия статического равновесия самолета в полете.

Случай А.

По нормам прочности нагрузка для этого случая определяется по формуле:

$$P_A = \frac{C_m \cdot n_A \cdot G}{C_y} \cdot \frac{\ell'}{\ell}$$

где  $C_m = 0,006$  — коэффициент момента для случая А (взят из продувок самолета без хвостового оперения)

$n_A = 9$  — коэф. перегрузки для случая А

$C_y = 0,64$  — коэффициент подъемной силы крыла для угла атаки соответствующ. случаю А ( $15^\circ$ )

$\ell = 3,56$  — расстояние от центра тяжести самолета до центра давления горизонт. оперения (если  $\ell > 1,5$  т средн. ц. давления гориз. оперения можно приближенно принять расположенным у оси шарниров руля глубины).

$\ell' = \ell_{\text{ср.}} = 1,83$  — хорда к которой отнесен коэффициент  $C_m$  при продувке.

$G = 2000$  кгр. — вес самолета

$$P_A = \frac{0,006 \cdot 9 \cdot 2000 \cdot 1,83}{0,64 \cdot 3,56} = 87 \text{ кгр.}$$

- 3 -  
Случай D

По нормам прочности нагрузка для этого случая определяется, подобно случаю A, по формуле:

$$P_D = \frac{C_m \cdot P_D C}{C_y} \cdot \frac{l'}{l}$$

где  $C_m = 0,007$  - коэффициент момента для случая D

$P_D = 3$  - коэффициент перегрузки в случае D

$C_y = 0,193$  (в случае D  $C_y = 0,3 C_y \text{ max}$ )

$l = 3,56 \text{ м.}$

$l' = 1,83 \text{ м.}$

$C = 2000 \text{ кгр.}$

$$P_D = \frac{0,007 \cdot 3 \cdot 2000 \cdot 1,83}{0,193 \cdot 3,56} = 336 \text{ кгр.} \quad (102e)$$

Случай B

По нормам прочности нагрузка на горизонтальное оперение определяется подобно случаям A и D, но кроме того, к этой нагрузке добавляется (за счет грубости уравнения)  $\Delta P_B$ .

Полная нагрузка будет:

$$P_B = P'_B + \Delta P_B$$

$$P'_B = \frac{C_m \cdot P_B C}{C_y} \cdot \frac{l'}{l}$$

где  $C_m = 0,009$  - коэффициент момента в случае В

$n_B = 5$  - коэффициент перегрузки в случае В

$C_y = 0,128$  - для угла атаки соответств. случаю В

$l = 3,56$  м. - расстояние от центра тяжести до центра давления з.о.

$l' = t_{cp} = 1,83$

$G = 2000$  кгг

$$P'_B = \frac{0,009 \cdot 5 \cdot 2000}{0,128} \cdot \frac{1,83}{3,56} = 364 \text{ кгг.}$$

$\Delta P_B = 0,014 V_B^2 S_{z.o.}$  (согласно нормам прочности)

где  $V_B^2 = 2,5 \cdot \frac{n_B G}{C_{y_{max}} S_{кр}}$  [  $S_{кр} = 28,6 \text{ м}^2$  - площадь крыла  
 $\rho = 0,125$  - плотность воздуха ]

$$V_B^2 = 2,5 \frac{5 \cdot 2000}{0,64 \cdot 0,125 \cdot 28,6} = 11900 \text{ м}^2/\text{сек} \quad [V_B = 109 \text{ м}/\text{сек}]$$

$$\Delta P_B = 0,014 \cdot 11900 \cdot 3,64 = 605 \text{ кгг.}$$

$$P_B = P'_B + \Delta P_B = 364 \text{ кгг.} + 605 \text{ кгг.} = 969 \text{ кгг.}$$

Случай С

По нормам прочности для данного случая нагрузка на горизонтальное оперение определяется по формуле:

$$P_C = \frac{C_m S_{кр} V^2 l'}{2l}$$

где  $V = 111 \text{ м}/\text{сек}$  - скорость ограниченного пикирования.

$$C_m = 0,011 - (\text{при } C_y = 0)$$

$$S = 0,125$$

$$S_{кр} = 28,6 \text{ м}^2$$

$$l' = 1,83 \text{ м}$$

$$l = 3,56 \text{ м}$$

$$P_e = 2 \frac{0,011 \cdot 0,125 \cdot 28,6 \cdot 12300 \cdot 1,83}{3,56} = 485 \text{ кгр.}$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ ПО ПРОВЕРОЧНОЙ ФОРМУЛЕ ДЛЯ СЛУЧАЯ ПОЛЕТА В НЕСПОКОЙНОМ ВОЗДУХЕ

$$P_{э} = 3,34 V_{max} S_{г.о.}$$

$$P_{э} = 3,34 \cdot 106 \cdot 3,64 = 1240 \text{ кгр.}$$

СРАВНИВАЯ ВЕЛИЧИНУ НАГРУЗКИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СЛУЧАЕВ.

$$P_A = 87 \text{ кгр.}$$

$$P_B = 969 \text{ кгр.}$$

$$P_D = 336 \text{ кгр.}$$

$$P_C = 485 \text{ кгр.}$$

$$P_{э} = 1240 \text{ кгр.}$$

$$3,34 \cdot 144 \cdot 7 = 144$$

ПРИНИМАЕМ РАСЧЕТНОЙ МАКСИМАЛЬНУЮ НАГРУЗКУ.  
(т.е. нагрузку при полете в неспокойном воздухе.)

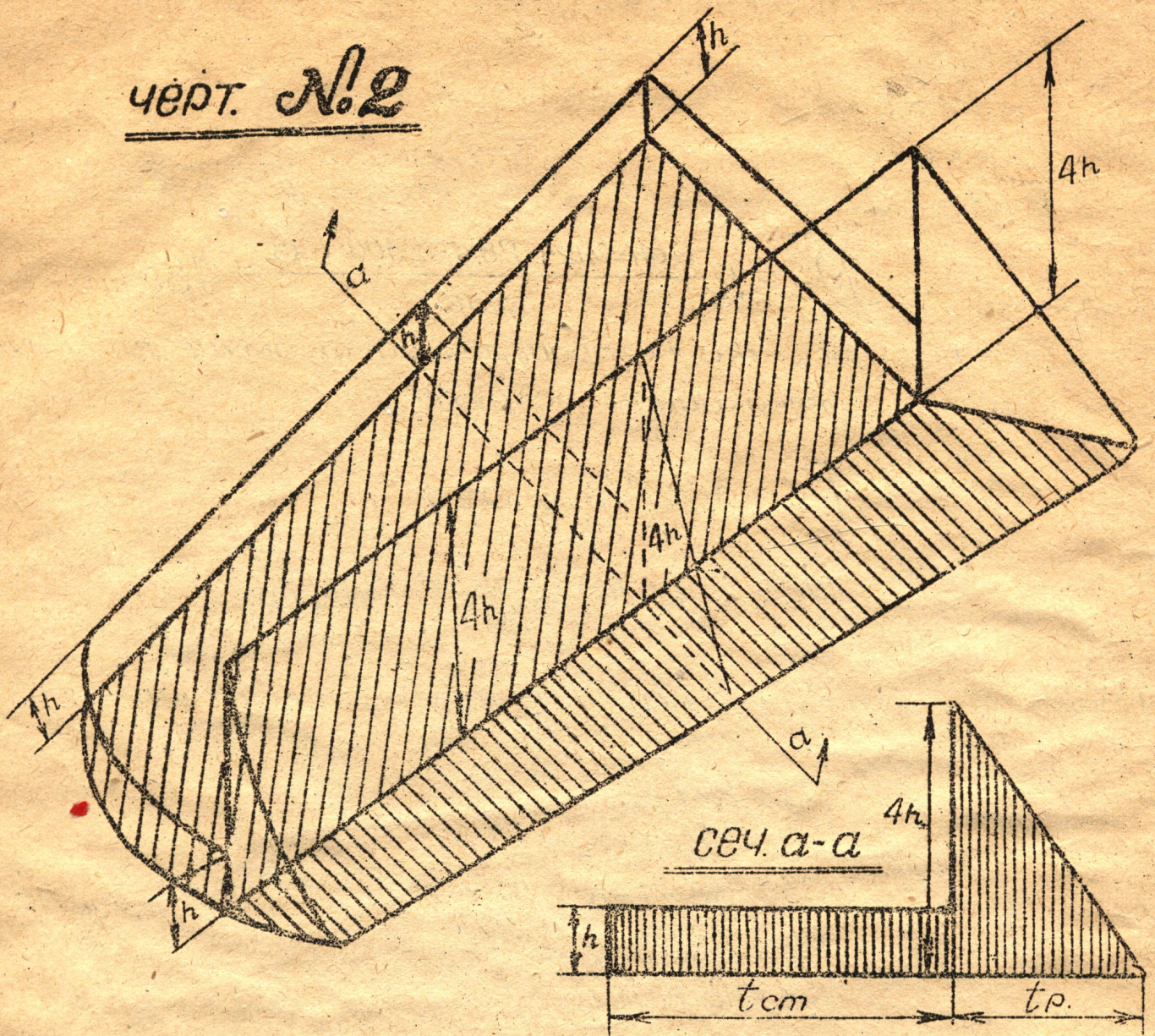
$$\underline{\underline{P = 1240 \text{ кгр.}}}$$

### РАСЧЕТ РУЛЯ ГЛУБИНЫ НА ПРОЧНОСТЬ.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ ПО ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ ОПЕ-  
РЕНИЮ МЕЖДУ СТАБИЛИЗАТОРОМ И РУЛЕМ ГЛУБИНЫ, НАИ-  
БОЛЕЕ ОПАСНОЙ ДЛЯ РУЛЯ ГЛУБИНЫ С ОСЕВОЙ КОМПЕНСА-  
ЦИЕЙ, ОЧЕВИДНО, БУДЕТ СЛУЧАЙ ОТКЛОНЕННОГО РУЛЯ.

