ЦЕНТРАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО НЕФТЕАППАРАТУРЫ

Р У К О В О Д Я Щ И Й Д О К У М Е Н Т

РАМЫ БЛОКОВ. МЕТОДЫ РАСЧЕТА

РД 26-18-7-88

gost.e-ecolog.ru

УТВЕРЖДАЮ

Начальник ЦКБН

_____ И.К.Глушко

"18" марта 1988г.

Группа Г43

Р У К О В О Д Я Щ И Й Д О К У М Е Н Т

РАМЫ БЛОКОВ.
МЕТОДЫ РАСЧЕТА

РД 26-18-7-88

Дата введения 01.01.89

Настоящий руководящий документ устанавливает нормы и методы расчета на прочность и жесткость рам открытых блоков, оснований боксов, предназначенных для газовой и нефтяной промышленности, а также требования к проектированию (для расчётов на ЭВМ).

Настоящий руководящий документ не распространяется на рамы блочно-комплектного оборудования с движущимися или вращающимися частями, вызывающими динамические нагрузки и колебания конструкций (блоки насосов).

Методика ручного расчёта приведена в справочном приложении 5.

I. МЕТОД РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ РАМ. ПРОГРАММА РАСЧЕТА

I.I. Общие положения

I.I.I. Расчет рам основан на методе расчета балок, нагруженных произвольной нагрузкой. Произвольная нагрузка представляется совокупностью конечного числа сосредоточенных сил и распределенных нагрузок.

I.I.2. При расчете рамы определяются:

I) сортамент проката и количество продольных, поперечных и дополнительных связей;

2) сортамент труб цапф или несущих ушек.

I.I.3. Программа для ЭВМ по расчету рам предусматривает два вида расчетов: проектировочный и поверочный.

I.I.4. Проектировочный расчет проводится с оптимизацией по массе рамы или по ограничению ее высоты. При этом осуществляется автоматизированный выбор сортамента проката по каждой балке с одновременным выбором их количества.

I.I.5. Сортамент проката на основе которого программа выбирает необходимый профиль, удовлетворяющий условиям прочности и жесткости приведен в справочном приложении 3 (табл. I-4).

I.I.6. Расчет труб цапф приводится по нормальным и касательным напряжениям.

I.I.7. Поверочный расчет введен для следующих случаев:

I) для ранее спроектированных рам при изменении масс находящегося на ней оборудования; установки блока в сейсмических районах, отличных от проектных и т.п.;

2) при расчете рам, элементы блоков которых могут быть также несущими конструкциями совместно с рамой. Например, трубопроводы, жесткость которых соизмерима с жесткостью самой рамы.

I.I.8.Результаты расчета выводятся на АЦПУ на формате А4 с нумерацией листов и обозначением документа. Автоматизация оформления расчета составляет 70%.

I.I.9. Программа адаптирована на ЕС ЭВМ и СМ ЭВМ. Язык программирования ФОРТРАН-4.

I.2. Постановка задачи расчета рам.

I.2.I. Задача расчета каркаса рамы разделяется на два этапа: расчет продольных балок; расчет поперечных и дополнительных балок.

I.2.2. На первом этапе производится расчет и выбор числа продольных балок и профиля проката для них.

I.2.3. Продольные балки рассчитываются для трех видов:

1) опирание рамы по концам ;

2) опирание рамы по центру массы блока ;

3) подъем блока.

I.2.4. Для удовлетворения условий прочности и жесткости продольных балок и рационального размещения по ширине рамы их число целесообразно принимать от 2 до 6 штук.

Увеличение числа продольных балок приводит к росту массы рамы, но позволяет уменьшить ее высоту, что иногда бывает необходимо при транспортировке.

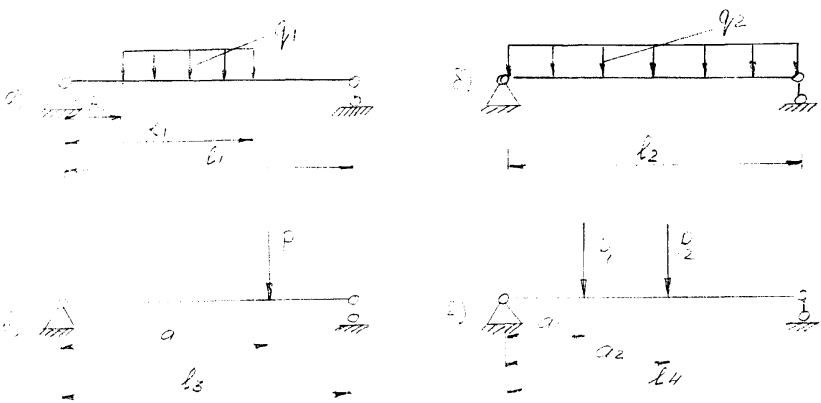
При отсутствии ограничений по высоте рамы, целесообразно использовать прокат с большими номерами, что позволяет уменьшить металлоемкость рам.

I.2.5. В основу расчета продольных балок положена статически определимая балка нагруженная комбинацией распределенных и сосредоточенных нагрузок.

1.2.6. Величины сосредоточенных нагрузок от оборудования (арматуры и т.п.), располагаемого на раме определяются исходя из массы этого оборудования и расстояний центра массы рассматриваемого оборудования от его опор.

1.2.7. Второй этап расчета каркаса рамы включает в себя расчет поперечных и дополнительных балок.

1.2.8. За расчетную схему поперечных и дополнительных балок принята статически определимая, шарнирно опертая по концам балка. Нагрузка на балку должна быть приведена к одному из следующих четырех видов. (черт. I).



Черт. I.

1.2.9. Расчетная схема балок цапф принимается по черт. Iб.

I.2.IO. Расчет труб цапф проводится по расчетной схеме черт.2: консольная труба, нагруженная сосредоточенной силой.



Черт.2.

I.2.II. Допускаемые нормальные напряжения принимаются для углеродистых и низколегированных сталей по СНИП П-26-8I.

I.2.I2. Допускаемые касательные напряжения используемые для расчета цапф принимаются равными $[\tau] = 0{,}6 \cdot [\sigma]$

I.2.I3. При расчете рамы в условиях опирания учитывается коэффициент $K_I = 1{,}2$.

$$K_I = K_Д \cdot K_В = 1{,}1 \cdot 1{,}1 = 1{,}2$$

$K_Д = 1{,}1$ – коэффициент динамичности при транспортировке или подъеме блока ;

$K_В = 1.1$ – коэффициент перегрузки.

I.2.I4. При расчете подъема учитывается коэффициент $K_2 = 1{,}6$.

$$K_2 = K_Д \cdot K_В \cdot K_С = 1{,}1 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}3 = 1{,}6 ,$$

где $K_С = 1{,}3$ – коэффициент неравномерности нагрузки стропов.

I.2.I5. Максимальный допустимый прогиб элементов рамы (продольных, поперечных и дополнительных балок) принимается равными

$$[f] = L/200$$

где L –длина рассчитываемой балки

I.2.I6. Минимальная длина стропы определяется с учетом расстояния между цапфами (ушками) и предельным допустимым углом между ветвями строп у крюка равным 90^0.

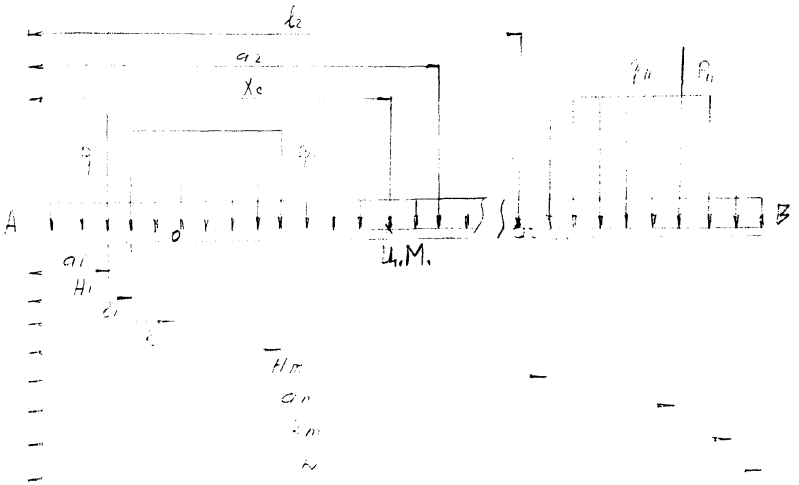
I.2.I7. При расчете рам блоков устанавливаемых в районах с сейсмичностью 7 баллов и выше, поперечные и дополнительные балки рассчитываются с учетом коэффициента сейсмичности $K_{сн}$. Значение Ксн выбирается из таблицы I.

Таблица I.

Сейсмичность в баллах	7	8	9	10
Коэффициент сейсмичности, Ксн	I,1	I,2	I,4	I,8

I.3. Расчет продольных балок рамы на прочность.

I.3.I. Схема нагрузок действующих на продольные балки представлена на черт. 3.



Черт. 3.

ℓ_1, ℓ_2 – координаты цапф (ушек) рамы;

a_I, ..., a_i, ..., a_n – координаты мест приложения сосредоточенных нагрузок P_I, P_2, ..., P_i ; (i =I,2,3, ..., n).

H_I, ..., H_j, ..., H_m – координаты начала равномерно-распределенной нагрузки интенсивности q_1, ... , q_j (j =I,2, ..., m)

K_I, ..., K_j, ... , K_m – координаты конца участков равномерно-распределенной нагрузки.

L – длина рамы (длина продольных балок).

X_c – координата центра массы блока.

$\bar{q}$ – равномерно-распределенная нагрузка действующая по всей длине рамы.

I.3.2. Координата центра тяжести блока определяется по формуле (I):

$$X_c = \frac{0{,}5L \cdot P + \sum_{i=1}^{n} P_i a_i + \sum_{j=1}^{m} 0{,}5 q_j (k_j^2 - H_j^2)}{P + \sum_{i=1}^{n} P_i + \sum_{j=1}^{m} q_j (k_j - H_j)} \qquad (I)$$

I.3.3. Координаты приложения нагрузок и расположения цапф должны отсчитываться от одной базы. За базу рекомендуется принимать любой из концов продольных балок. (А или В, черт. 3).

I.3.4. Опорные реакции при опирании рамы по концам определяются по формулам:

В точке начала координат:

$$R_A = \frac{(Pб+Pр)(L - Xc)}{L} \quad ;$$

для точки конца рамы (2)

$$R_B = \frac{(Pб + Pр) \cdot Xc}{L} \quad ,$$

где Рб - нагрузка от массы блока без рамы ;

$P_р$ - нагрузка от массы рамы блока.

I.3.5. Составляющую усилий канатов каждой из ветвей стропов определяем по формулам (3) :

$$P_I = \frac{(Pб+Pр)\ (\ell_2 - Xc)}{\ell_2 - \ell_1} \quad ; \qquad P_2 = \frac{(Pб+Pр)\ (Xc - \ell_1)}{\ell_2 - \ell_1} \qquad (3)$$

I.3.6. Координата опас-ного сечения при опирании блока в центр масс совпадает со значением Хс.

I.3.7. Координаты наиболее опасного сечения продольных балок при опирании блока по концам балок определяется исходя из условия экстремума изгибающего момента при перезывающей силе равной нулю.

Для этого продольные балки разбиваются на " Z " отрезков границами которых являются координаты: начала и конца рамы, начала и конца распределенных нагрузок, точек приложения сосредоточенных нагрузок. Далее для каждого отрезка с границами в точках X_I; X_2 вычисляются значения перерезывающих сил:

$$Q_{1Z} = R_A - \sum_{i=1}^{n} {}_{x_1 > a_i} P_i - \sum_{j=1}^{m} {}_{x_1 > H_j} q_j (x_1 - H_j) + \sum_{j=1}^{m} {}_{x_1 > K_j} q_j (x_1 - K_j) \qquad (4)$$

$$Q_{2Z} = R_A - \sum_{i=1}^{n} {}_{x_2 > a_i} P_i - \sum_{j=1}^{m} {}_{x_2 > H_j} q_j (x_2 - H_j) + \sum_{j=1}^{m} {}_{x_2 > K_j} q_j (x_2 - K_j) \qquad (5)$$

На каждом участке экстремум изгибающего момента возможен в двух случаях:

1) на границе перехода от участка к участку;

2) в произвольной точке оси балок в пределах одного участка.

При использовании ЭВМ, выбор координат экстремума на каждом участке, соответствующих первому случаю, производится путем сравнения знаков величин перерезывающих сил на границе i и $(i+1)$ участков. В случае, если знак перерезывающей силы поменяется при переходе через границу участков, значение координаты этой границы запоминается.

Во втором случае для наличия экстремума необходимо условие, что бы в пределах участка, за исключением границ, имелась бы равномерно-распределенная нагрузка

В этом случае координата экстремума определяется по формуле:

$$X_0 = \frac{R_A - \sum_{i=1}^{n} {}_{x_2 > a_i} P_i - \sum_{j=1}^{m} {}_{x_2 > K_j} q_j (K_j - H_j) + \sum_{j=1}^{m} {}_{H_j < x_2 \le K_j} q_j \cdot H_j}{\sum_{j=1}^{m} {}_{H_j < x_2 \le K_j} q_j} \qquad (6)$$

Знаки ${}_{x > a_i}$; ${}_{H_j < x_2 \le K_j}$ символическая запись, которая означает следующее: если выполняется условие стоящее под чертой, то член ряда учитывается в выражении.

1.3.8. Определение координаты наибольшего изгибающего момента (x_0) между цапфами при подъеме блока производится аналогично п.1.3.7. для двух случаев по формулам (4), (5), (6). Для этого рассматриваются только участки балок лежащие между цапфами. При

этом вместо составляющей R_A в выражениях (4), (5), (6) подставляются:

в формуле (4) $\sum_{i=1}^{n} \Big/_{x_1 > \ell_2} R_2$

в выражение (5) и (6) $\sum_{i=1}^{n} \Big/_{x_2 > \ell_2} R_2$,

I.3.9. Определение максимального изгибающего момента при установке блока на неровную площадку производится по формулам (7) и (8) для двух случаев.

При опирании по концам:

$$M' = R_A \cdot x_c - \sum_{i=1}^{n} \Big/_{x_0 > a_i} P_i (x_0 - a_i) - \sum_{j=1}^{m} \Big/_{x_0 > H_j} 0{,}5 q_j (x_0 - H_j)^2 + \sum_{j=1}^{m} \Big/_{x_0 > K_j} 0{,}5 q_j (x_0 - K_j)^2 \quad (7)$$

При опирании в центре масс блока:

$$M'' = \sum_{i=1}^{n} \Big/_{x_0 > a_i} P_i (x_c - a_i) + \sum_{j=1}^{m} \Big/_{x_0 > H_j} 0{,}5 q_j (x_c - H_j)^2 - \sum_{j=1}^{m} \Big/_{x_c > K_j} 0{,}5 q_j (x_c - K_j)^2 \quad (8)$$

I.3.I0. Расчетный момент при опирании блока на неровную площадку определяется по формуле :

$$M'_p = K_I \cdot \max \left\{ M' ; M'' \right\} \quad (9)$$

I.3.II. При строповке блока наибольший изгибающий момент может возникнуть в области цапф или в промежутке между цапфами с координатой X_0 (см. п.I.3.8.).

Величина расчетного изгибающего момента при подъеме определяется по формуле:

$$M''_p = K_2 \cdot \max \left\{ M_I ; M_2 ; M_3 \right\} \quad (I0)$$

где изгибающий момент в зоне первой цапфы определяется следующим образом:

$$M_I = \sum_{i=1}^{n} \Big/_{\ell_1 > x_i} P_i (\ell_1 - a_i) + \sum_{j=1}^{m} \Big/_{\ell_1 > H_j} 0{,}5 q_j (\ell_1 - H_j)^2 - \sum_{j=1}^{m} \Big/_{\ell_1 > K_j} 0{,}5 q_j (\ell_1 - K_j)^2 \quad (II)$$

Изгибающий момент в районе второй цапфы:

$$M_2 = -R_1 (\ell_2 - \ell_1) + \sum_{i=1}^{n} \Big/_{\ell_2 > x_i} P_i (\ell_2 - a_i) + \sum_{j=1}^{m} \Big/_{\ell_2 > H_j} 0{,}5 q_j (\ell_2 - H_j)^2 - \sum_{j=1}^{m} \Big/_{\ell_2 > K_j} 0{,}5 q_j (\ell_2 - K_j)^2 \quad (I2)$$

Наибольший изгибающий момент в промежутке между цапфами в точке с координатой Хо :

$$M_3 = R_i (x_c' - x_i) - \sum_{i=1}^{n} P_i (x_c' - c_i) - \sum_{j=1}^{m} 0{,}5 q_{lj} (x_c' - H_j)^2 + \sum_{j=1}^{m} 0{,}5 q_{rj} (x_c' - K_j) \quad (13)$$

I.3.12. При выборе продольных балок их проверка по условию прочности осуществляется по формуле :

$$\sigma = \frac{M_{max}}{n \cdot W} \leq [\sigma] \quad (14)$$

где: максимальный момент M_{max} равен:

$$M_{max} = max \left\{ M_p' ; M_p'' \right\} ;$$

n - число продольных балок ;

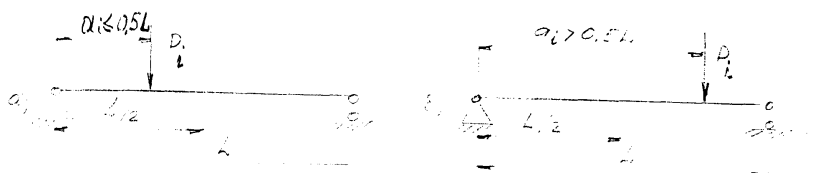
W - момент сопротивления на изгиб одной продольной балки.

I.4. Расчет жесткости продольных балок.

I.4.1. Прогиб продольных балок будет наибольшим при устойчивом равновесии рамы в случае опирания по концам. Вариант опирания рамы в центре массы является статически неустойчивым положением равновесия рамы, а величины прогибов, а также форма изогнутой линии балки идентичны опиранию рамы по концам.

I.4.2. Зона максимальных прогибов продольных балок рамы расположена в пределах $\pm 0{,}08 \cdot L$ относительно середины балки.

I.4.3. Сосредоточенная сила может располагаться по длине продольных балок в соответствии с черт. 4.



Черт. 4.

Для сосредоточенных сил прогиб балок определяется по формуле:

$$f_P = \sum_{i=1}^{n} \frac{P_i L^3}{E J_E} \cdot F_{Pi} \quad (15)$$

где: E - модуль Юнга первого рода; для сталей в расчете принимаются равными $E = 2 \cdot 10^5$ МПа

J_Σ - суммарный момент инерции основных продольных балок каркаса рамы;

F_P - грузовой коэффициент, зависящий от координаты приложения сосредоточенных сил. Получается на основе интеграла Мора для изгиба.

Для сил приложенных в соответствии с черт. 4а :

$$F_{Pi} = \frac{1}{16}\left(\frac{a_i}{L}\right) - \frac{1}{12}\left(\frac{a_i}{L}\right)^3 ; \qquad (16)$$

для расчетной схемы черт. 4б. :

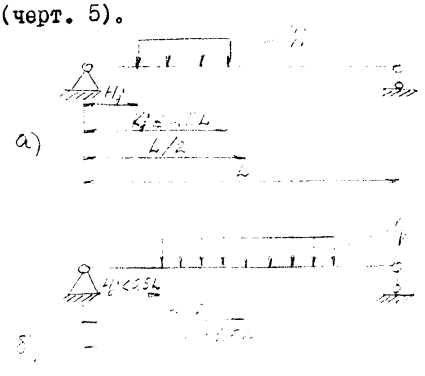
$$F_{Pi} = \frac{1}{16}\left(1 - \frac{a_i}{L}\right) - \frac{1}{12}\left(1 - \frac{a_i}{L}\right)^3 \qquad (17)$$

1.4.4. Для случая приложения распределенных нагрузок прогиб рамы определяется по формуле (18) :

$$f_q = \sum_{j=1}^{m} \frac{q_{ki} \cdot L^4}{E \cdot J_\Sigma} \cdot F_{qj} \qquad (18)$$

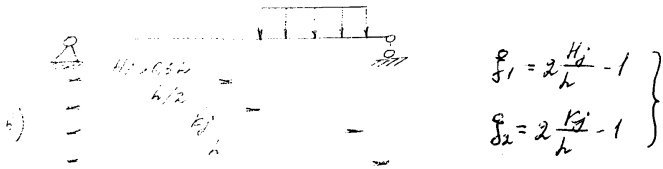
где F_q - грузовой коэффициент, аналогичный F_P и который зависит от координат начала и конца распределенной нагрузки.

Возможны следующие случаи приложения распределенных нагрузок (черт. 5).



$$\left.\begin{aligned} \xi_1 &= 1 - 2\frac{H_d}{L} \\ \xi_2 &= 1 - 2\frac{r_d}{L} \end{aligned}\right\}$$

$$\left.\begin{aligned} \xi_1 &= 1 - 2\frac{H_d}{L} \\ \xi_2 &= 2\frac{r_d}{L} - 1 \end{aligned}\right\}$$



$$\left.\begin{aligned} \xi_1 &= 2\frac{K_i}{\lambda} - 1 \\ \xi_2 &= 2\frac{K_2}{\lambda} - 1 \end{aligned}\right\}$$

Черт. 5.

Значения коэффициентов F_{qj} определяются по формулам :

$$F_{qj} = \frac{1}{768}\left[8(\xi_1 - \xi_2) - 4(\xi_1^3 - \xi_2^3) + (\xi_1^4 - \xi_2^4)\right] \text{ (для черт. 5а)} \qquad (19)$$

$$F_{qj} = \frac{1}{768}\left[8(\xi_1 + \xi_2) - 4(\xi_1^3 + \xi_2^3) + (\xi_1^4 + \xi_2^4)\right] \text{ (для черт. 5б)} \qquad (20)$$

$$F_{qj} = \frac{1}{768}\left[8(\xi_1 - \xi_2) - 4(\xi_1^3 - \xi_2^3) + (\xi_1^4 - \xi_2^4)\right] \text{ (для черт. 5в)} \qquad (21)$$

I.4.5. Условие жесткости продольных балок имеет вид:

$$f_p + f_q \leq [f] = \frac{L}{200} \qquad (22)$$

I.5. Расчет на прочность поперечных и дополнительных балок.

I.5.I. Поперечные балки в общем случае могут состоять из нескольких соединенных по длине балок и при расчете на прочность рассматриваются, как шарнирно опёртые по концам.

I.5.2. Для поперечных балок могут использоваться следующие профили: двутавр, швеллер, неравнополочный уголок.

I.5.3. Поперечные балки рассчитываются на следующие виды нагрузок: при подъеме блока и при гидроиспытании. При установке блока в районах с сейсмичностью 7, 8, 9, 10 баллов учитывается так же сейсмическая нагрузка.

1.5.4. При расчете на прочность расчетный изгибающий момент определяется по формуле :

$$M_p^п = max \left\{ M_{ст.}; M_{ги}; M_{сн} \right\} \quad (23)$$

где: $M_{ст.} = M_{max} \cdot K_д$ – расчетный момент при подъеме;

M_{max} – максимальный момент от нагрузок, приложенных на балку;

$K_д = 1{,}1$ – коэффициент динамичности;

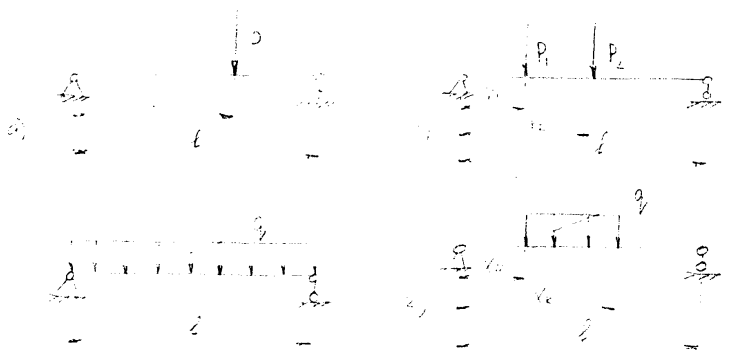
$M_{г.и.}$ – расчетный момент от нагрузок на балку при гидроиспытании; $M_{ги} = M^{ги}_{max}$.

$M_{сн}$ – расчетный момент при сейсмических перегрузках в рабочих условиях.

$$M_{сн} = M_{max} \cdot K_{сн}$$

$K_{сн}$ – коэффициент сейсмичности приведен в таблице 1.

1.5.5. Расчет изгибающих моментов в сечениях поперечной балки построен для наиболее часто встречающихся случаев нагружения (черт. 6).



Черт. 6.

I.5.6. В случае нагрузки отличной от указанных схем черт.6 она монет быть приведена к одной из показанных на черт. 6. При необходимости расчет может быть проведен по аналогии с расчетом продольных балок для случая опирания балки по концам (подразделы I.3, I.4).

I.5.7. При расчете поперечных балок должны удовлетворяться условия прочности:

$$\sigma = \frac{M_{\rho}^{n}}{W_{\Sigma}^{n}} \leq [\sigma] \leq 210 \text{ МПа} \qquad (24)$$

W_{Σ}^{n} – суммарный момент сопротивления при изгибе поперечной балки.

I.5.8. В соответствии со схемой нагрузки (черт. 6) значения расчетных моментов определяются по следующим формулам:

$$M_{max} = \frac{P_1 (\ell - x)}{\ell} \cdot x \quad \text{(для черт. 6а)}$$

$$M_{max} = \left\{ \left| M_I \right| ; \left| M_2 \right| \right\} \quad \text{(для черт. 6б)} \qquad (25)$$

$$M_I = \frac{P_1 (\ell - x_1) + P_2 (\ell - x_2)}{\ell} \cdot x_1 \qquad (26)$$

$$M_2 = \frac{P_1 (\ell - x_1) + P_2 (\ell - x_2)}{\ell} \cdot x_2 - P_1 (x_2 - x_1)$$

$$M_{max} = \frac{q \cdot \ell^2}{8} \quad \text{(для черт. 6в)} \qquad (27)$$

где: ℓ – длина рассчитываемой поперечной балки (может состоять из нескольких балок) ;

для схемы черт. 6г. максимальный момент имеет место в сечении с координатой:

$$x_{max} = \frac{R_A + q x_H}{q}$$

$$M_{max} = R_A \cdot x_{max} - \frac{q (x_{max} - x_H)^2}{2} \qquad (28)$$

где: $R_A = \frac{q (x_K - x_H) \cdot 0.5 \cdot (2\ell - x_H - x_K)}{\ell}$

1.6. Расчет жесткости поперечных и дополнительных балок

1.6.1. При расчете на жесткочть поперечных и дополнительных балок должно выполняться условие:

$$f \leq [f] = 0{,}005 \qquad (29)$$

где: f - прогиб поперечной связи от действующих нагрузок.

1.6.2. Прогиб балок от действующих нагрузок определяется по формуле :

$$f = \max\{f_{ст}; f_{гн}; f_{сн}\} \qquad (30)$$

где: $f_{ст}$ - прогиб при подъеме ;

$f_{гн}$ - прогиб при гидроиспытании;

$f_{сн}$ - прогиб при сейсмических воздействиях.

1.6.3. Определение прогибов для трех названных условий осуществляется с учетом повышения величин расчетных нагрузок умножением на коэффициенты:

для подъема блока - на $K_д$=1,1 ;

для сейсмических воздействий - на $K_{сн}$ (табл.1)

1.6.4. Значения прогибов для схем нагрузок черт. 6 определяются по формулам:

$$f = \frac{p \cdot l^3}{E \cdot J} \cdot F_p \qquad \text{(для черт. 6а)} \qquad (31)$$

$$f = \frac{p_1 \cdot l^3}{E \cdot J} \cdot F_{p1} + \frac{p_2 l^3}{E J} F_{p2} \qquad \text{(для черт.6б)} \qquad (32)$$

$$f = \frac{0{,}013 \cdot q l^4}{E J} \qquad \text{(для черт. 6в)} \qquad (33)$$

$$f = \frac{q \cdot l^4}{E \cdot J} F_q \qquad \text{(для черт. 6г)} \qquad (34)$$

Значения коэффициентов F_p , F_{p1} ,F_{p2} вычисляются по формулам (16) или (17) в зависимости от координат приложения нагрузок.

Значение коэффициента F_q определяется по одной из формул : (19), (20) и (21) в зависимости от координат начала и конца приложения распределенной нагрузки.

I.7. Расчет на прочность цапф.

I.7.1. В рамах могут использоваться неподвижные и подвижные (выдвижные) цапфы.

I.7.2. Расчетная схема цапф приведена на черт. 7.

Нагрузка на цапфу $P_ц$ определяется по формуле:

$$P_ц = \frac{Pб + Pр}{4 \sin \alpha} \cdot K_2 \qquad (35)$$



Черт. 7.

где: Рб - вес блока ; Рр - вес рамы.

$\alpha = 45^0$ предельный, минимальный допустимый угол между продольной балкой и ветвью стропы.

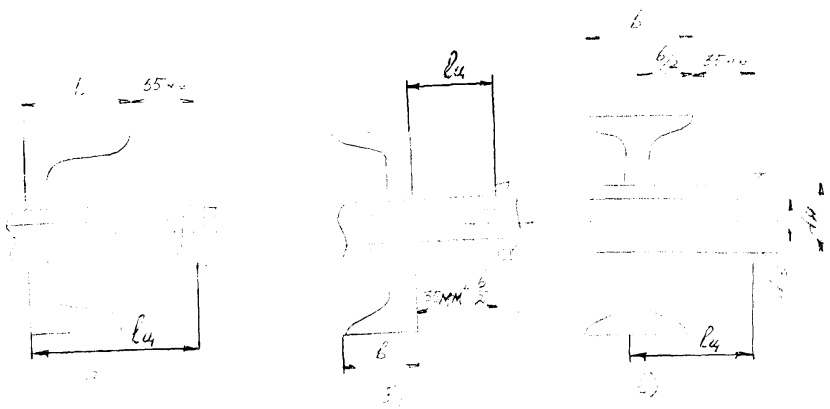
I.7.3. При расчете цапф должно выполняться условие прочности:

$$\frac{M_ц}{W_ц} = \sigma_ц \leq [\sigma_ц] \leq 200 \text{ МПа} \qquad (36)$$

I.7.4. Расчетный момент $M_ц$ определяется по формуле:

$$M_ц = P_ц \cdot l_ц \ ; \qquad (37)$$

где: $l_ц$ -определяется в соответствии с черт. 8.