(См. нормы прочности Т.В.Ф. № 9 - 34 г.)

черт. №2



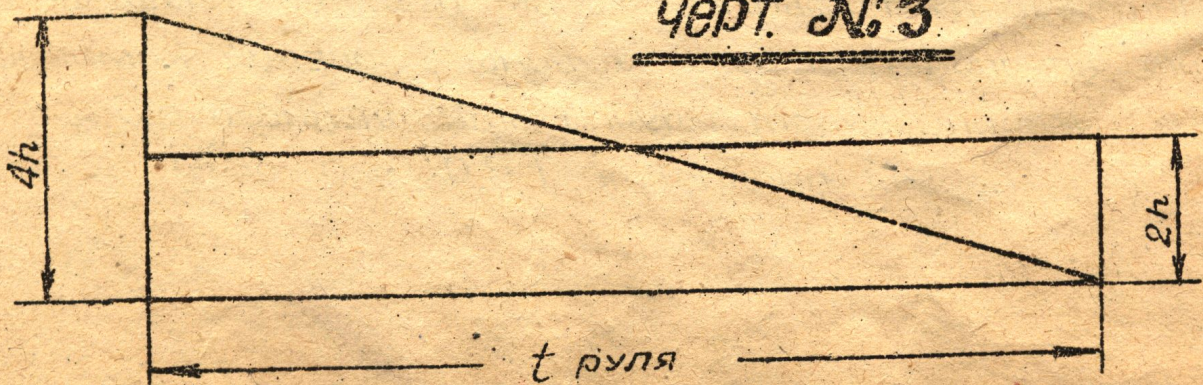
Из чертежа №2 видно, что интенсивность нагрузки на стабилизаторе постоянна и равна  $h \text{ кг/м}^2$ .

На руле вдоль передней кромки равна  $4h$ , и вдоль задней кромки - нулю.

Средняя интенсивность нагрузки по рулю глубины будет:

$$\frac{4h + 0}{2} = 2h$$

черт. №3



ЗУМЕЧАНИЕ: ОЧЕВИДНО, ЧТО СРЕДНЯЯ ИНТЕНСИВНОСТЬ НАГРУЗКИ НА РУЛЬ ГЛУБИНЫ БУДЕТ В ЛЮБОМ СЕЧЕНИИ РУЛЯ РАВНА  $2h$ , НЕЗАВИСИМО ОТ ДЛИНЫ ДАННОЙ ХОРДЫ РУЛЯ. (СМ. ЧЕРТЕЖУ № 203)

Отсюда:

Полная нагрузка на руль.

$$P_1 = S_{p.2} \cdot 2h$$
$$P_1 = 1,5 \cdot 2h = 3h$$

Полная нагрузка на стабилизатор

$$P_2 = S_{ст.} \cdot h \quad [h - \text{интенсивн. нагрузки на ст-ре}]$$
$$P_2 = 2 \cdot h = 2h$$

Нагрузка на все горизонтальное оперение.

$$P = P_1 + P_2 = 3h + 2h = 5h$$
$$P = 5h = 1240 \text{ кг.} \quad [1240 \text{ кг.} - \text{расчетн. нагрузка}]$$

откуда

$$h = \frac{1240}{5} = 248 \text{ кг/м}^2$$

Нагрузка на руль.

$$P_1 = S_{p.2} \cdot 2h = 1,5 \cdot 2 \cdot 248 = \underline{744 \text{ кг.}}$$

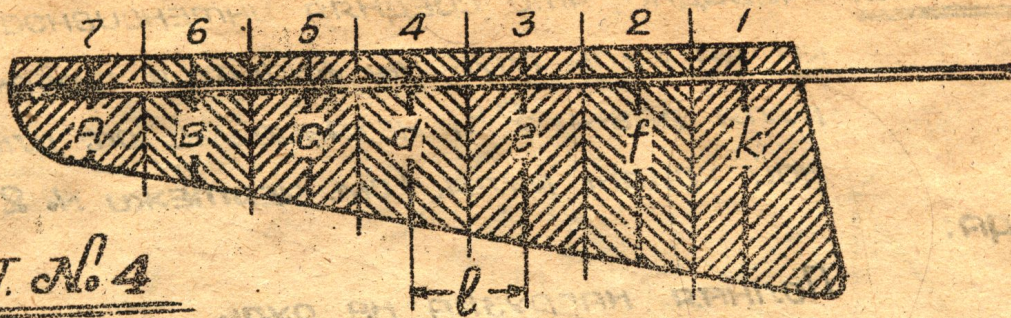
Средняя интенсивность нагрузки на руле.

$$q = 2h = 496 \text{ кг/м}^2$$

$$\text{(или } q = \frac{P_1}{S} = \frac{744}{1,5} = 496 \text{ кг/м}^2)$$

Распределение нагрузки по нервюрам.

Нагрузку распределяем (также как при расчете крыла) пропорционально площадям руля глубины перекрывающим нагрузку на данную нервюру.



ЧЕРТ. № 4

1	нервюра	воспринимает	нагрузку	от	площади	«К»
2	»	»	»	»	»	f
3	»	»	»	»	»	e
4	»	»	»	»	»	d
5	»	»	»	»	»	c
6	»	»	»	»	»	B
7	»	»	»	»	»	A

Площади B, c, d, e, f, вследствие равенства расстояния между нервюрами, равны произведению соответственной хорды на расстояние между нервюрами (труля  $l$ ). Площади «А» и «К» можно вычислить разбив их на элементарные площади трапеции и треугольников. (см. черт. № 4)

Нагрузка на нервюру:

$$P_H = q \cdot S_H = 496 S_H$$

ТАБЛИЦА № 1

НАГРУЗОК НА НЕРВЮРЫ РУЛЯ ГЛУБИНЫ.

№ нервюры	1	2	3	4	5	6	7
Площадь приходящ. на нервюру (м <sup>2</sup> )	0,1635	0,131	0,117	0,104	0,09	0,0765	0,0675
Нагрузка на нервюру руля - (кг)	81	65	58	51,5	44,5	38	34



# Расчет лонжерона руля глубины.

Под действием аэродинамических сил, вследствие несовпадения центра давления с центром жесткости руль глубины испытывает изгиб и кручение.

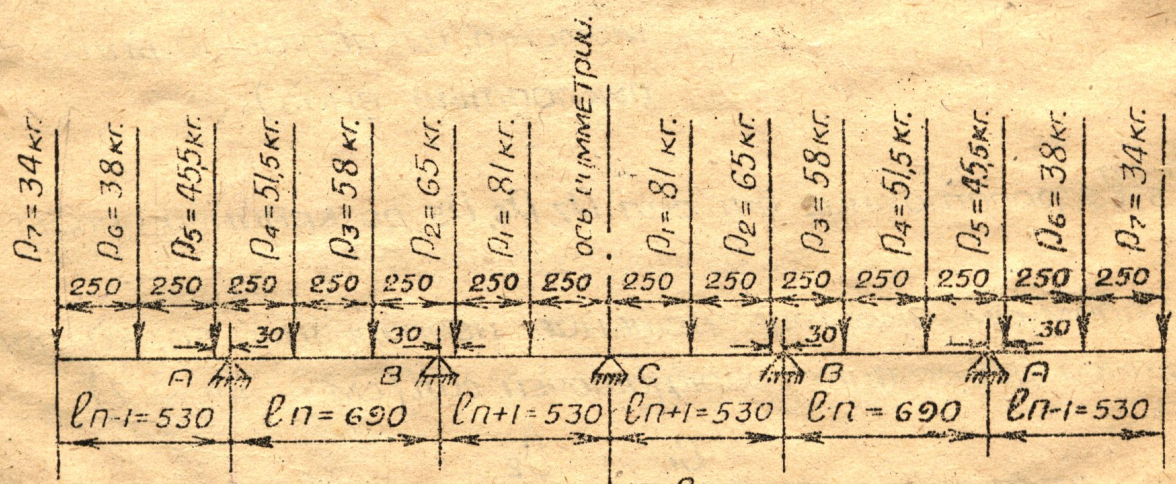
(Центр давления, в связи с треугольным законом распределения нагрузки по хорде находится на  $\frac{1}{3} l$  от носка; центр жесткости при руле с мягкой обшивкой лежит на оси лонжерона).

# Расчет на изгиб лонжерона руля глубины.

При расчете лонжерона на изгиб считаем все силы приложенными по оси лонжерона (т.е. в центре жесткости). (Действие крутящих моментов, передаваемых тросами на лонжерон - рассмотрим ниже)

Расчитываем лонжерон руля глубины как статически неопределимую пятиопорную балку.