Черт. 8

I.7.5. Момент сопротивления трубы на изгиб определяется по формуле (черт.8):

$$W = \frac{\pi d_н^3}{32}\left[1 - \left(\frac{d_в}{d_н}\right)^4\right] \qquad (38)$$

I.7.6. При использовании ушек расчет на прочность не производится, а тип ушек выбирается в соответствии с их грузоподъемностью.

I.7.7. Трубы цапф при расчете на прочность проверяются по уровню касательных напряжений:

$$\tau = \frac{1{,}7 \cdot P_ц \left(d_н^2 + d_н \cdot d_в + d_в^2\right)}{\left(d_н^4 - d_в^4\right)} \le [\tau] \qquad (39)$$

2. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ

2.I. Программа расчета на прочность и жесткость рам состоит из управляющей программы РАМС и I9 подпрограмм.

2.2. В программе предусмотрены два вида расчетов: проекти -

ровочный и поверочный.

Параметры вида расчета задаются раздельно для цапф и продольных (поперечных) балок, что позволяет проводить смешанный расчет рамы.

2.3. В программе предусмотрены три вида оптимизации:

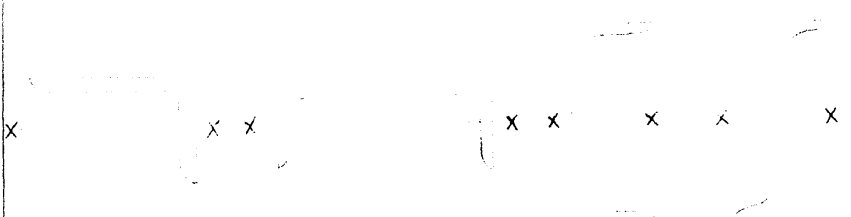
1) оптимизация по типу профиля поперечных и дополнительных балок ;

2) оптимизация по металлоемкости продольных балок рамы;

3) оптимизация с целью получения минимальной высоты рамы

2.3.1. Первый вид оптимизации служит для подбора поперечных (дополнительных) балок наименьшей массы для размещения оборудования. Используются следующие виды профилей: швеллер, двутавр и неравнополочный уголок.

Ориентация профилей по отношению к вертикально действующей нагрузке показана на черт. 9.



Черт. 9.

2.3.2. Второй вид оптимизации служит для подбора продольных балок рамы с целью получения минимальной массы рамы.

2.3.3. Третий вид оптимизации введен для случая ограничения высоты рамы ввиду ограничения габаритов блока в целом при перевозке транспортом.

2.4. Результаты работы программы печатаются на АЦПУ (алфавитно-цифровом печатающем устройстве) на листах формата А4. Печать включает в себя вывод входной информации, результатов расчета продольных, поперечных балок, цапф или подбор ушек.

2.5. Перечень выводимых на АЦПУ параметров дан в обязательном приложении I.

2.6. В результатах расчета приводится также характеристика блока в целом, включая в себя координаты цапф (ушек), центра массы, массу блока, массу рамы, величину наибольшего расчетного момента и габариты рамы.

2.7. Программа расчета рам адаптирована на ЭВМ следующих типов: ЕС ЭВМ система ОСЕС версия 4.1. и выше; ЭВМ серии СМ, в среде ОСРВ версия 2.1. и выше; объем оперативной памяти на ЕС ЭВС не более 110 Кбайт; на СМ ЭВМ не более 60 Кбайт.

2.8. Алгоритм программы расчета рам и пояснения к нему приведены в обязательном приложении 2.

3. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ

3.1. Рама представляет собой сварную опорную конструкцию, предназначенную для транспортировки, монтажа и эксплуатации блока.

3.2. Рамы служат для размещения и окончательной фиксации в заводских условиях взаимного расположения оборудования, обслуживающих площадок, арматуры, обвязочных трубопроводов, приборов и средств автоматизации, входящих в состав блока.

3.3. Рамы предназначаются для повышения уровня заводской готовности оборудования.

3.4. Рамы выполняются из двутавров, швеллеров, уголков, труб, листа и содержат строповые устройства в виде цапф или несущих ушек.

3.5. Рамы должны проектироваться в соответствии с требованиями настоящего руководящего документа и ОСТ 26-02-758-79.

3.6. Несущая часть рамы должна выполняться из двутавров, швеллеров, уголков; цапфы для строповки и ушки - из труб и листовой стали. См.черт.10.

3.7. Материал деталей рамы и требования к нему в зависимости от средней температуры самой холодной пятидневки должны выбираться в соответствии с ОСТ 26-02-758-79.

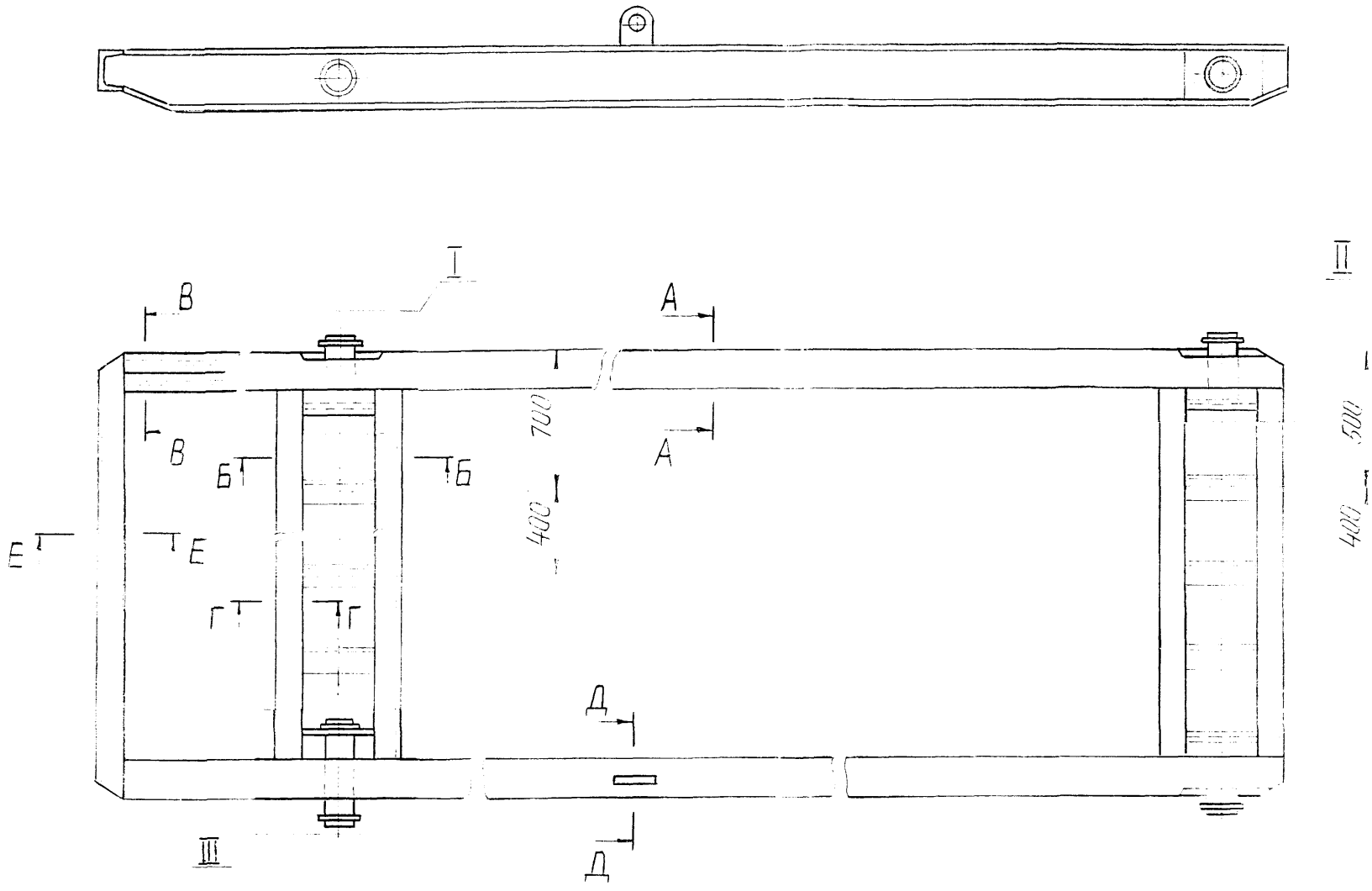
3.8. Габариты рамы должны быть кратными модулю 200. Дополнительные связи, вводимые для удобства расположения элементов оборудования, могут иметь длину, выбираемую конструктивно.

3.9. Рамы могут выполняться без утеплителя и с утеплителем. Нижнее основание утепленной рамы должно быть обшито стальным листом толщиной 2 мм.

3.10. В качестве продольных балок должны применяться двутавры и швеллера или их комбинации.

3.11. Поперечные балки цапф должны выполняться из швеллеров. Поперечные промежуточные и дополнительные связи должны выполняться из двутавров, швеллеров и уголков.

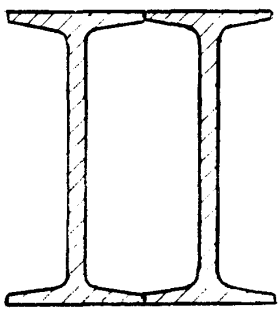
3.12. Выбор проката должен осуществляться на основании расчета на прочность и жесткость в соответствии с разделом I.



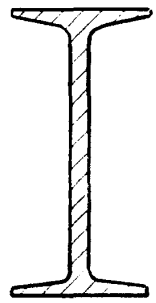
Черт. IO

А - А повёрнуто

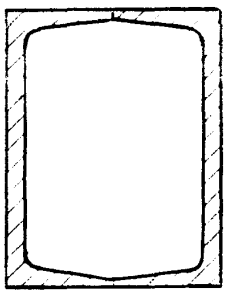
Исполнение 1



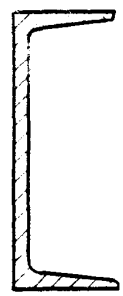
Исполнение 2



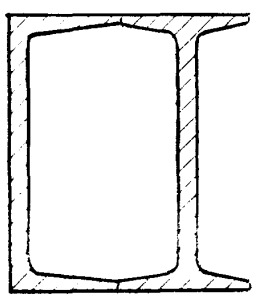
Исполнение 3



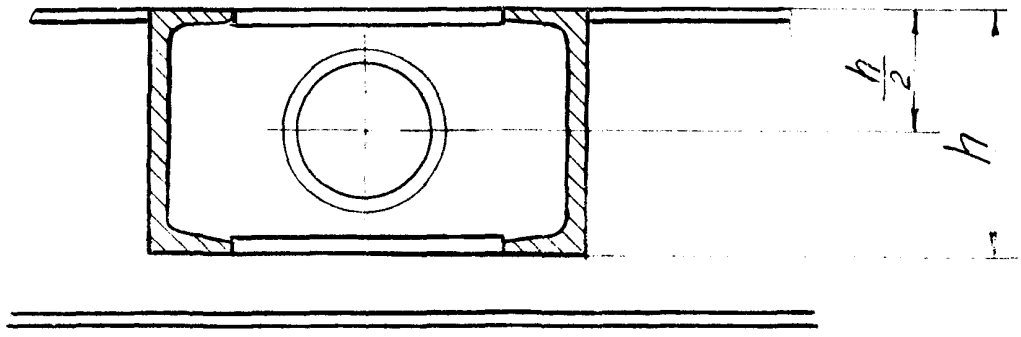
Исполнение 4



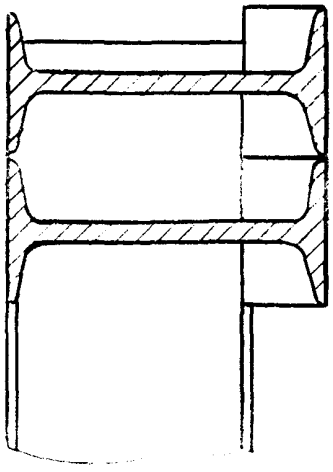
Исполнение 5



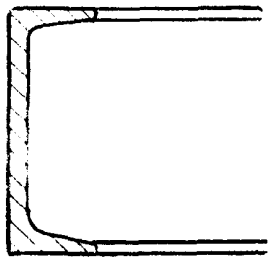
Б-Б



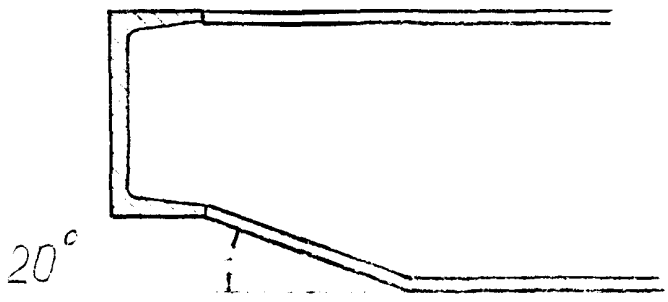
В-В



Г-Г

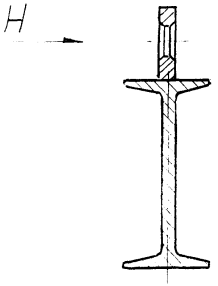


Е-Е

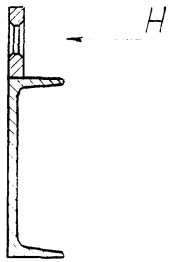


Д–Д повернуто

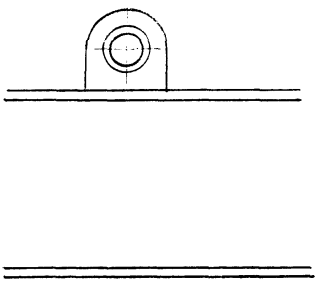
Исполнение 2



Исполнение 4

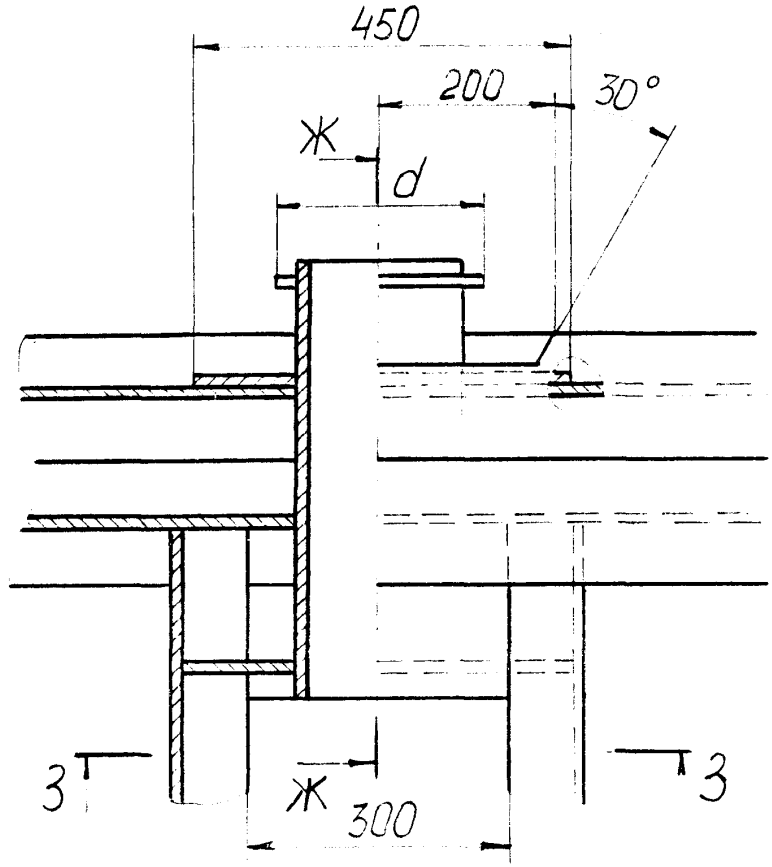


Вид Н

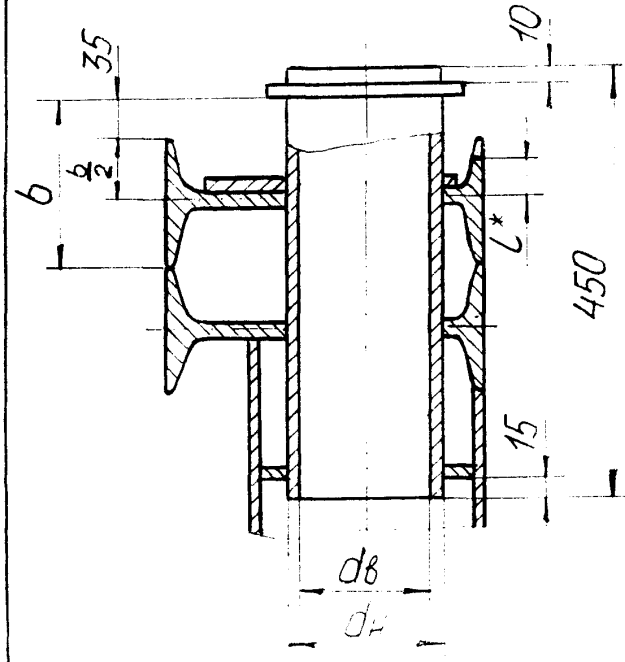


I

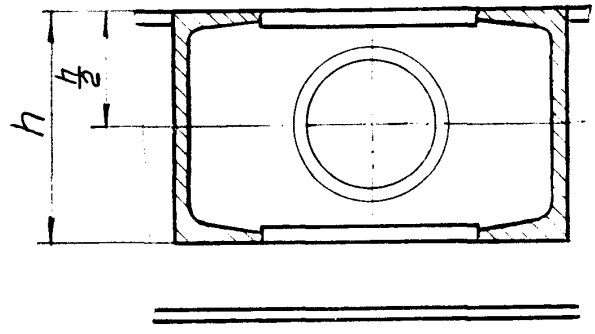
Исполнение 1



Ж-Ж

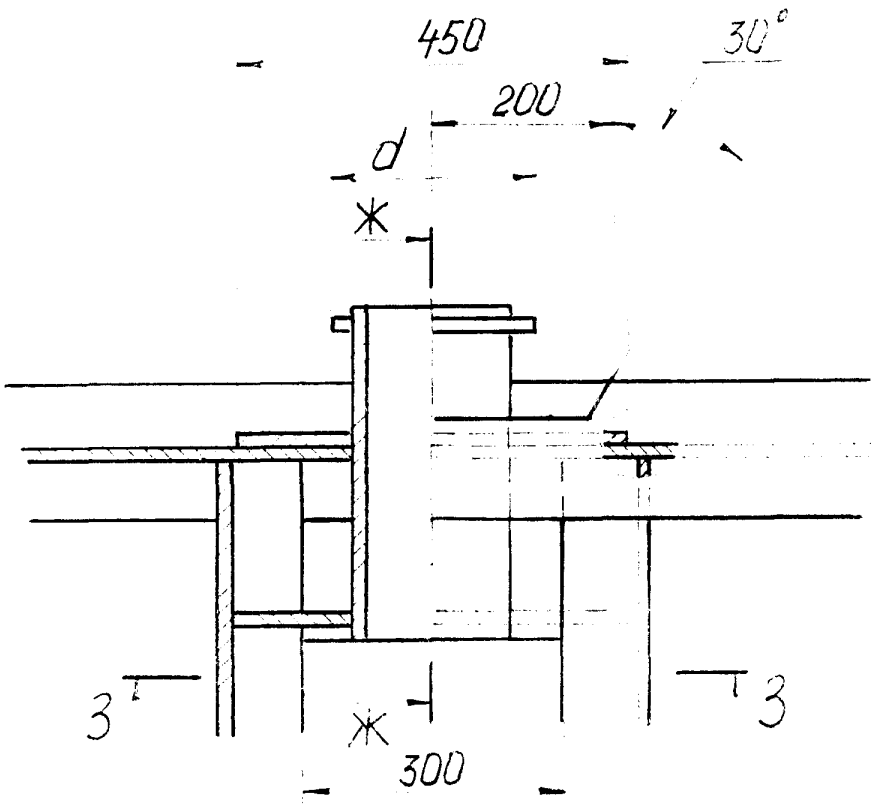


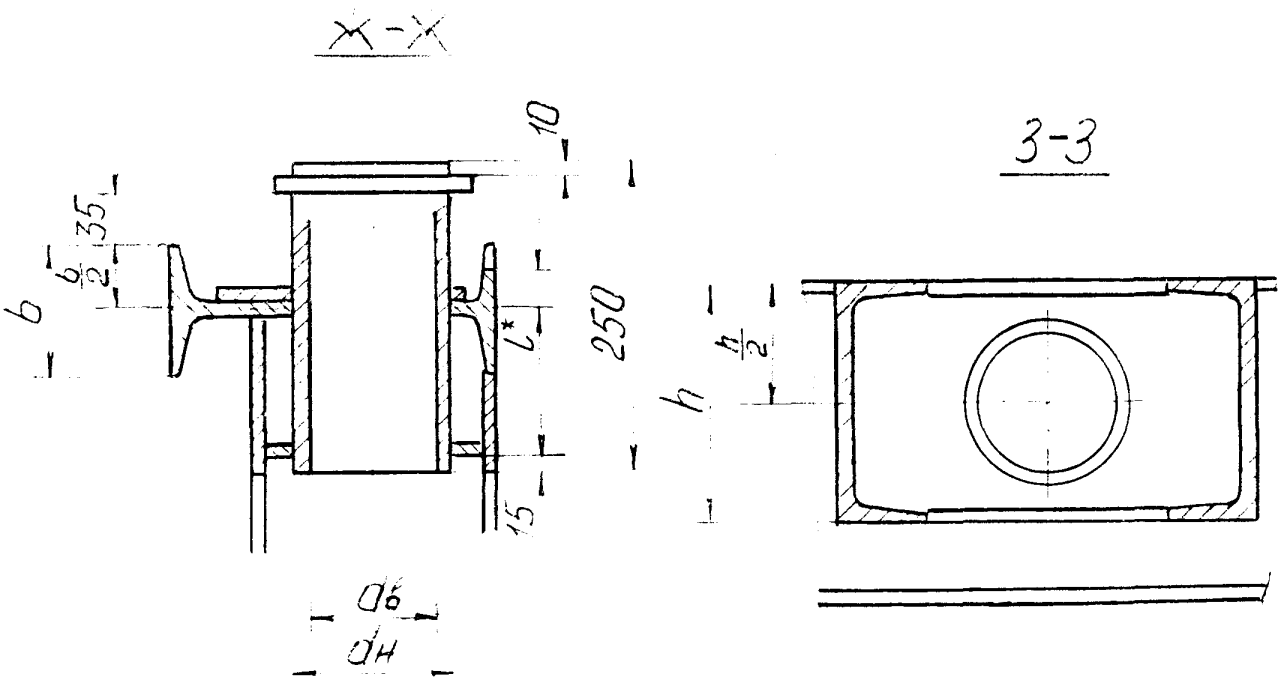
3-3



I

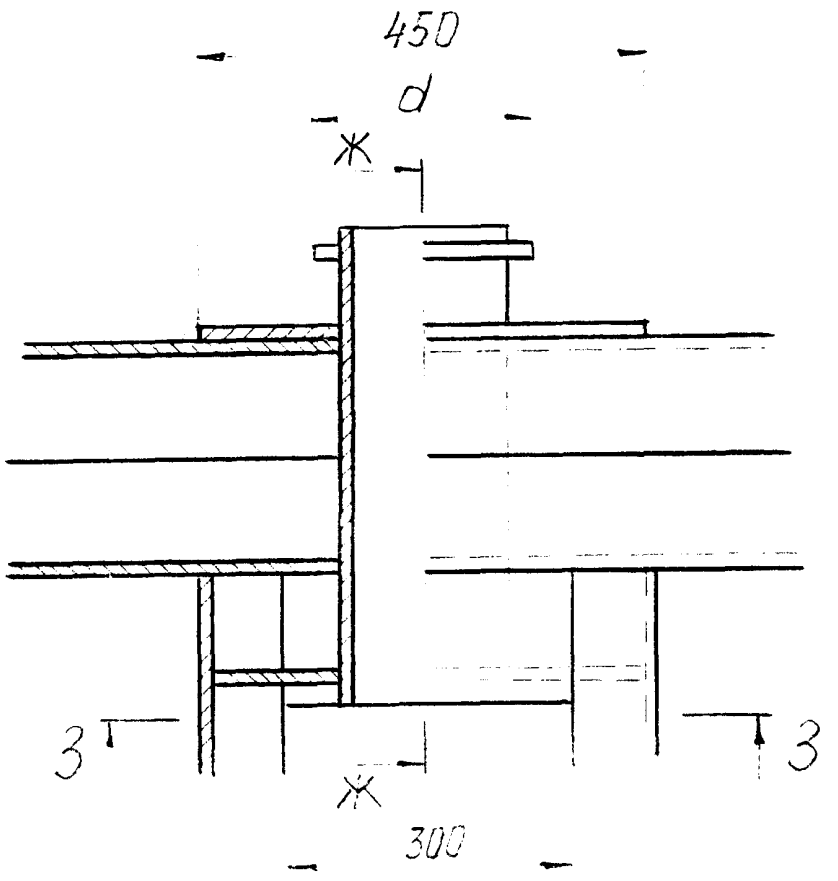