## Схема нагрузки на лонжерон руля глубины.



черт. № 5

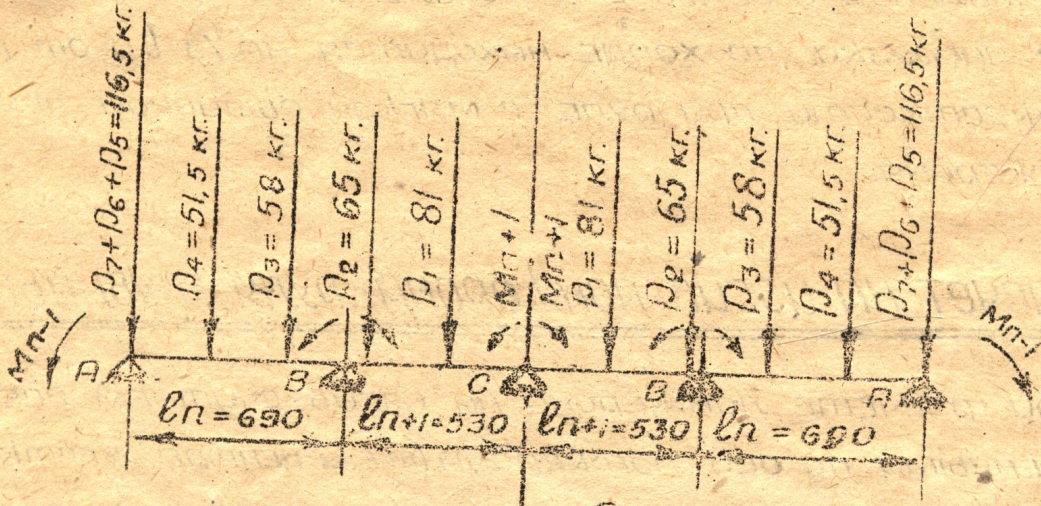
Примечание: 1. вследствие полной симметрии лонжерона руля, размеры и названия сил по обе стороны оси симметрии - обозначаем одинаково (см. черт. № 5)

2. Над опорой "С" воздушный нагрузки нет, ибо она скрыта в хвостовом коке фюзеляжа.

(см. черт. 1 и 4).

Влияние консолей на всю балку заменим действием сосредоточенных сил и моментами приложенными у крайних опор. Сосредоточенная сила равна сумме сил действующих на консоли. Момент равен изгибающему моменту от действующих сил на консоли относительно крайних опор.

(см. схему нагрузки - черт. № 6)



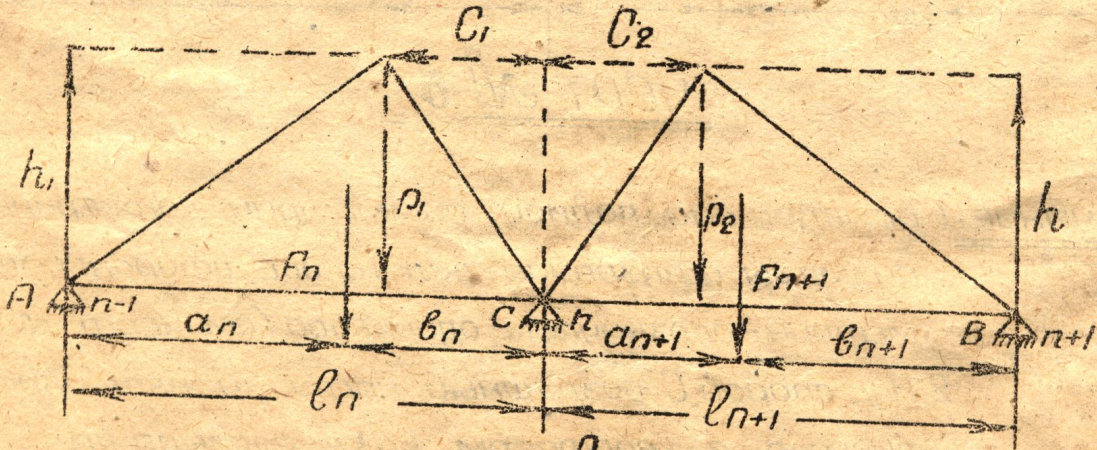
ЧЕРТ. № 6

$$M_{n-1} = P_7 \cdot l_7 + P_6 \cdot l_6 + P_5 \cdot l_5 = 34 \cdot 53 + 38 \cdot 28 + 44,5 \cdot 3 = 1802 + 1064 + 133,5 = 2999,5 \text{ кгсм}$$

$M_{n-1} = -2999,5 \text{ кгсм}$ . (За положительный - принимаем момент, изгибающий балку выпуклостью вниз).

( $l_7, l_6, l_5$  расстояние от сил  $P_7, P_6, P_5$  до крайней опоры А)

Напомним вкратце решение неразрезной балки подверженной действию сосредоточен. сил. (см. черт. № 7)



ЧЕРТ. № 7

ТЕОРЕМА О ТРЕХ МОМЕНТАХ для такой балки напишется:

$$M_{n-1} \cdot l_n + 2M_n(l_n + l_{n+1}) + M_{n+1} \cdot l_{n+1} =$$

$$= - \frac{6F_n \cdot a_n}{l_n} - \frac{6F_{n+1} \cdot b_{n+1}}{l_{n+1}}$$

Первый член правой части:  $-\frac{6F_n a_n}{l_n}$  представляет усредненную реакцию от фиктивной нагрузки, равной площади эпюры изгибающих моментов от силы  $P_1$ , у опоры „С“.

Второй член правой части:  $-\frac{6F_{n+1} \cdot b_{n+1}}{l_{n+1}}$  представляет усредненную реакцию от фиктивной нагрузки, равной площади эпюры изгибающих моментов от силы  $P_2$ , у опоры „С“.

Высота фиктивной грузовой площади от  $P_1$  равна изгибающему моменту под силой  $P_1$  и равна:

$$h_1 = \frac{P_1 (l_n - c_1)}{l_n}$$

Площадь фиктивной нагрузки будет:

$$F_n = \frac{h_1 l_n}{2} = \frac{P_1 (l_n - c_1)}{2}$$

Расстояние от центра тяжести грузовой площади до опоры „А“ „ $a_n$ “ найдем из уравнения статики, сосредоточив грузовую нагрузку  $F_n$  по  $\frac{1}{3} F_n$  в каждом угле грузового  $\Delta$ -ка и составив  $\sum M_A$ .

$$F_n \cdot a_n = \frac{1}{3} F_n \cdot (l_n - c_1) + \frac{1}{3} F_n \cdot l_n \quad \text{откуда}$$

$$a_n = \frac{l_n - c_1 + l_n}{3} = \frac{2l_n - c_1}{3}$$

следовательно:

Первый член правой части ур-ия:

$$-\frac{6F_n a_n}{l_n} = -\frac{6}{l_n} \cdot \frac{P_1 (l_n - c_1)}{2} \cdot \frac{2l_n - c_1}{3} = -\frac{P_1 (l_n - c_1) (2l_n - c_1)}{l_n}$$

Запишем по аналогии второй член:

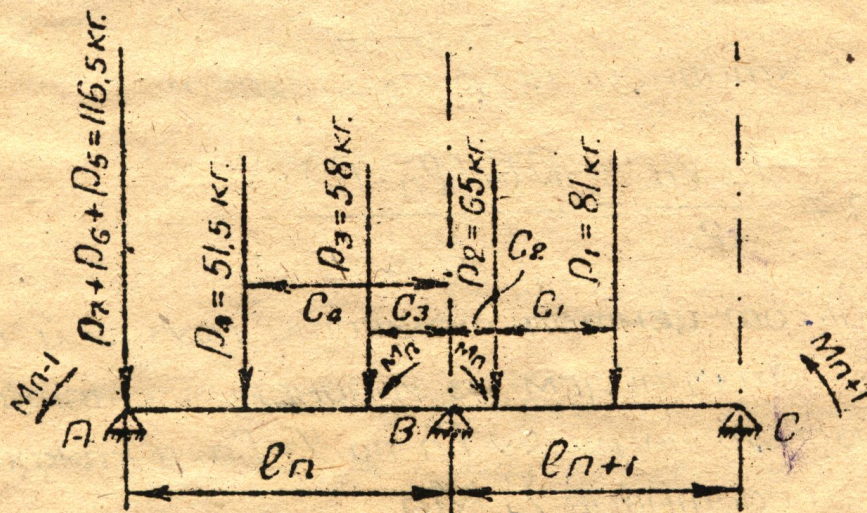
$$\frac{6 F_{n+1} \cdot l_{n+1}}{l_{n+1}} = \frac{P_2 C_2 (l_{n+1} - C_2) (2 l_{n+1} - C_2)}{l_{n+1}}$$

В случае если в пролете находится не одна, а несколько сосредоточенных сил, (как в нашей задаче), то пользуясь принципом независимости действия сил, находим выражения для правой части уравнения под влиянием каждой силы в отдельности, и затем алгебраически их суммируем.

Переходим к расчету пятиопорной балки-лонжерона руля.