Исполнение 2



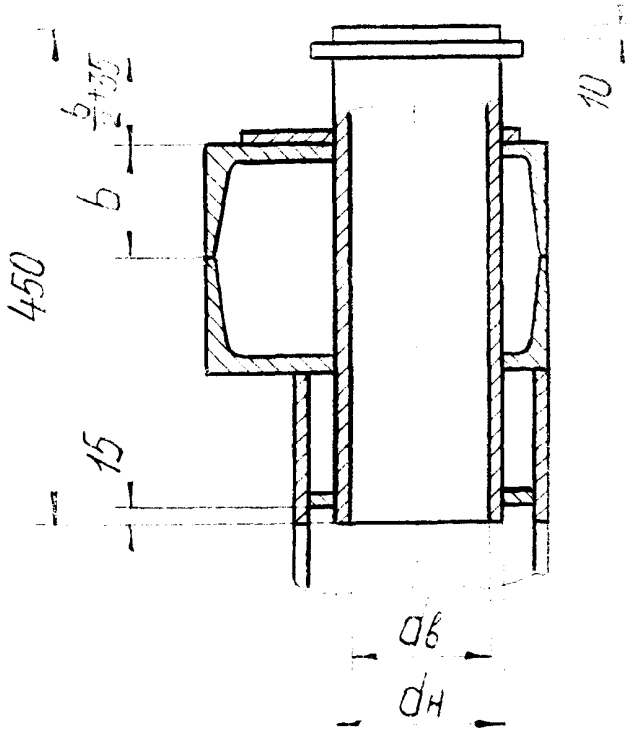


I

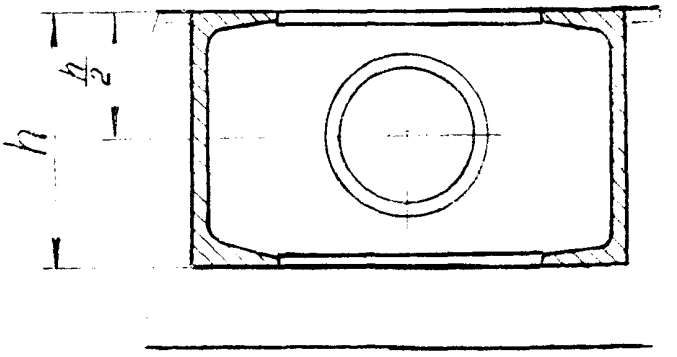
Исполнение 3



Ж-Ж

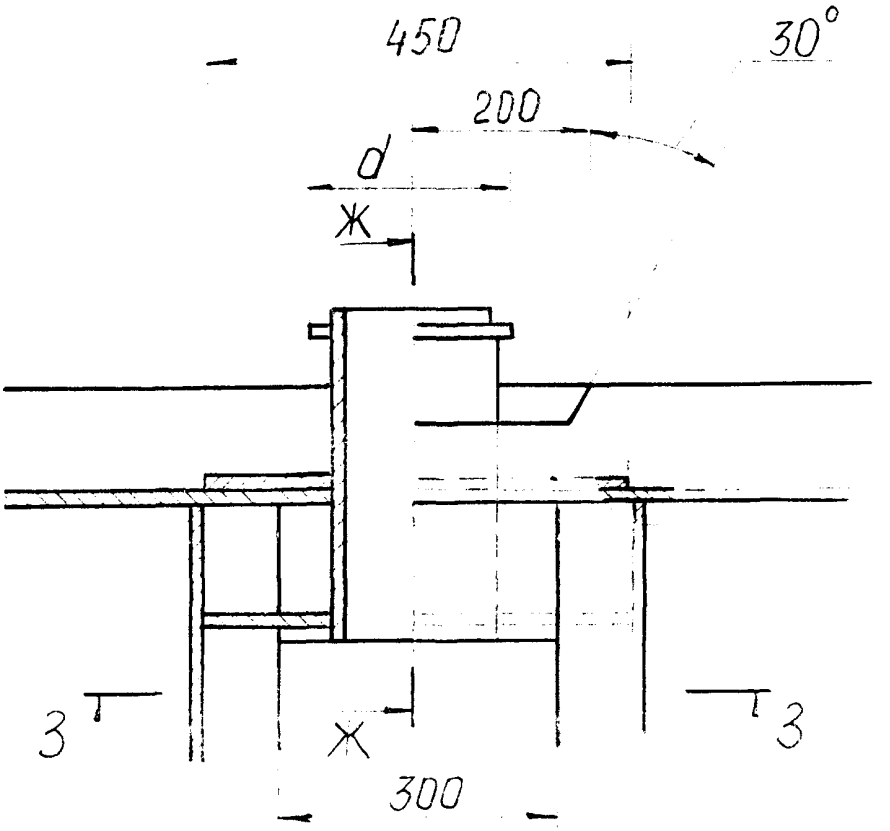


3-3

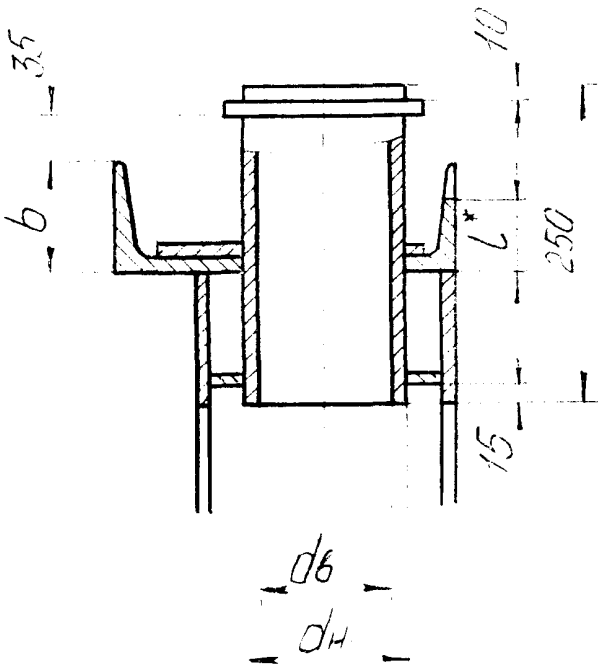


I

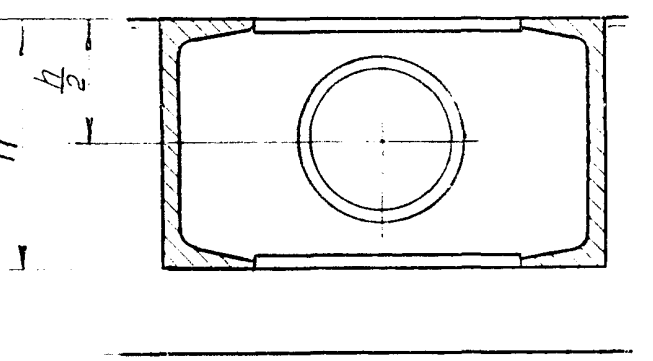
Исполнение 4



Ж-Ж

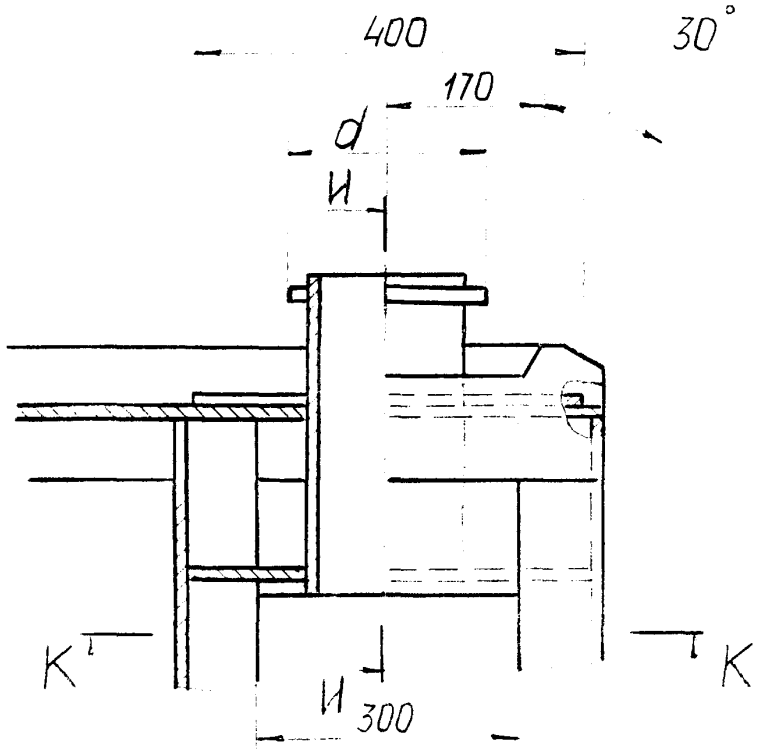


3-3

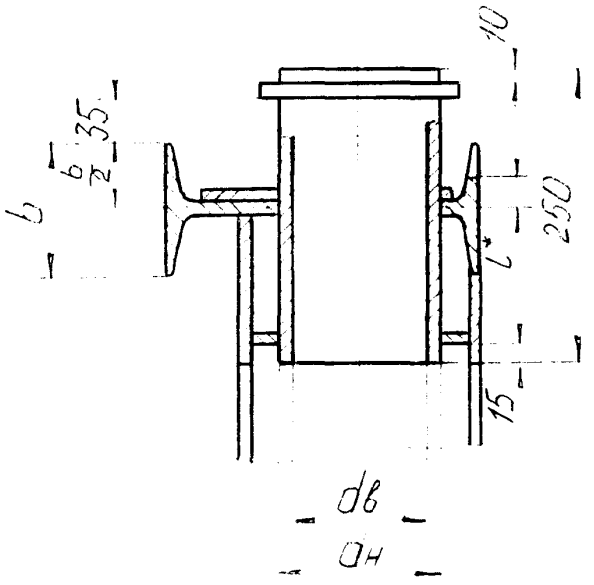


II

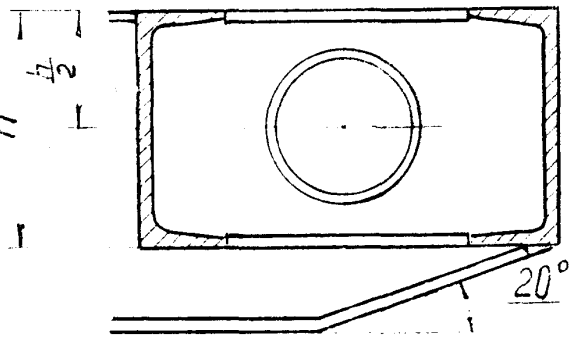
Исполнение 2



И-И

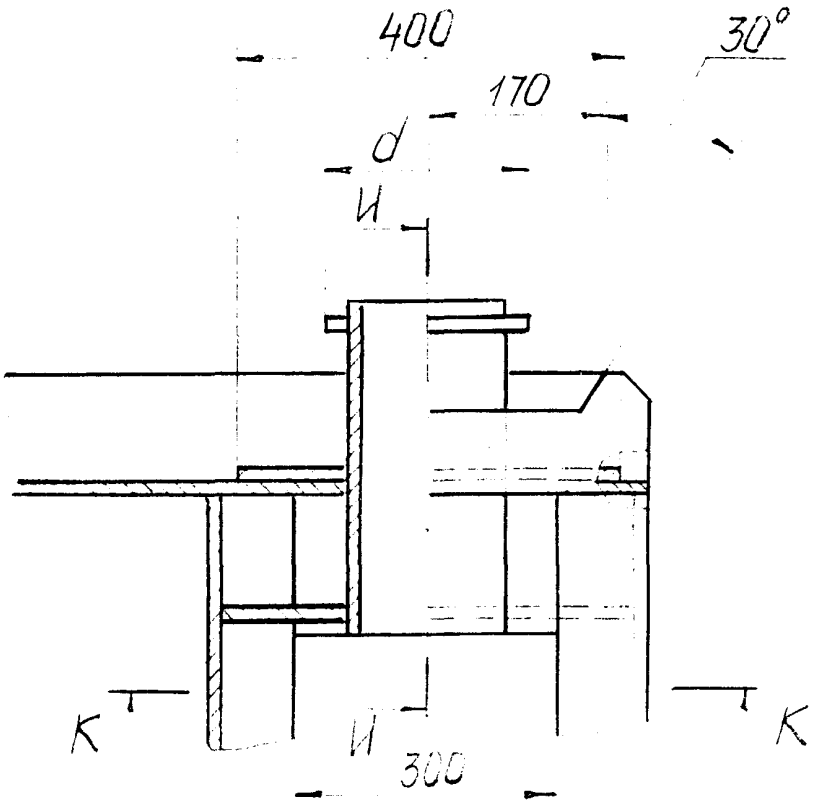


К-К

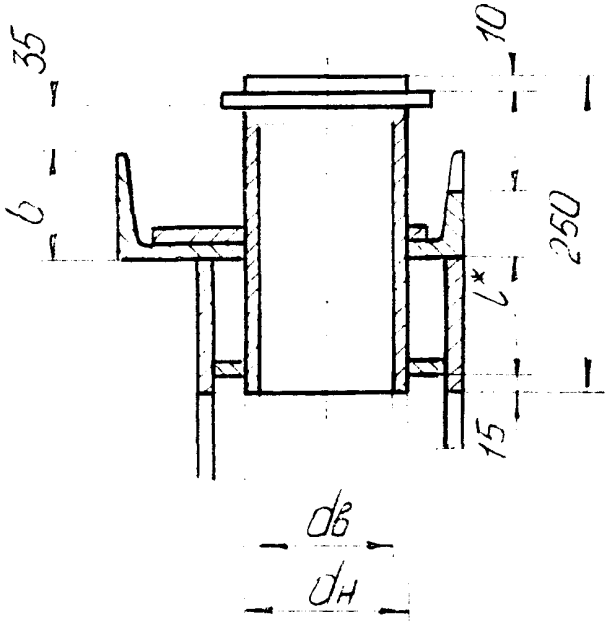


II

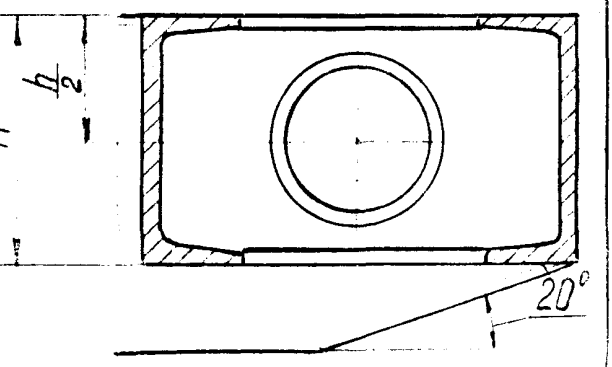
Исполнение 4



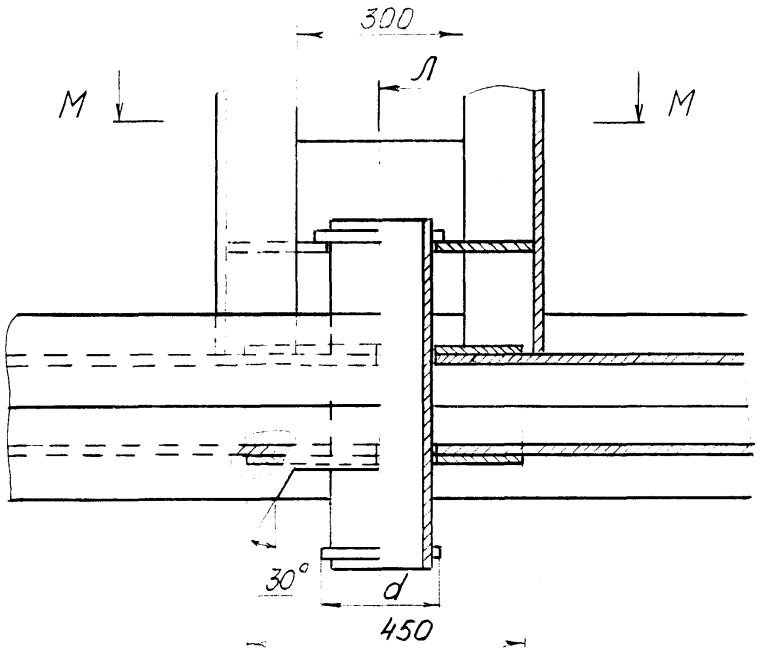
И-И



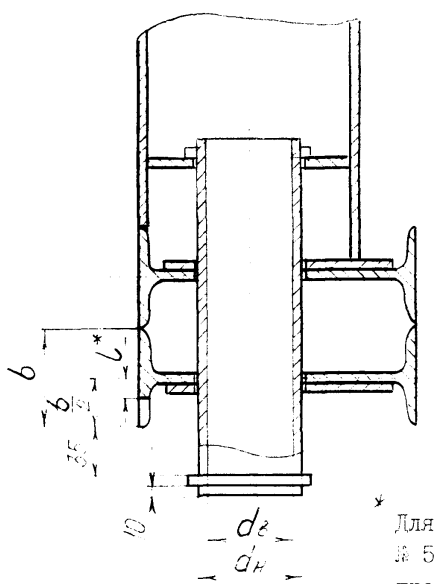
К-К



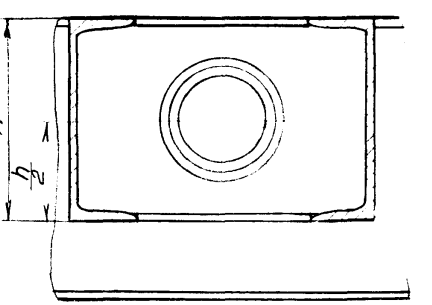
Исполнение 1



Л-Л



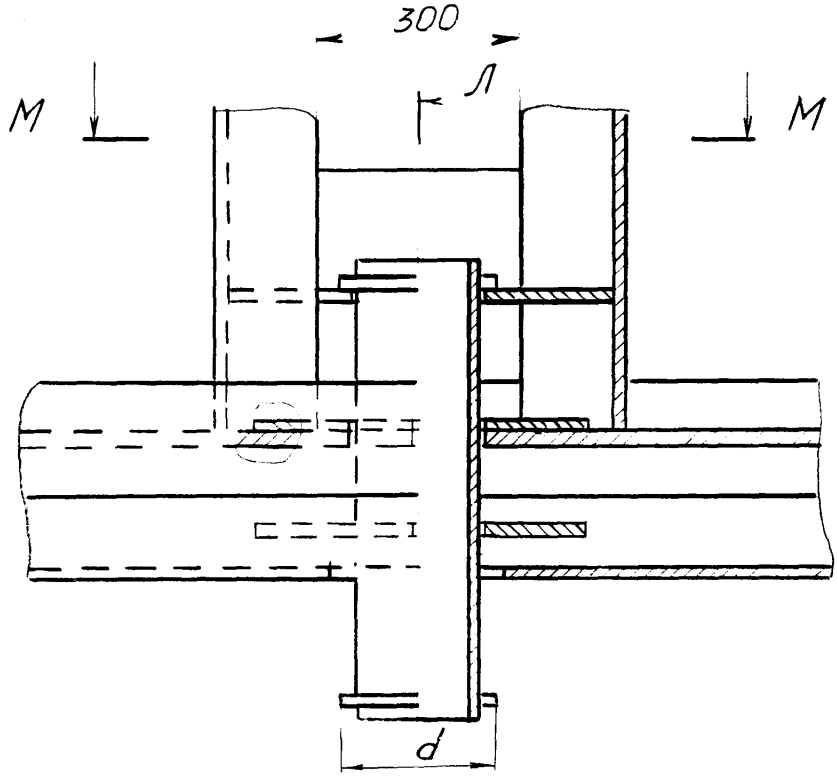
М-М



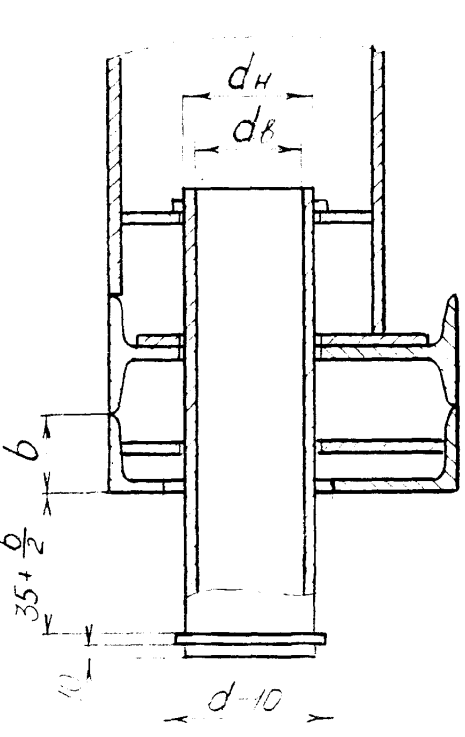
* Для двутавров № 10,12,14 и швеллеров № 5,8,10 l = 25мм., для остальных профилей l = 30мм.

III

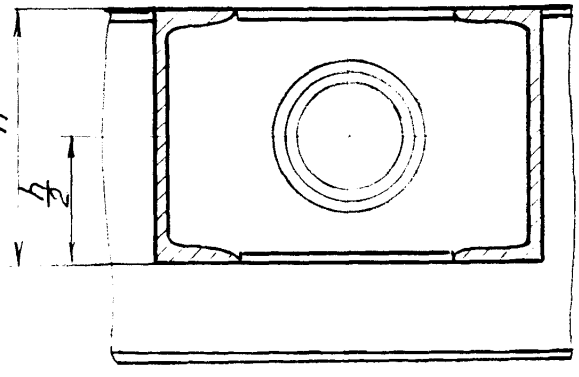
Исполнение 5



Л – Л



М – М



3.I3. При проектировании рамы необходимо использовать профили согласно справочного приложения 3. Табл.I-4.

3.I4. С целью расположения оборудования на раме без дополнительных накладок поперечные и дополнительные связи могут быть выполнены из неравнополочных уголков и швеллеров, установленных по отношению к действующей нагрузке, плоскостью минимальной жесткости (плашмя) см.черт.9.

3.I5. В местах обслуживания верхнего основания рамы должен быть предусмотрен настил из просечновытяжного листа ПВ-506 ГОСТ 8706-78. Для утепленной рамы все верхнее основание должно быть покрыто листом. При необходимости лист должен быть подкреплен снизу ребрами жесткости. Места установки ребер жесткости выбираются конструктивно.

3.I6. Рама не предназначена для транспортировки блока волоком. Перемещение блока допускается только за цапфы в пределах монтажа площадки, на которой устанавливается данный блок.

3.I7. Цапфы для строповки блоков рекомендуется располагать симметрично по отношению к центру масс блока, как в продольном, так и в поперечном направлении. Разность расстояний от обоих цапф до центра масс блока в продольном направлении не должна превышать 400 мм.

Смещение центра масс блока в поперечном направлении относительно середины ширины рамы не должно превышать I00 мм.

3.I8. Расстояние между цапфами предпочтительно выбирать в диапазоне $(0,5\text{-}0,7)L$, где L - длина рамы. Для рам длиной до 6 м допускается цапфы располагать по концам рамы. См.черт.I0, выносной элемент П, исполнения 2 и 4.

3.I9. Приварка цапф к балкам различного профиля приведена на чертеже I0, выносной элемент I, исполнения I-4.

3.20. Для блоков с массой до I500 кг, допускается использовать ушки по ГОСТ I3716-73. Черт.I0, сечение Д-Д.

3.2I. В случае монтажа блок-боксов из двух или нескольких отдельных рам с целью установки вплотную друг к другу предусматриваются подвижные цапфы. Черт.I0, выносной элемент Ш, исполнения I и 5.

3.22. При подготовке основания под раму блока должно быть учтено удельное давление от массы блока, указанное в расчете рамы в разделе "Характеристика блока".

3.23. Пример расчета и конструкции рамы даны в справочном приложении 4, типовые исполнения отдельных узлов даны на черт.I0.

Главный инженер Ю.А.Кащицкий

Зав.отделом стандартизации А.Ю.Пролесковский

Зав.отделом № I2 Н.В.Родионов

Главный конструктор проекта отдела № I2 В.С.Сергеев

Ведущий конструктор отдела № 8 М.И.Байбакова

Исполнители:

Конструктор II категории отдела № 8 А.М.Путяжская

Конструктор III категории отдела № 8 О.Ф.Боева

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Обязательное

ПЕРЕЧЕНЬ ВЫВОДИМЫХ НА АЦПУ ПАРАМЕТРОВ РАСЧЕТА

I. Характеристика блока в целом
координата центра масс блока, м
координата расположения левой цапфы, м
координата расположения правой цапфы, м
максимальный расчетный момент, Н·м
нагрузка от веса рамы, Н
нагрузка от веса блока без рамы, Н

2. Результаты расчета швеллеров цапф
допускаемое напряжение материала, МПа
номер швеллера
площадь сечения швеллера, $м^2$
момент инерции швеллера, $м^4$
момент сопротивления швеллера, $м^3$
длина швеллера, м
количество швеллеров, шт
максимальный изгибающий момент, Н·м
расчетное напряжение в швеллере цапф, МПа
допускаемый прогиб, мм
расчетный прогиб, мм

3. Результаты расчета цапф
нагрузка от веса блока, Н
коэффициент строповки (К2)
допускаемое напряжение материала цапф, МПа
расчетное напряжение, МПа
изгибающий момент, Н·м
плечо изгибающего момента, мм
труба:
наружный диаметр трубы, мм
толщина трубы, мм

момент сопротивления сечения трубы, $м^3$
диаметр бурта цапфы, мм
расстояние между осью трубы и верхом рамы, мм
расчетное касательное напряжение, МПа

4. Результаты расчета продольных балок
допускаемое напряжение материала, МПа
расчетное напряжение материала, МПа
допускаемый прогиб, мм
расчетный прогиб, мм
количество продольных балок, шт
характеристики продольной балки:
номер профиля (швеллера или двутавра)
площадь сечения профиля, $м^2$
момент инерции профиля, $м^4$
момент сопротивления профиля, $м^3$
момент инерции продольных балок, $м^4$
момент сопротивления продольных балок, $м^3$

4.1. Условия опирания:
опирание по концам
реакция на левом краю, Н
реакция на правом краю, Н
максимальный момент, Н·м
координата опасного сечения, м

4.2. Опирание в центре масс блока
максимальный момент, Н·м

4.3. Условия строповки
вертикальная составляющая усилий на левой цапфе, Н
вертикальная составляющая усилий на правой цапфе, Н
момент у левой цапфы, Н·м
момент у правой цапфы, Н·м
максимальный момент между цапфами, Н·м
координата опасного сечения между цапфами, м

допускаемое касательное напряжение , МПа
длина стропы не менее, м

5. Результаты расчета поперечных балок

допускаемое напряжение, МПа

вид нагрузки

величина нагрузки, Н

координата нагрузки, м

номер профиля

площадь поперечного сечения профиля, $м^2$

момент инерции профиля, $м^4$

момент сопротивления профиля, $м^4$

длина поперечной балки, м

количество поперечных балок, шт

максимальный изгибающий момент, Н·м

напряжение в балке, МПа

прогиб балки, мм

допускаемый прогиб, мм

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Обязательное

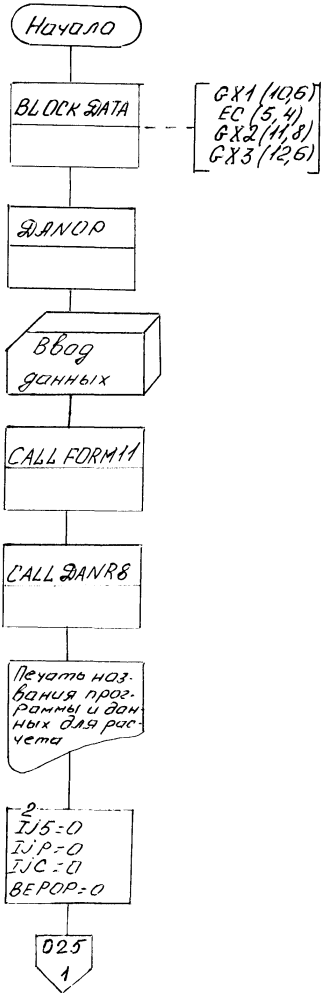
Принятые обозначения к алгоритму программы расчета рам

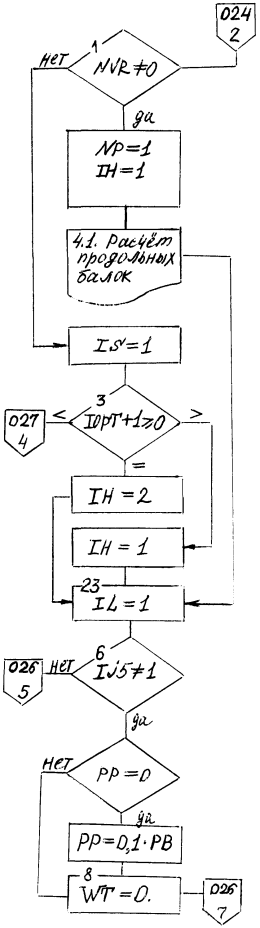
G_V1(10,6) – массив характеристик уголков. Табл.I приложение 2
EC(5,4) – массив характеристик труб для цапф. Табл.4, приложение 2
GX2(11,8) – массив характеристик швеллеров. Табл.2 приложение 2
GX3(12,6) – массив характеристик двутавров. Табл.3 приложение 2
IJ5 – счетчик используется при расчете массы рамы
IJP – счетчик используется при расчете массы поперечных балок
IJC – счетчик используется при печати
BEPOP – нагрузка от веса поперечных балок, Н
NVR – вид расчета рамы
NP – количество продольных балок, шт.
IL, IH – начальный и конечный параметры цикла при выборе оптимальной продольной балки
IS=1, то расчет производится для продольного двутавра
IS=2, то расчет производится для продольного швеллера по оси X
IOPT – параметры оптимизации
PP – нагрузка от веса рамы блока, Н
WT – табличный момент сопротивления продольного двутавра или продольного швеллера, $м^3$
UO – суммарный момент инерции продольных балок, $м^4$
WS – суммарный момент сопротивления продольных балок, $м^3$
L – длина рамы, м
Q4 – распределенная нагрузка от веса рамы, Н/м
KT – порядковый номер продольной балки в таблице
BR – высота продольной балки, м
BS – ширина продольной балки, м
FT – площадь поперечного сечения продольной балки, $м^2$
UP – момент инерции продольной балки, $м^4$
PPR – нагрузка от веса продольных балок, Н
IQ – количество равномерно распределенных нагрузок

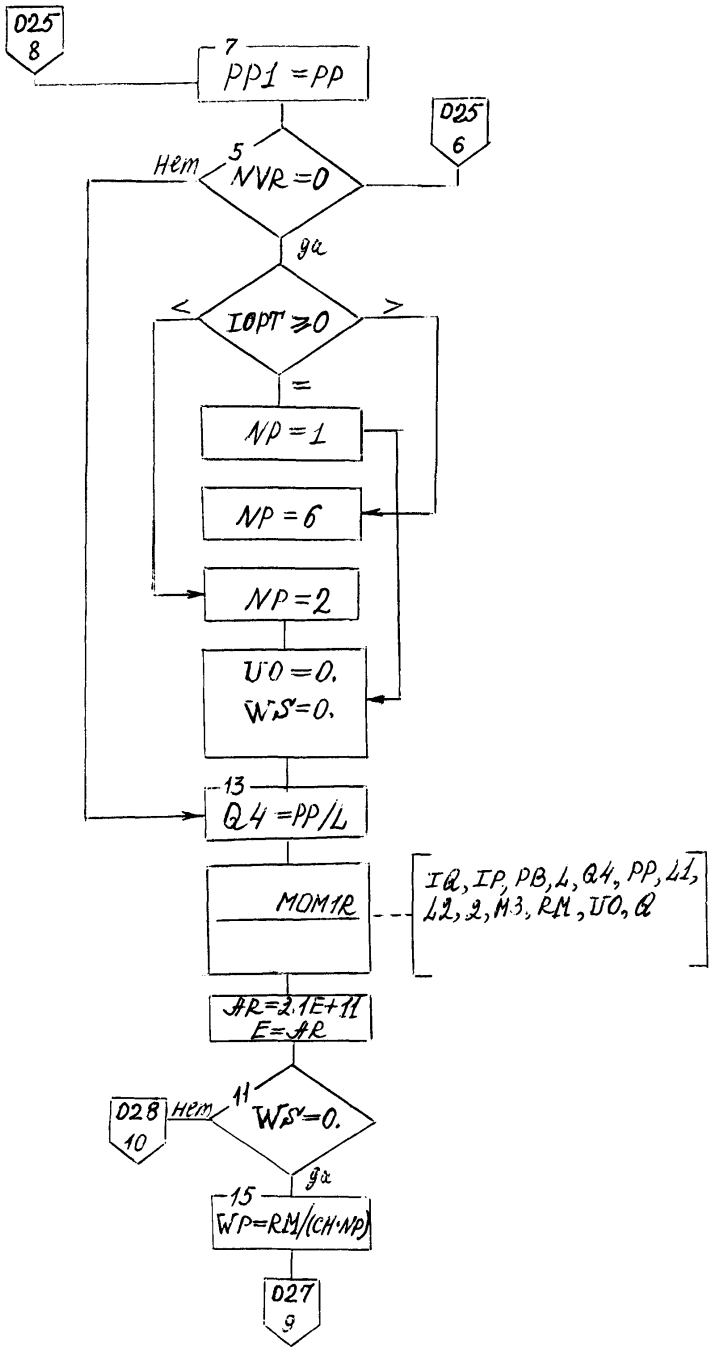
Ip - количество сосредоточенных нагрузок
PB - нагрузка от веса блока без рамы, Н
L1 - координата левой цапфы, м
L2 - координата правой цапфы, м
M3 - множество, состоящее из координат сосредоточенных нагрузок, координат равномерно распределенных нагрузок, координат цапф
RM - максимальный расчетный изгибающий момент рамы при расчете на прочность, Н·м
Q - интенсивность равномерно-распределенной нагрузки от веса рамы и неучтенного оборудования, Н/м
E - модуль продольной упругости, $Н/м^2$
CH - допускаемое напряжение продольной балки, $Н/м^2$
Cp - расчетное напряжение продольной балки, $Н/м^2$
F - расчетный прогиб продольной балки, м
Fp - допускаемый прогиб, м
PR(1) - координата центра массы блока, м
PR(2) - реакция на левом краю, при опирании рамы по концам, Н
PR(3) - реакция на правом краю, при опирании рамы по концам, Н
PR(4) - максимальный изгибающий момент при опирании рамы по концам, Н·м
PR(5) - максимальный изгибающий момент при опирании в центре тяжести блока, Н·м
PR(6), PR(7) - вертикальные составляющие усилий на левой цапфе, на правой цапфе, Н
PR(8) - расчетный момент при установке блока на неровную площадку, Н·м
PR(9) - максимальный изгибающий момент рамы в месте установки правой стропы, Н·м
PR(10) - максимальный изгибающий момент в раме между стропами, Н·м
PR(11) - координата опасного сечения при опирании рамы по концам, м
PR(12) - координата опасного сечения, расположенного между стропами, м
PpM - нагрузка от веса продольных двутавров или продольных швеллеров, Н