Теорема о трех моментах для первой части балки представится в виде: (См. черт. № 8).

$$M_{n-1} \cdot l_n + 2M_n \cdot (l_n + l_{n+1}) + M_{n+1} \cdot l_{n+1} = - \frac{6 F_n \cdot a_n}{l_n} - \frac{6 F_{n+1} \cdot b_{n+1}}{l_{n+1}}$$



черт. № 8

Выразив значение ушестеренной реакции от грузовой площади через действующие сосредоточенные силы, получим следующее уравнение о трех моментах для первой части балки.

$$M_{n-1} \cdot l_n + 2M_n \cdot (l_n + l_{n+1}) + M_{n+1} \cdot l_{n+1} =$$

$$\frac{P_4 C_4 (l_n - C_4) (2l_n - C_4)}{l_n} - \frac{P_3 C_3 (l_n - C_3) (2l_n - C_3)}{l_n} =$$

$$\frac{P_2 C_2 (l_{n+1} - C_2) (2l_{n+1} - C_2)}{l_{n+1}} - \frac{P_1 C_1 (l_{n+1} - C_1) (2l_{n+1} - C_1)}{l_{n+1}}$$

Подставив имеющиеся значения в формулу для первой части балки получим:

$$- 2995,5 \cdot 69 + 2M_n (69 + 53) + M_{n+1} \cdot 53 =$$

$$\frac{51,5 \cdot 47 (69 - 47) (2 \cdot 69 - 47)}{69} - \frac{58 \cdot 22 (69 - 22) (2 \cdot 69 - 22)}{69}$$

$$\frac{65,3 (53 - 3) (2 \cdot 53 - 3)}{53} - \frac{81 \cdot 28 (53 - 28) (2 \cdot 53 - 28)}{53}$$

$$- 206965,5 + 244 M_n + 53 M_{n+1} =$$

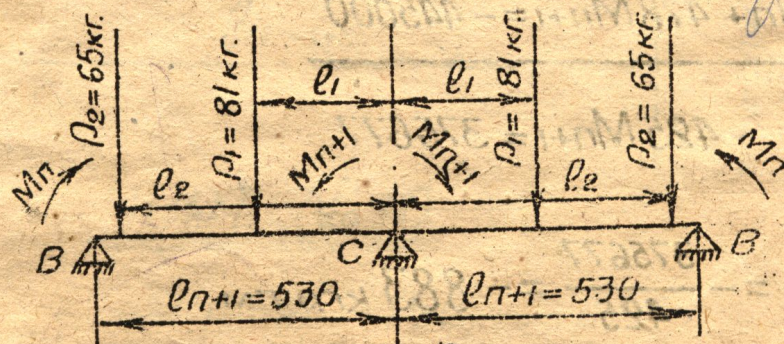
$$= - 70230 - 101663 - 18950 - 83445 = - 276288 ;$$

$$244 M_n + 53 M_{n+1} = 206965,5 - 276288 = - 69323.$$

Уравнение о трех моментах для второй части балки.

Балка относительно средней опоры симметрична.

(см. черт. № 9)



Черт. № 9

97  
0,2  
194

132  
0,4  
52,8

~~Handwritten scribbles~~

$$M_n \cdot l_{n+1} + 2M_{n+1} \cdot (l_{n+1} + l_{n+1}) + M_n \cdot l_{n+1} =$$

$$= - \frac{P_2 l_2 (l_{n+1} - l_2) (2l_{n+1} - l_2)}{l_{n+1}} - \frac{P_1 l_1 (l_{n+1} - l_1) (2l_{n+1} - l_1)}{l_{n+1}}$$

$$= - \frac{P_2 l_2 (l_{n+1} - l_2) (2l_{n+1} - l_2)}{l_{n+1}} - \frac{P_1 l_1 (l_{n+1} - l_1) (2l_{n+1} - l_1)}{l_{n+1}};$$

$$2M_n \cdot l_{n+1} + 4M_{n+1} \cdot l_{n+1} = - \frac{2P_2 l_2 (l_{n+1} - l_2) (2l_{n+1} - l_2)}{l_{n+1}}$$

$$- \frac{2P_1 l_1 (l_{n+1} - l_1) (2l_{n+1} - l_1)}{l_{n+1}};$$

$$2M_n \cdot 53 + 4M_{n+1} \cdot 53 = - 2 \left[ \frac{65 \cdot 50 \cdot (53 - 50) \cdot (106 - 50)}{53} + \right.$$

$$\left. + \frac{81 \cdot 25 \cdot (53 - 25) \cdot (106 - 25)}{53} \right];$$

$$106 M_n + 212 M_{n+1} = - 2 [10300 + 86500] = -193600$$

РЕШАЕМ СОВМЕСТНО 2 УРАВНЕНИЯ

$$\begin{array}{l} \text{I.} \\ \text{II.} \end{array} \begin{array}{l} 244 M_n + 53 M_{n+1} = - 69323 \\ 106 M_n + 212 M_{n+1} = - 193600 \end{array} \left| \begin{array}{l} 1 \\ 2,3 \end{array} \right|$$

$$- \begin{array}{r} 244 M_n + 53 M_{n+1} = - 69323 \\ 244 M_n + 478 M_{n+1} = - 445000 \end{array}$$

$$\hline - 425 M_{n+1} = 375677$$

$$M_{n+1} = - \frac{375677}{425} = - 883 \text{ кгс см.}$$

$$244 M_n + 53(-883) = - 69323.$$

$$244 M_n = -69323 + 46600 = -22723$$

$$M_n = -\frac{22723}{244} = -93 \text{ кг. см.}$$

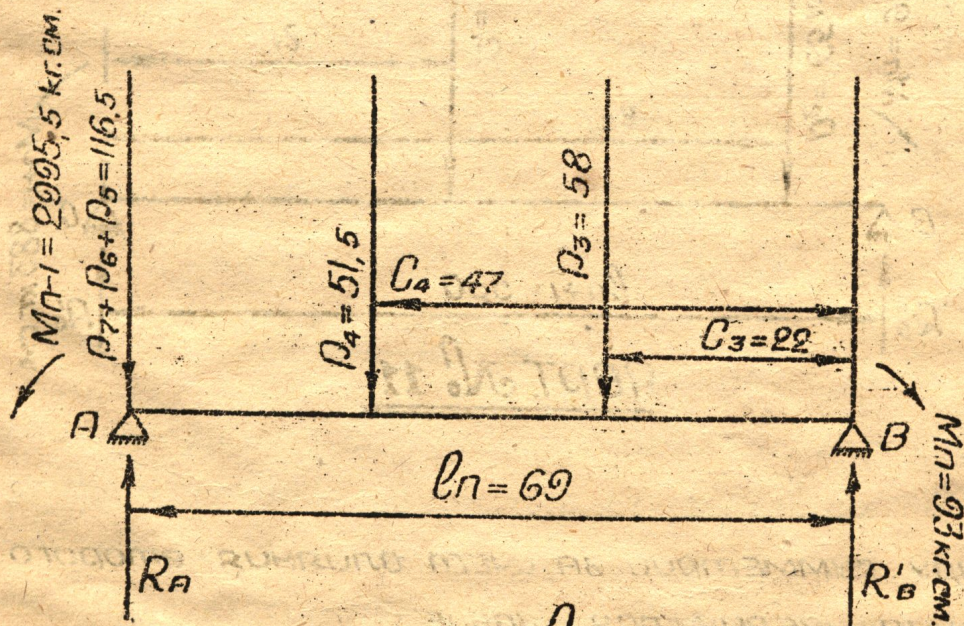
Таким образом определены оба лишних неизвестных  $M_n$  и  $M_{n+1}$ . Направление моментов  $M_n$  и  $M_{n+1}$  обратно направлению их стрелок на чертеже.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИЙ.

Зная реактивные моменты у каждой опоры мы можем найти реакции от сил и моментов действующих в каждом пролете, как для обыкновенной статически-определимой двухопорной балки. У опор лежащих между двумя пролетами реакция будет равна сумме реакций, найденных для данной опоры от сил в обоих пролетах.

(см. черт. № 10 и 11)

(На чертежах 10 и 11 направления моментов показаны уже правильно, а потому знаки «-» опущены).



ЧЕРТ. № 10

$$R_A = (P_7 + P_6 + P_5) + \frac{M_{n-1} - M_n}{l_n} + \frac{P_4 C_4 + P_3 C_3}{l_n}$$

$$= 116,5 + \frac{2995,5 - 93}{69} + \frac{51,5 \cdot 47 + 58 \cdot 22}{69} = 210 \text{ кг.}$$

(из черт. № 10)

$$R'_B = \frac{M_n - M_{n-1}}{l_n} + \frac{P_4(l_n - C_4) + P_3(l_n - C_3)}{l_n} =$$

$$= \frac{93 - 2995,5}{69} + \frac{51,5 \cdot 25 + 28 \cdot 50}{69} = 19 \text{ кгр. (из черт. № 10)}$$

$$R''_B = \frac{M_n - M_{n+1}}{l_{n+1}} + \frac{P_2 e_2 + P_1 e_1}{l_{n+1}} =$$

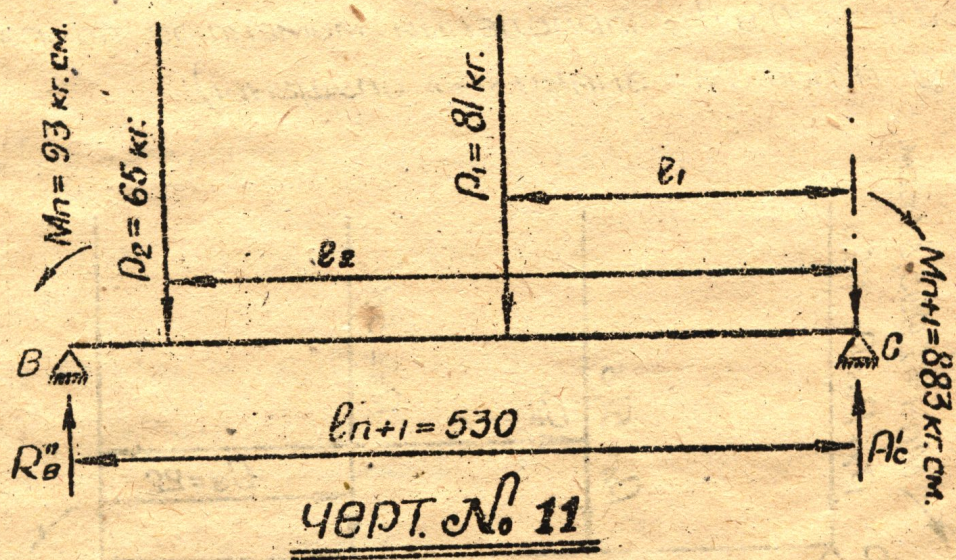
$$= \frac{93 - 883}{53} + \frac{65 \cdot 50 + 81 \cdot 25}{53} = 83 \text{ кгр. (из черт. № 11)}$$

$$R_B = R'_B + R''_B = 19 \text{ кгр.} + 83 \text{ кгр.} = 102 \text{ кгр.}$$

$$R'_C = \frac{M_{n+1} - M_n}{l_{n+1}} + \frac{P_2(l_{n+1} - e_2) + P_1(l_{n+1} - e_1)}{l_{n+1}} =$$

$$= \frac{883 - 93}{53} + \frac{65 \cdot 3 + 81 \cdot 28}{53} =$$

$$= \frac{790}{53} + \frac{195 + 2265}{53} = 14,8 + 45,2 = 60 \text{ кгр.}$$



Ввиду симметрии, за счет влияния второго пролета реакция увеличится вдвое.