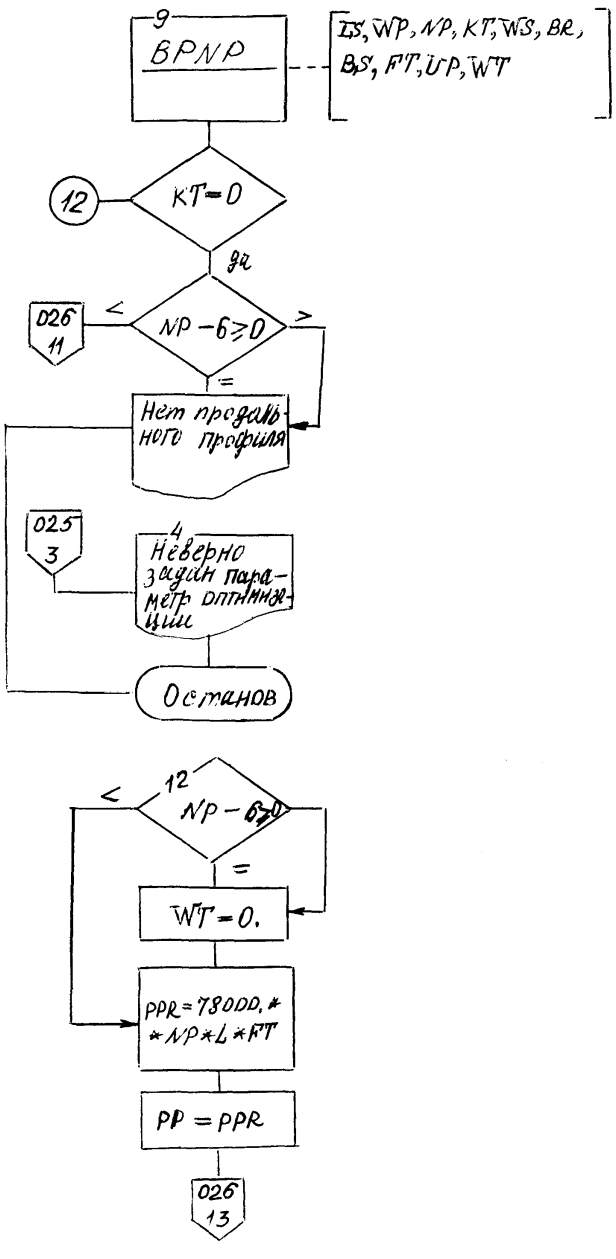
BN – высота швеллера цапф, м
IBC – вид расчета цапф
KHI – порядковый номер продольного двутавра или продольного швеллера, подобранного для случая, когда высота швеллера больше высоты продольной балки
GC – допускаемое напряжение цапф, МН/м^2 (МПа)
GT – расчетное напряжение цапф, МН/м^2 (МПа)
CTp – изгибающий момент цапф, Н·м
DY – плечо изгибающего момента, м
TX – наружный диаметр трубы, м
TL – толщина трубы, м
WC – момент сопротивления сечения трубы, м^3
KC – порядковый номер трубы, выбранной по таблице в случае проектировочного расчета
TV – расчетное касательное напряжение, МН/м^2 (МПа)
AG – допускаемое касательное напряжение, МН/м^2 (МПа)
LCT – длина стропы, м
DB – внутренний диаметр цапфы, м
DH – наружный диаметр цапфы, м
Iрор – количество поперечных связей
CX – допускаемое напряжение поперечной балки, МН/м^2 (МПа)
IopTM – параметр оптимизации по типу профиля
LH – ширина рамы, м
PO – нагрузка от веса блока с рамой, Н
KD – порядковый номер швеллера для цапф, выбранный из таблицы 2 приложения 2
GY – допускаемое напряжение швеллера цапф, МН/м^2 (МПа)
YM – максимальный изгибающий момент цапфовой поперечной балки, Н·м
GZ – расчетное напряжение в швеллере цапф, МН/м^2 (МПа)
FA – допускаемый прогиб, м
FX – расчетный прогиб, м
LD – длина цапфовой поперечной балки, м
PZ – нагрузка от веса швеллера цапф, Н

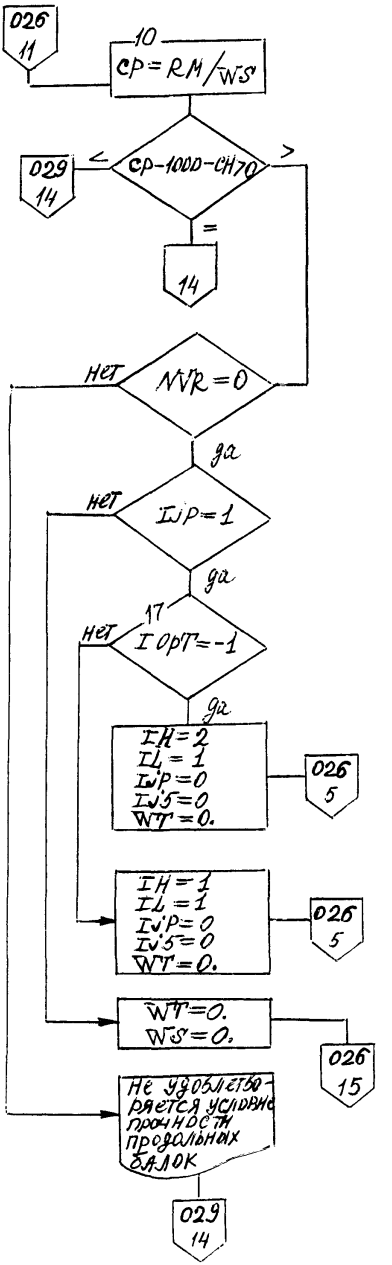
Алгоритм программы расчета рам на прочность и жесткость

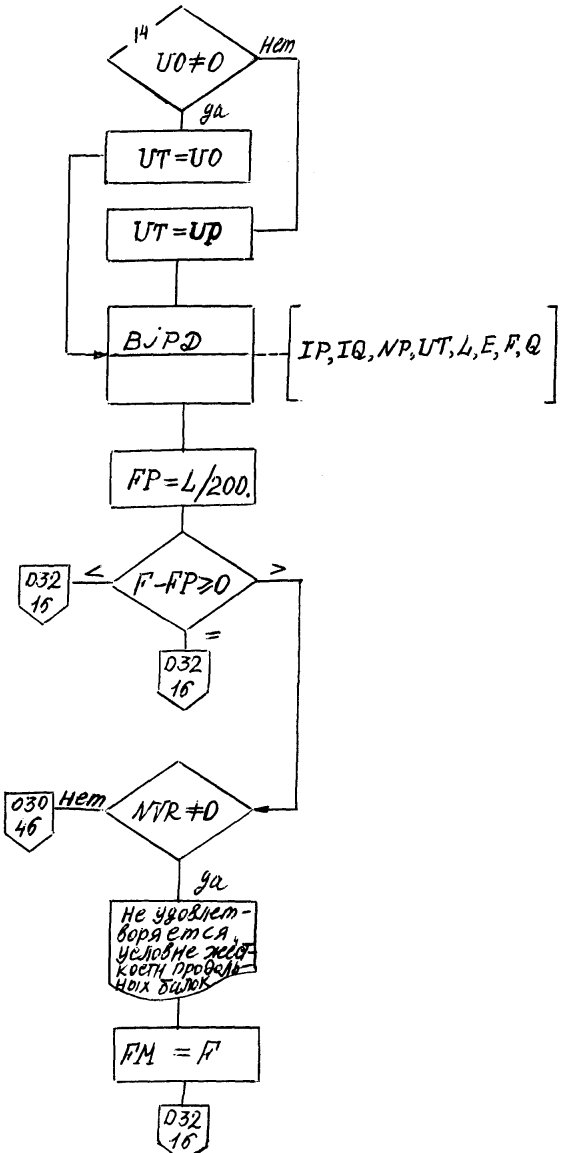


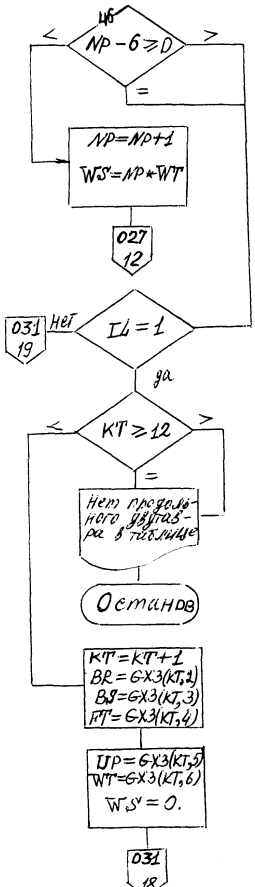

024
2
1
NVR≠0
нет
да
NP=1
IH=1
4.1. Расчёт продольных балок
IS'=1
3
IDPT+1≥0
<
027
4
>
=
IH=2
IH=1
23
IL=1
6
IJ5≠1
026
5
нет
да
PP=0
нет
да
PP=0,1·PB
8
WT=0.
026
7

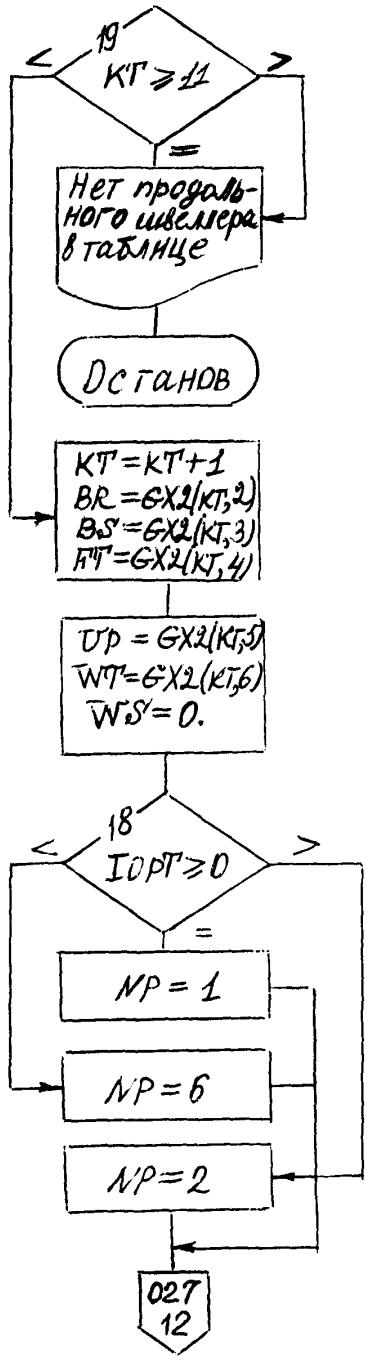

025
8
7
PP1 =PP
025
6
5
NVR =0
Нет
да
IOPT ≥0
<
>
=
NP =1
NP =6
NP =2
UO =0.
WS =0.
13
Q4 =PP/L
MOM1R
IQ, IP, PB, L, Q4, PP, L1, L2, 2, M3, RM, UO, Q
AR=2.1E+11
E=AR
11
WS =0.
028
10
Нет
да
15
WP=RM/(CH·NP)
027
9

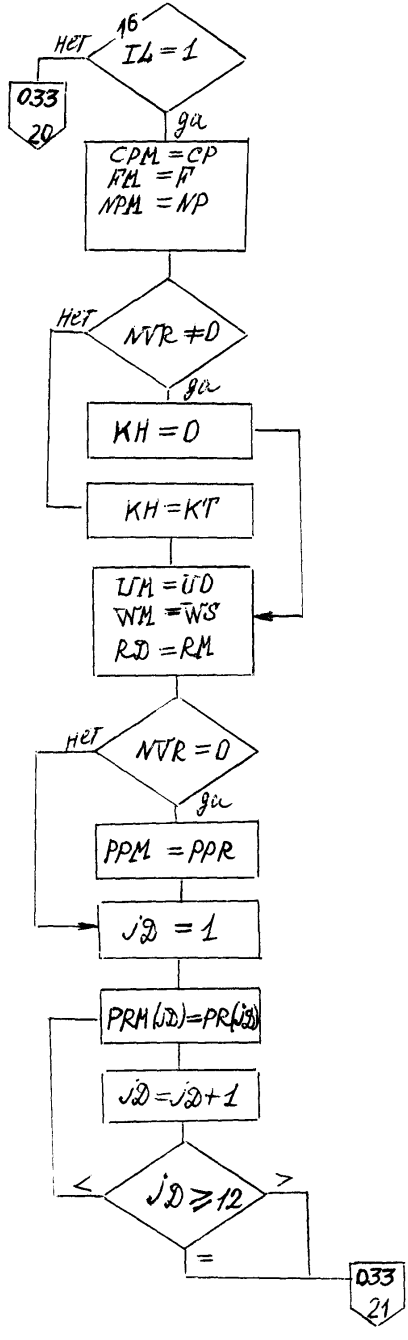

9
BPNP
LS, WP, NP, KT, WS, BR, BS, FT, UP, WT
12
KT=0
да
026 11
NP-6≥0
<
>
=
Нет профильного профиля
025 3
4
Неверно задан параметр оптимизации
Останов
12
NP-6≥0
<
=
WT=0.
PPR=78000.*NP*L*FT
PP=PPR
026 13

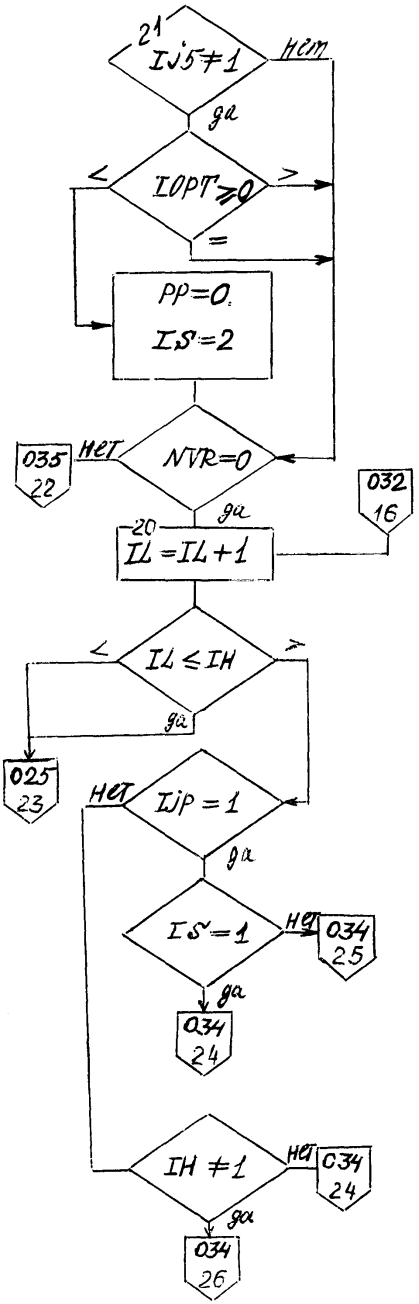

026
11
10
CP = RM / WS
029
14
<
CP-1000-CH70
>
=
14
НЕТ
NVR = 0
да
НЕТ
IJP = 1
да
17
НЕТ
IOPT = -1
да
IH = 2
IL = 1
IJP = 0
IJS = 0
WT = 0.
026
5
IH = 1
IL = 1
IJP = 0
IJS = 0
WT = 0.
026
5
WT = 0.
WS = 0.
026
15
Не удовлетворяется условие прочности продольных балок
029
14