$$R_C = 2 R'_C = 2 \cdot 60 = 120 \text{ кгр.}$$



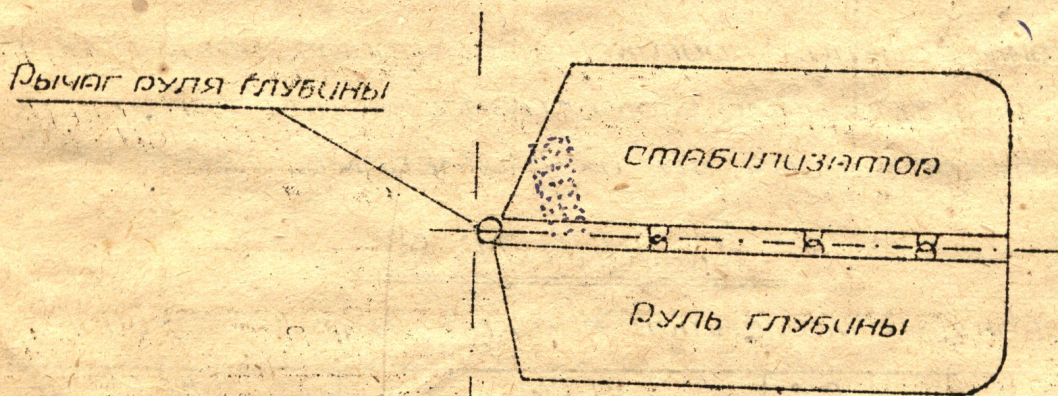
Проверка

Сумма сил на всей балке равна 744 кгс.

Сумма реакции равна:

$$\Sigma R = 120 + 102 \cdot 2 + 210 \cdot 2 = 744 \text{ кгс.}$$

Пользование теоремой о трех моментах при определении реакций в шарнирах руля глубины дает не совсем верные результаты ибо предполагает неподвижные опоры, в то время, когда под влиянием прогиба стабилизатора, шарниры перемещаются. Точнее было бы, при определении реакций исходить из равенства прогибов руля и стабилизатора в местах крепления шарниров, но при пятиопорной балке это представляет большие трудности. Поясним «в общем виде» пользование этим методом при трех шарнирном креплении руля глубины к стабилизатору. (см. черт. № 12)



черт. № 12

Путь нахождения реакции в этом случае будет прост: Приняв один шарнир за лишнее неизвестное мы можем утверждать, что в сечении этого шарнира прогибы лонжеронов стабилизатора и руля равны (ибо их соединяет шарнир)

$$\underline{f_{ст.} = f_{руля}} \quad 3356$$

~~3356~~

БИБЛИОТЕКА  
КАРЬКАВИШНОК  
ИНСТИТУТА  
ИМ. ОСОАВИАЧ

БИБЛИОТЕКА  
КАРЬКАВИШНОК  
ИНСТИТУТА  
ИМ. ОСОАВИАЧ

655  
50  
195  
112

Введем следующие обозначения:

$U_{0\text{ст}}$  — прогиб лонжерона стабилизатора, вместе крепление лишнего шарнира, от воздушной нагрузки.

$U_{i\text{ст}}$  — прогиб лонжерона стабилизатора у лишнего шарнира от единичной нагрузки, приложенной в шарнире.

$U_{0\text{руля}}$  — прогиб лонжерона руля высоты у лишнего шарнира от воздушной нагрузки.

$U_{i\text{руля}}$  — прогиб лонжерона руля высоты у лишнего шарнира от единичной нагрузки, приложенной в шарнире.

Из условия равенства прогибов имеем:

$$U_{0\text{ст}} + X U_{i\text{ст}} = U_{0\text{руля}} - X U_{i\text{руля}}$$

где  $X$  — реакция в лишнем шарнире

откуда:

$$X = \frac{U_{0\text{руля}} - U_{0\text{ст}}}{U_{i\text{ст}} + U_{i\text{руля}}}$$

Для определения прогибов необходимо, предварительно задать величинами моментов инерции лонжеронов руля и стабилизатора; т.е. их размерами.

### ТАБЛИЦА № 2

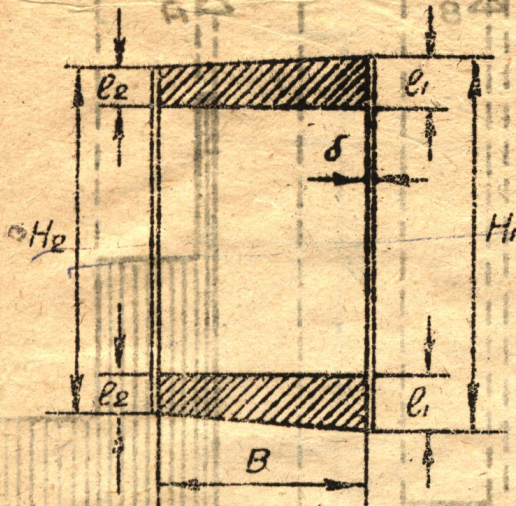
изгибающих моментов лонжерона руля глубины.

№ НЕРВЮР НЕРВЮР	кг.	кг.	см	кг.см.	кг.см.
	Нервюр. силы $P$	Перерез. силы $Q$	расстоян. между силами $e$	$\Delta M = Q \cdot e$	Изгибающий момент в 1-ом сечен. лонж-на. $M_i = Q_i \cdot l_i + M_{i-1}$
7	34	0	0	0	0
6	38	34	25	850	850
5	44,5	72	25	1800	2650
А	-210	116,5	3	349,5	2999,5
4	51,5	-93,5	22	-2055,5	940
3	58	-42	25	-1050	-110
В	-102	16	22	352	242
2	65	-86	3	-258	-116
1	81	-21	25	-525	-541
в	-	60	25	1500	959

ПРИМЕЧАНИЕ: в таблице  $Q_i$  - означает перемены. силу, равную сумме сил от конца руля до  $i$ -го сечения (без учета силы, приложенной в  $i$ -ом сечении).

РАЗМЕРЫ ЛОНЖЕРОНА РУЛЯ ГЛУБИНЫ.

ПРИМЕЧАНИЕ: полки лонжерона нижние и верхние берем одинаковыми.  
(см. черт. № 13).



ЧЕРТ. № 13

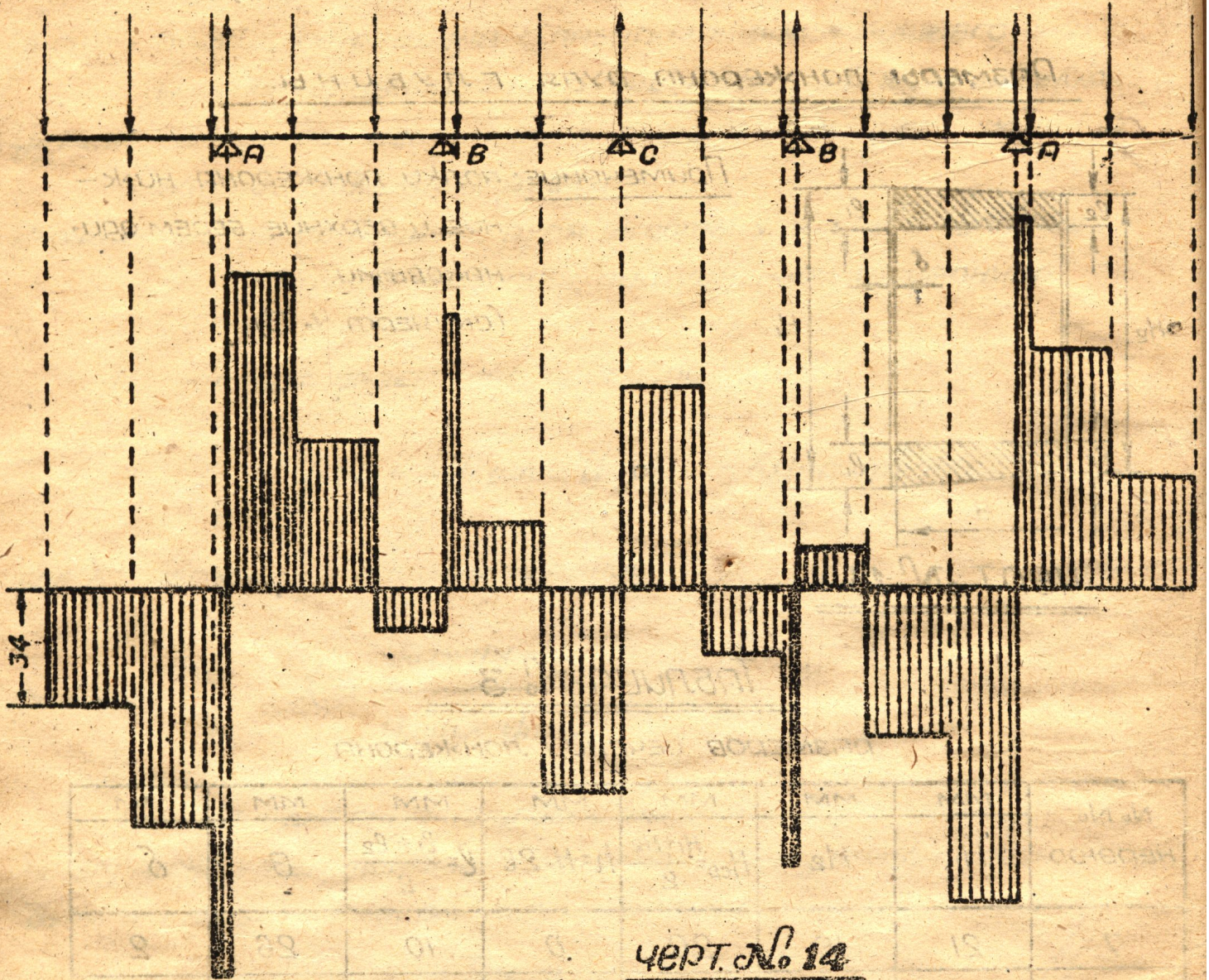
ТАБЛИЦА № 3

РАЗМЕРОВ СЕЧЕНИЙ ЛОНЖЕРОНА

№ № НЕРВЮР.	ММ	ММ	ММ	ММ	ММ	ММ	ММ
	$H_1$	$H_2$	$H_{ср} = \frac{H_1 + H_2}{2}$	$h = H - 2l$	$l = \frac{l_1 + l_2}{2}$	$B$	$\delta$
7	21	19	20	0	10	26	2
6	33	30	31,5	11,5	10	27,5	2
5	47	43	45	25	10	30	2
4	63	59	61	37	12	33	2
3	79	74	76,5	48,5	14	36	2
2	96	90	93	61	16	39	2
1	113	106	109,2	73,5	18	42	2

б.м.м  
30 м

ЭПЮРА СРЕЗЫВАЮЩИХ СИЛ РУЛЯ ГЛУБИНЫ.



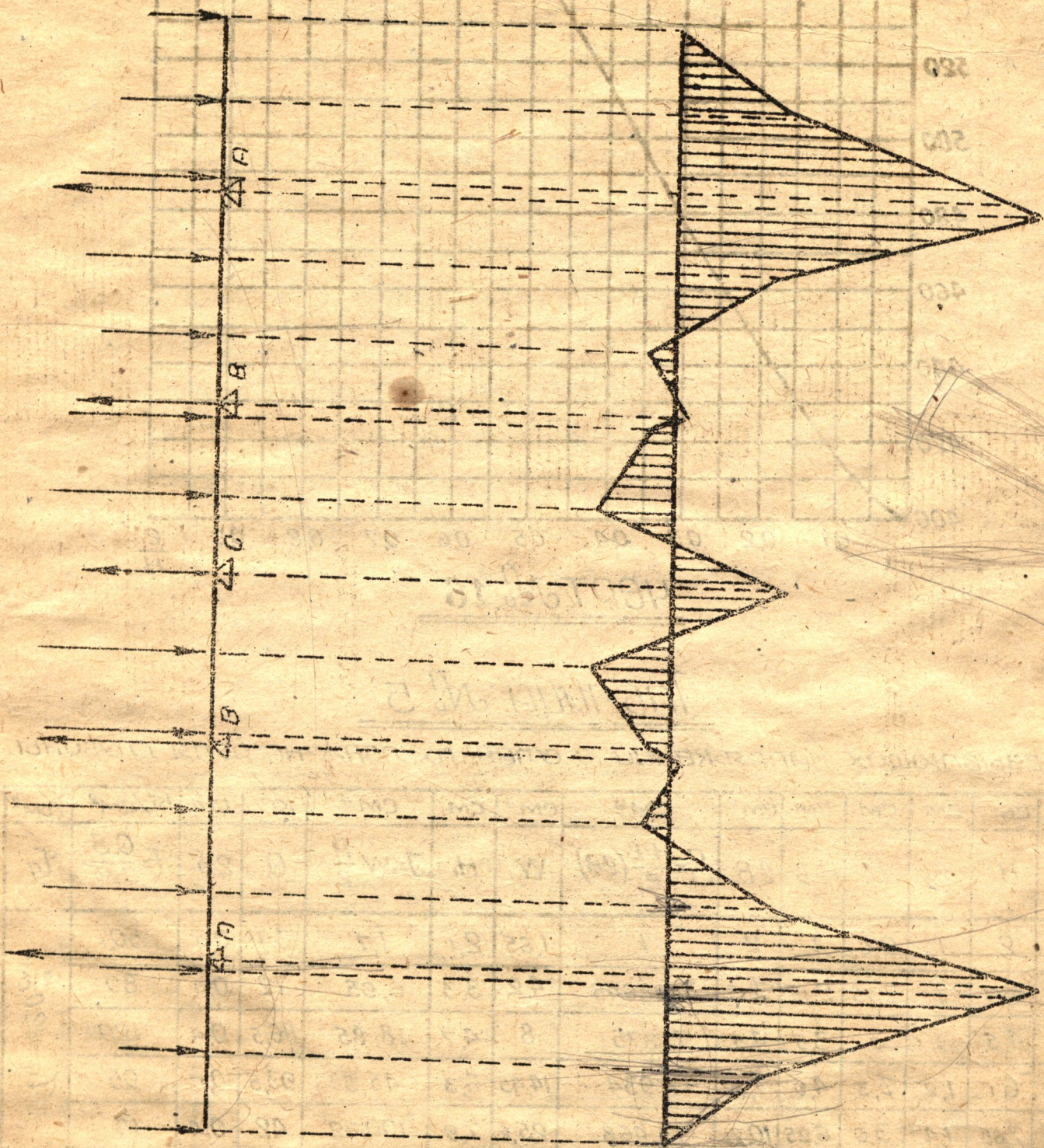
ЧЕРТ. № 14

ТАБЛИЦА № 4

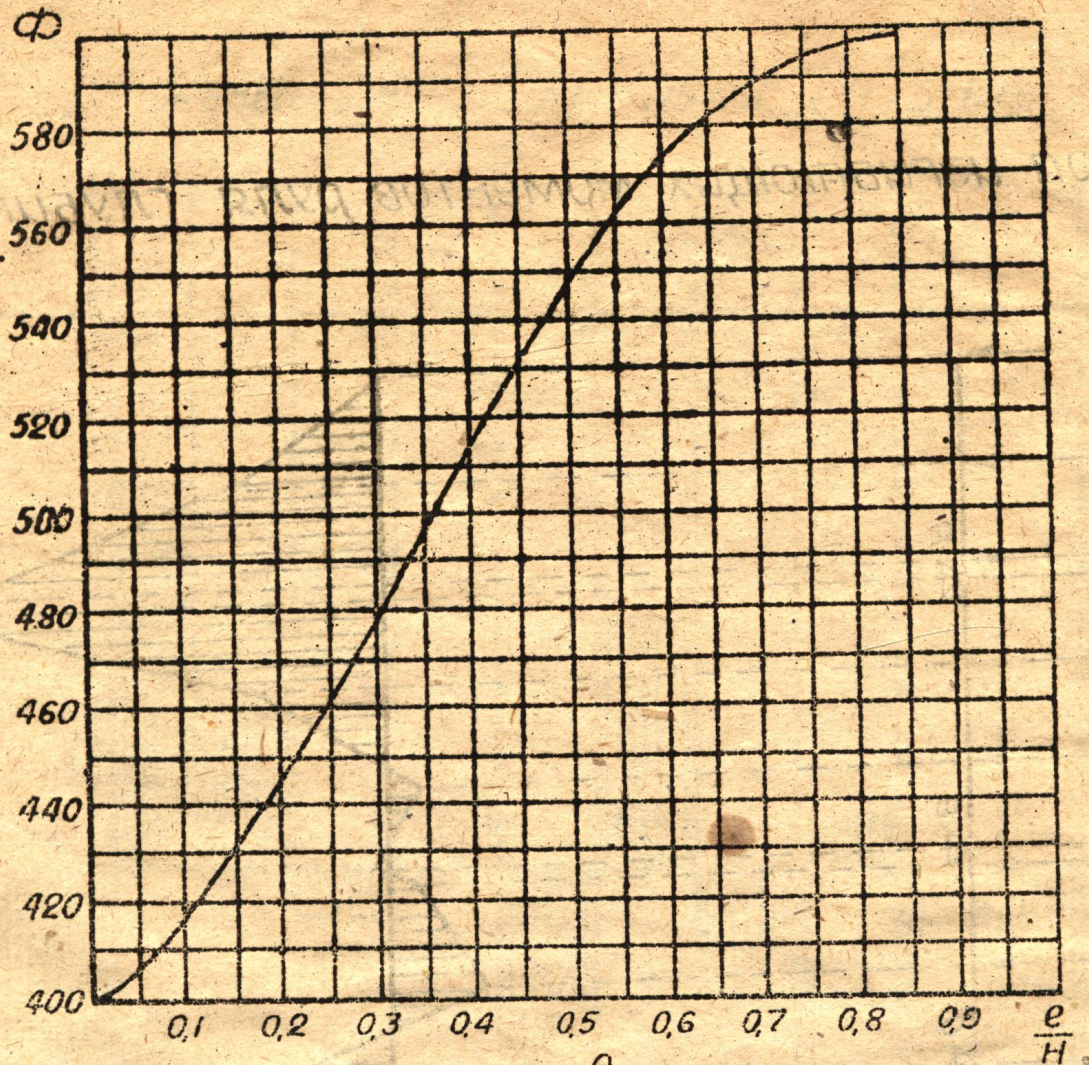
НОРМАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЛОНЖЕРОНЕ РУЛЯ ГЛУБИНЫ.

№ ПЕРЕЧИСЛЕНИЯ	СМ	СМ	СМ	СМ <sup>3</sup>	СМ <sup>3</sup>	СМ <sup>3</sup>	СМ	СМ	СМ <sup>3</sup>	КГ.СМ	КГ/СМ <sup>2</sup>	КГ/СМ <sup>2</sup>
	H	B	h	H <sup>3</sup>	h <sup>3</sup>	H <sup>3</sup> -h <sup>3</sup>	H <sub>1</sub>	6H <sub>1</sub>	$W = \frac{8(H^3-h^3)}{6H_1}$	Миллг	$\sigma = \frac{M}{W}$	БРАЗР.
7	2	2,6	0	8	0	8	2,1	12,6	1,65	0	0	
6	3,15	2,75	1,15	31,2	1,52	29,7	3,3	19,8	4,2	850	202	РАЗРУШАЮЩИЕ НАПРЯЖЕНИЯ С УЧЕТОМ КОЭФ. НОРМЫ ПО ТРЕБОВАНИЮ БРАЗР = 200 Ф ГДЕ $\sigma = f \left( \frac{\sigma}{H} \right)$ СМ. ЧЕРТ. № 16
5	4,5	3	2,5	91	15,6	75,4	4,7	28,2	8	2650	332	
4	6,1	3,3	3,7	226	50,6	165,4	6,3	38	14,45	940	65	
3	7,65	3,6	4,85	447	114	333	7,9	47,5	25,2	-110	4,4	
2	9,3	3,9	6,1	804	226	578	9,6	57,5	39,2	-16	0,41	
1	10,92	4,2	7,35	1313	397	916	11,3	67,8	57	-541	9,5	

# Эпюра изгибающих моментов руля глубины.



Черт. № 15.



ЧЕРТ. № 16

ТАБЛИЦА № 5

Срезывающих напряжений в стенках лонж-на руля глубины.

№ СЕЧЕНИЯ	СМ	СМ	СМ	СМ	СМ <sup>2</sup>	СМ <sup>3</sup>	СМ	СМ <sup>4</sup>	КГ	СМ	КГ/СМ <sup>2</sup>	%СМ <sup>2</sup>	
	H	e	B	H-e	eB	$S = \frac{H-e}{2}(eB)$	W	H <sub>1</sub>	$J = W \frac{H}{2}$	Q	2δ	$T = \frac{Q \cdot S}{J \cdot 2\delta}$	T <sub>g</sub>
7	2	1	2,6	1	2	1	1,65	2,1	1,7	34	0,4	50,1	T <sub>g</sub> = 120 $\frac{кг}{см^2}$
6	3,15	1	2,75	2,15	3,15	3,38645	4,2	3,3	6,95	72	0,4	89	
5	4,5	1	3	3,5	4,5	7,875	8	4,7	18,85	116,5	0,4	120	
4	6,1	1,2	3,3	4,9	7,32	17,934	14,45	6,3	45,5	93,5	0,4	95	
3	7,65	1,4	3,6	6,25	10,71	13,468	25,2	7,9	100,32	42	0,4	17	
2	9,3	1,6	3,9	7,7	14,88	57,268	39,2	9,6	156,5	86	0,4	8	
1	10,92	1,8	4,2	9,12	19,656	89,631	57	11,3	321	60	0,4	43	

ПРИМЕЧАНИЕ: При расчете стенки на срез, величина передерезывающей, силы взята максимальная в каждом данном сечении из эпюры передерезывающих сил.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТОВ КРУТЯЩИХ.

Момент крутящий создается за счет несовпадения центра давления с центром жесткости. Элементарный крутящий момент, передаваемый каждой нивьюрь «ΔМ» от воздушных нагрузок равен произведению из нагрузки на данную нивьюрь на расстояние от центра давления до оси лонжерона (т.к. при руле с мягкой обшивкой ось лонжерона совпадает с центром жесткости).

Реакции в шарнирах создают относительно оси лонжерона момент  $M_R$  равный  $R \cdot e'$ , где  $R$  - реакция в шарнире  $e'$  - расстояние от оси шарнира до оси лонжерона. Знак момента одинаков со знаком момента от воздушных нагрузок (см. черт. № 17).

Полный крутящий момент в  $l$ -ом сечении равен сумме элементарных моментов от воздушной нагрузки и моментов от реакций.

Центр давления находится на  $\frac{1}{3}t$  от носка профиля. Передняя кромка лонжерона находится на 100 мм. от носка. Результаты расчета сведены в табл. № 6

Таблица № 6

крутящих моментов руля глубины.

№ нивьюрь	см	см	см	см	см	кг.	кг.см.	кг.	кг.см.	кг. см.
	$t$ ру- ля.	$\frac{1}{3}t_p$	расстоя- ние от носка до оси лон- жерона $X=10+\frac{t}{2}$	расстоя- ние от оси лонж- ера до цен- тра давл. $e=\frac{1}{3}t-X$	расст. от оси шарн. до оси лонж. $e'$	$P_{нивь.}$	$\Delta M = P_{нивь.} \cdot e$	реак- ции $R$	$M_R = R \cdot e'$	$M_l$ крутящ. момент в $l$ -ом сечении
7	25	8,35	11,3	-2,95		34	-100			-100
6	30,5	10,2	11,4	-1,2		38	-45,5			-145,5
5	36	12	11,5	0,5		44,5	22,3			-123,2
A					3,6			210	757	633,8
4	41,5	13,75	11,7	2,05		51,5	104			737,8
3	47	15,7	11,8	3,09		58	226			953,8
B					3,9			102	397,8	1351,6
2	52,5	17,5	12	5,5		65	357,5			1709,1
1	58	19,3	12,1	7,2		81	583,2			2292,3
C					4,1			120	492	5076,6 *

Примечание: ширину лонжерона «В» берем из табл. №3.

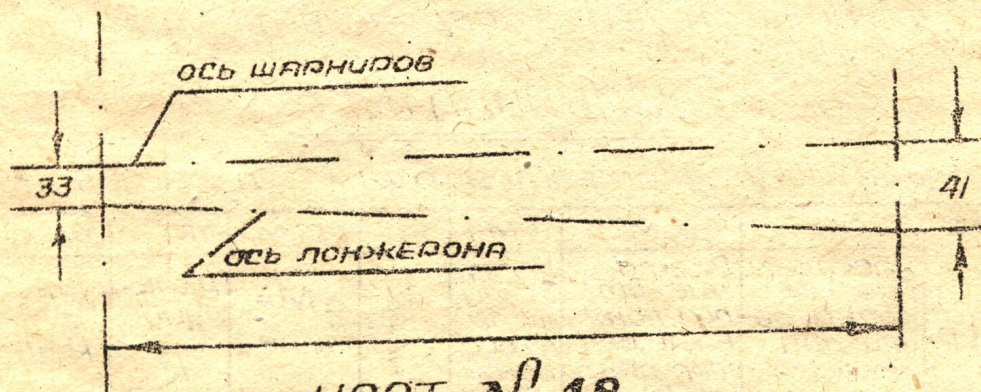
\*) Момент крутящий в сечении «С» лонжерона равен сумме моментов подходящих справа и слева от сечения «С» (т.к. рычаг, снимающий весь крутящий момент находится в сечении «С») и момента  $M_{кр}$  действующего непосредственно в сечении «С»

$$\text{т.е. } M_{кр.с} = 2292,3 + 2292,3 + 492 = 5076,6 \text{ кг.см.}$$

Проекция этого момента на направление оси шарниров должна равняться шарнирному моменту снимаемому рычагом (см. таблицу №7)

В нашей конструкции  $tg$  угла наклона оси шарниров к оси лонжерона равен:

$$tg \alpha = \frac{41-33}{1900} = 0,0042 \quad (\text{см. черт.ж. №18}).$$

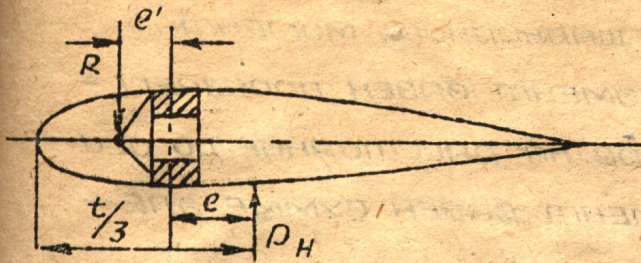


Помножение на  $\cos$  такого угла (при проектировании на ось шарниров) практически не изменит значения  $M_{кр}$  т.е., практически, для нашего случая мы должны получить  $M_{шарн} = M_{кр.с}$ . Такое совпадение нами получено — см. таблицу №7. ( $M_{шарн} = 5076 \text{ кг.см.}$ )

Эпюра распределения крутящих моментов по размаху руля дана на чертеже №19.

Расчет лонжерона на прочность в сечении «С» производится на  $M_{кр} = 2292,3 \text{ кг.см.}$





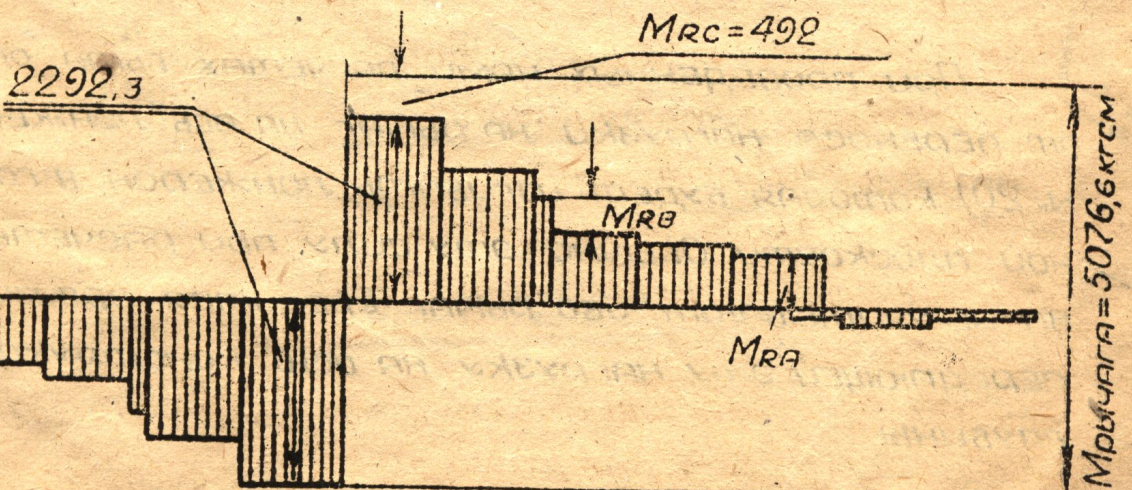
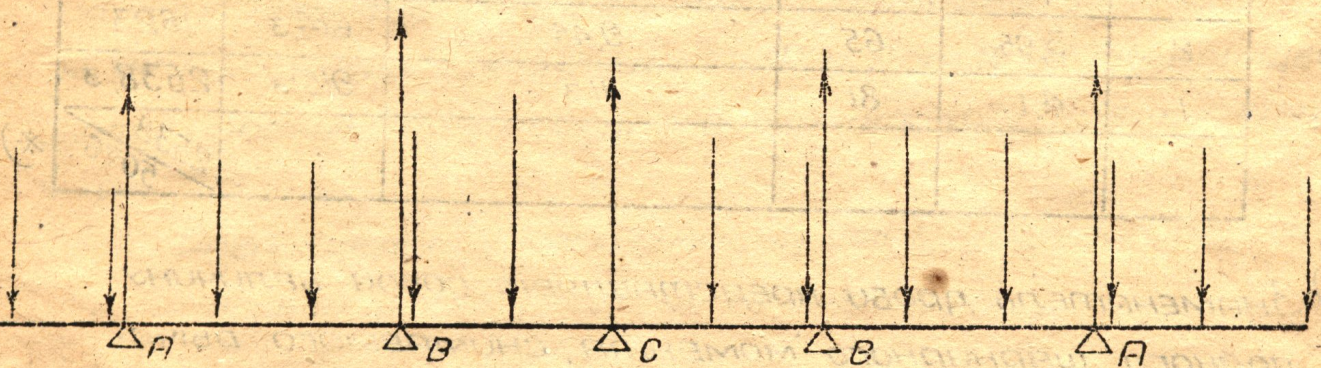
ЧЕРТ. № 17

т.к. из условия восприятия лонжероном крутящего момента, приходится увеличивать его размеры (а следовательно лонжерон получится тяжелым) выгоднее при руле с мягкой обшивкой вводить в

конструкцию косые нервюры т.е. создать конструкцию типа «жесткий моноспар» (расчет такой конструкции см. в расчете элерона). При расчете руля с жесткой обшивкой кручение воспринимается замкнутым контуром, состоящим из обшивки хвостика руля и фиктивной стенки лонжерона (подобно работе крыла планерного типа).

Обшивка носка руля в расчет на кручение не вводится, т.к. в местах расположения шарниров разрезана.

(см. чертеж № 21)



ЧЕРТ. № 19

Для определения усилия на рычаге управления рулем необходимо определить величину шарнирного момента.

Элементарный шарнирный момент равен произведению из нагрузки на нервюру -  $P_{нерв}$  на расстояние до оси шарниров. Полный шарнирный момент равен сумме элементарных шарнирных моментов.

Результаты расчета сведены в табл. № 7

### ТАБЛИЦА № 7

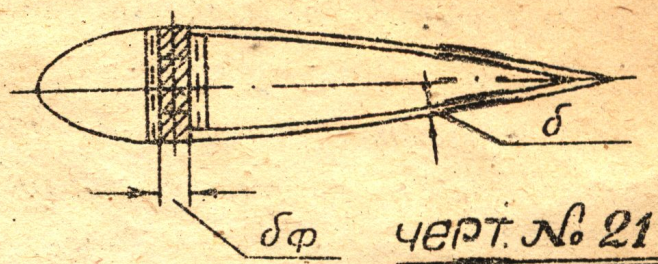
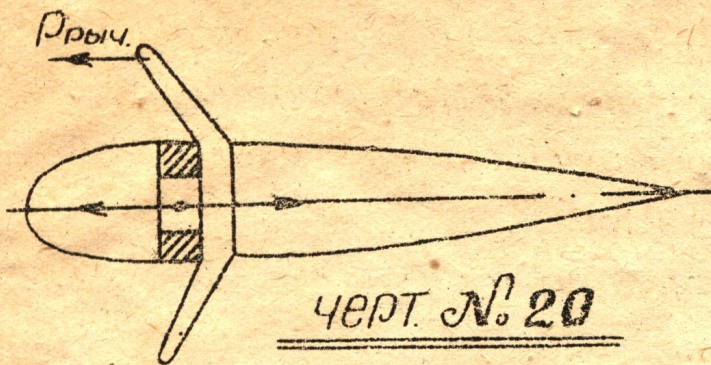
НАРОСТАНИЯ ШАРНИРНЫХ МОМЕНТОВ РУЛЯ ГЛУБИНЫ.

№№ СЕЧЕНИЙ	СМ	КГ.	СМ	КГ.СМ.	КГ.СМ.
	РАССТОЯНИЕ ОТ ОСИ ШАРНИРОВ ДО ОСИ ЛОНЖЕРОНА $e'$	$P_{нервюрн}$	РАССТОЯНИЕ ОТ ЦЕНТРА ДАВЛЕНИЯ НЕРВЮРЫ ДО ОСИ ШАРНИРА $C = e + e'$	$\Delta M$ ШАРНИРН.	$M$ ШАРНИРН.
7	3,3	34	0,3	10,2	10,2
6	3,4	38	2,2	83,5	93,7
5	3,5	44,5	4	178	271,7
4	3,65	51,5	5,65	291	562,7
3	3,8	58	7,7	446	1008,7
2	3,95	65	9,45	614,3	1623
1	4,1	81	11,3	915,3	2538,3
					$\frac{2538}{5076}$ *)

\*) Знаменатель дроби представляет собой величину полного шарнирного момента, снимаемого рычагом ( $5076 = 2 \cdot 2538$ )

Примечание: величина «e» взята из таблицы № 5.

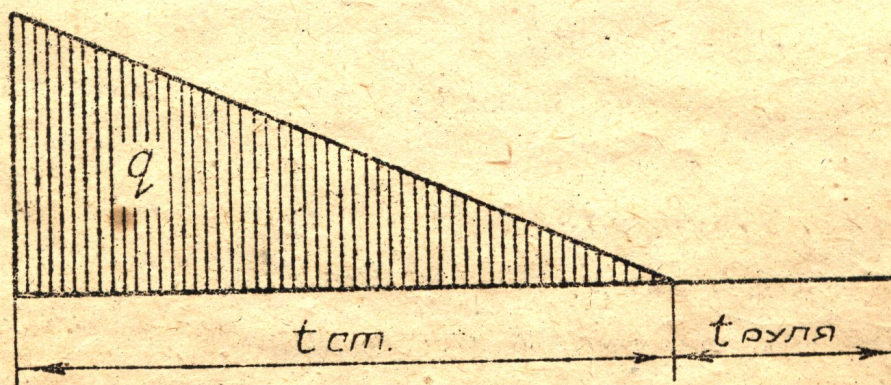
При проведенных нами расчетах была опущена сила от переноса нагрузки на рычаг на ось лонжерона (черт. № 20) которая будет изгибать лонжерон в горизонтальной плоскости. Обычно эту силу при расчете лонжерона не учитывают, ибо рычаг крепится вблизи нервюры передающей эту нагрузку на всю конструкцию руля глубины.



## Расчет стабилизатора

Расчет стабилизатора аналогичен с расчетом двухлонжеронного крыла но, кроме нагрузки, приходящейся на стабилизатор, необходимо учесть влияние усилий в шарнирах крепления руля глубины. Кроме принятого нами выше распределения нагрузки по хорде горизонтального оперения, являющейся наиболее опасной для руля глубины и заднего лонжерона стабилизатора, необходимо стабилизатор рассчитывать при распределении нагрузки согласно черт. № 22 (см. нормы прочности Т.В.Ф № 9 за 1934г.) являющейся более опасным для переднего лонжерона стабилизатора.

Распределение нагрузки на стабилизатор при отклоненных рулях (рули не нагружены).



черт. № 22

3356

БИБЛИОТЕКА  
 ХУДЖАДИ  
 ИНСТИТУТА  
 ИМ. В. И. ДАВАН  
 АКАДЕМИИ НАУК  
 АЗЕРБАЙДЖАНА