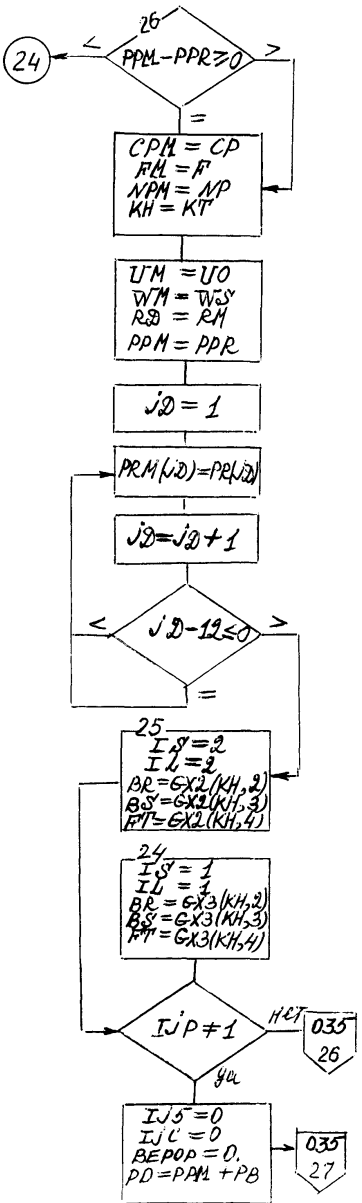

14
UO≠0
Нет
да
UT=UO
UT=UP
BJPD
IP, IQ, NP, UT, L, E, F, Q
FP=L/200.
032 16
<
F-FP≥0
>
=
032 16
030 46
Нет
NTR≠0
да
Не удовлетворяется условие жесткости продольных балок
FM = F
032 16

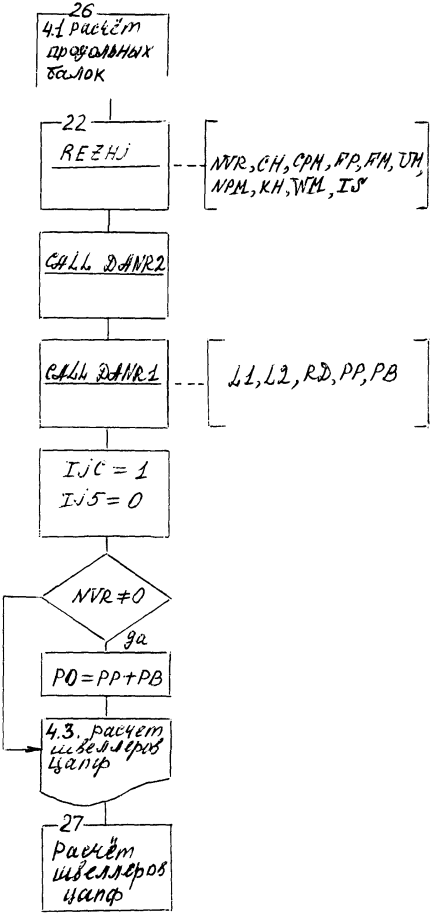

46
NP - 6 ≥ 0
<
>
=
NP = NP + 1
WS = NP * WT
027
12
031
19
нет
LI = 1
да
KT ≥ 12
<
>
=
Нет продолжения задания в таблице
Останов
KT = KT + 1
BR = GX3(KT,2)
BS = GX3(KT,3)
FT = GX3(KT,4)
UP = GX3(KT,5)
WT = GX3(KT,6)
WS = 0.
031
18

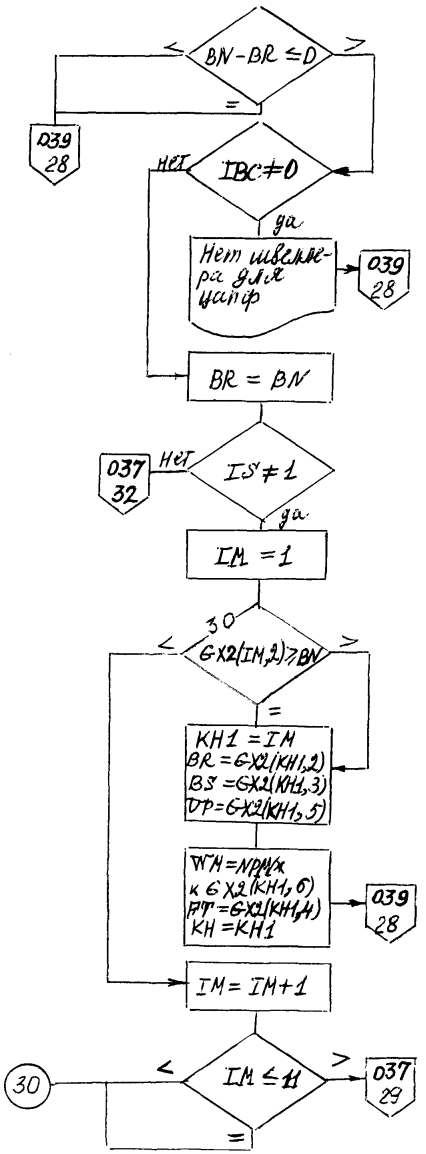

19
KT ≥ 11
<
>
=
Нет продольного швеллера в таблице
Останов
KT = KT + 1
BR = GX2(KT,2)
BS = GX2(KT,3)
HT = GX2(KT,4)
UP = GX2(KT,5)
WT = GX2(KT,6)
WS = 0.
18
IOPT ≥ 0
<
>
=
NP = 1
NP = 6
NP = 2
027
12

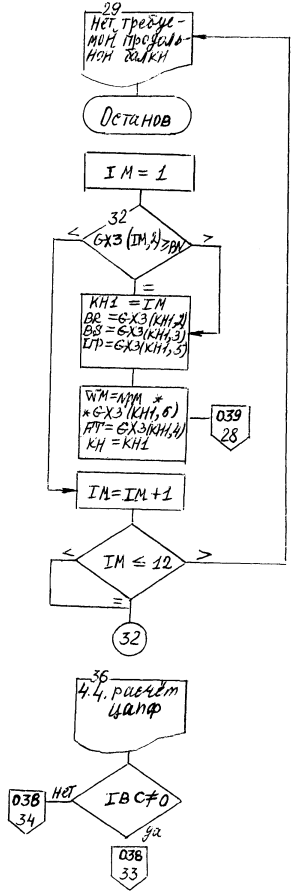

16
IL = 1
нет
да
033
20
CPM = CP
FM = F
NPM = NP
NVR ≠ 0
нет
да
KH = 0
KH = KT
UM = UD
WM = WS
RD = RM
NVR = 0
нет
да
PPM = PPR
JD = 1
PRM(JD) = PR(JD)
JD = JD + 1
JD ≥ 12
<
>
=
033
21

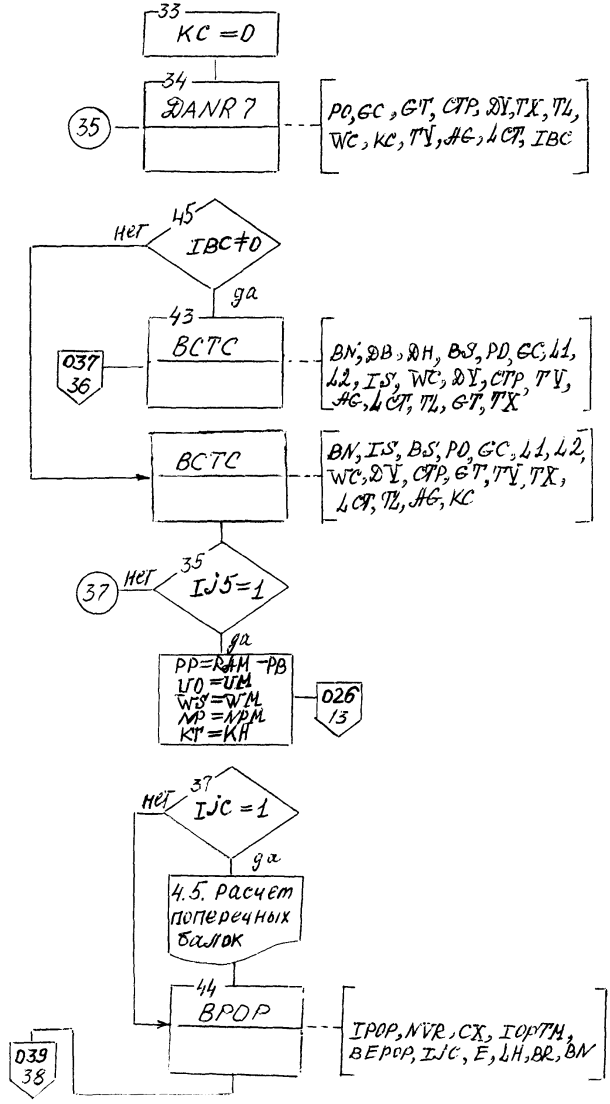

21
IJ5≠1
нет
да
IOPT≥0
<
>
=
PP=0
IS=2
035
22
нет
NVR=0
032
16
да
20
IL=IL+1
IL≤IH
>
<
да
025
23
нет
IJP=1
да
IS=1
нет
034
25
да
034
24
IH≠1
нет
034
24
да
034
26

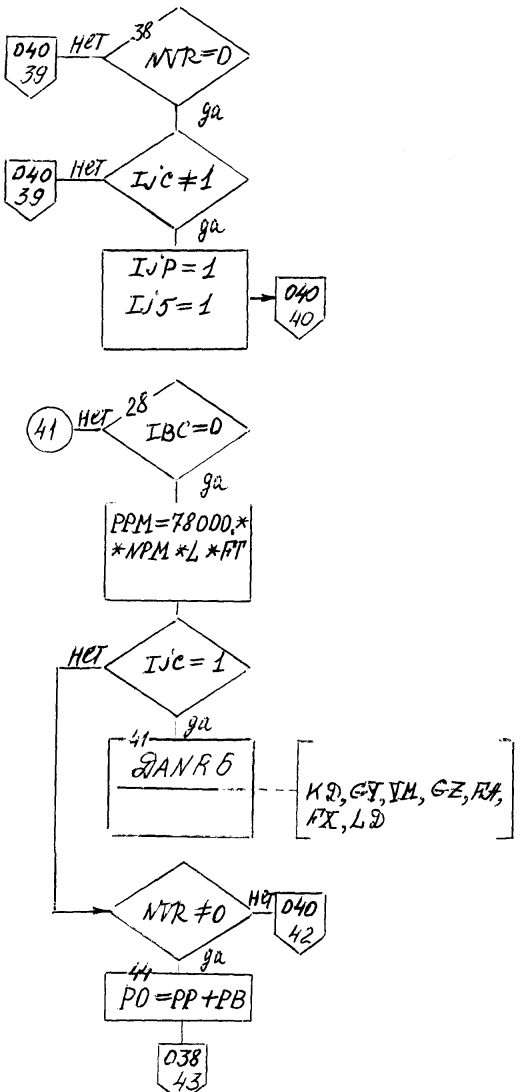

26
PPM-PPR≥0
<
24
>
=
CPM = CP
FM = F
NPM = NP
KH = KT
UM = UO
WM = WOS
RD = RM
PPM = PPR
JD = 1
PRM(JD)=PR(JD)
JD=JD+1
JD-12≤0
<
>
=
25
IS = 2
IL = 2
BR=GX2(KH,2)
BS=GX2(KH,3)
FT=GX2(KH,4)
24
IS = 1
IL = 1
BR = GX3(KH,2)
BS = GX3(KH,3)
FT = GX3(KH,4)
IJP ≠ 1
НЕТ
035
26
ДА
IJS = 0
IJL = 0
ВЕРОР = 0,
PD = PAM + PB
035
27

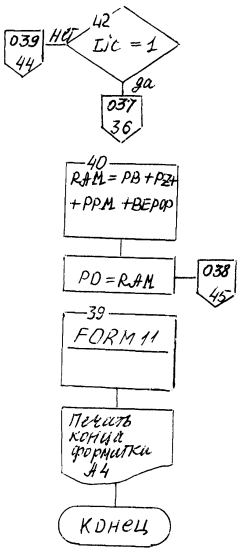

26
4.1 Расчёт профильных балок
22
REZHJ
NVR, CH, CPH, FP, FH, UH, NPH, KH, WH, IS
CALL DANR2
CALL DANR1
L1, L2, RD, PP, PB
IJC = 1
IJ5 = 0
NVR ≠ 0
да
P0 = PP + PB
4.3. Расчет швеллеров цанф
27
Расчёт швеллеров цанф


BN-BR ≤ 0
<
>
=
039
28
IBC ≠ 0
нет
да
Нет швеллера для цапф
039
28
BR = BN
IS ≠ 1
нет
037
32
да
IM = 1
30
GX2(IM,2) ≥ BN
<
>
=
KH1 = IM
BR = GX2(KH1,2)
BS = GX2(KH1,3)
VP = GX2(KH1,5)
WM = NPM/x
к GX2(KH1,6)
PT = GX2(KH1,4)
KH = KH1
039
28
IM = IM+1
IM ≤ 11
<
>
=
30
037
29


29
Нет требуемой продольной балки
Останов
IM = 1
32
GX3 (IM,2) ≥ BN
<
>
=
KH1 = IM
BR = GX3 (KH1,2)
BS = GX3 (KH1,3)
ГР = GX3 (KH1,5)
WM = NPM *
* GX3 (KH1,6)
FT = GX3 (KH1,4)
KH = KH1
039
28
IM = IM + 1
IM ≤ 12
<
>
=
32
36
4.4. расчёт цапф
IBC ≠ 0
нет
ya
038
34
038
33


33
KC =0
34
DANR 7
35
PO, GC, GT, CTP, DV, TX, TL, WC, KC, TV, AG, LCT, IBC
45
IBC≠0
нет
да
43
BCTC
037
36
BN, DB, DH, BS, PO, GC, L1, L2, IS, WC, DV, CTP, TV, AG, LCT, TL, GT, TX
BCTC
BN, IS, BS, PO, GC, L1, L2, WC, DV, CTP, GT, TV, TX, LCT, TL, AG, KC
37
35
IJ5=1
нет
да
PP=RAM-PB
UO=UM
WS=WM
MP=NPM
KT=KH
026
13
37
IJC=1
нет
да
4.5. Расчет поперечных балок
44
BPOP
039
38
IPOP, NVR, CX, IOPTH, BEPOP, IJC, E, LH, BR, BN


38
NVR=0
НЕТ
040
39
да
IJC≠1
НЕТ
040
39
да
IJP=1
IJ5=1
040
40
41
НЕТ
28
IBC=0
да
PPM=78000.*
*NPM *L *FT
НЕТ
IJC=1
да
41
ЭANR 6
KD, GY, VM, GZ, RA,
FX, LD
NVR≠0
НЕТ
040
42
да
44
PO=PP+PB
038
43


42
ПУС = 1
нет
039
44
да
037
36
40
RAM = PB + PZ +
+ PPM + ВЕРФ
PO = RAM
038
45
39
FORM 11
Печать
конца
формата
А4
Конец

Функциональное назначение программы

BLOCK DATA. Данная подпрограмма содержит табличные значения сортаметнов проката приведенные в Приложении 2.

Подпрограмма FORMII осуществляет вывод результатов расчетов в формате А4.

Подпрограмма DANOP производит ввод и контроль исходных данных.

DANR8 служит для вывода на печать входной информации.

Подпрограмма BPNP производит подбор необходимых профилей проката для продольных балок.

MOMIR - подпрограмма выполняющая расчет на прочность и жесткость продольных балок.

BJPD - производит расчет прогибов продольных балок.

Подбор типов и сортаметна поперечных и дополнительных балок осуществляет подпрограмма BPOP, включающая в себя 4 других подпрограммы:

BMPB - вычисляет изгибающие моменты поперечных балок;

DANR3, DANR4, DANR5 - осуществляют печать результатов выбора и расчета продольных и дополнительных балок.

Подпрограмма DANR7 производит печать результатов расчета цапф, после выполнения расчетов подпрограммами BCTCH и BCTC.

Подпрограмма REZIJ осуществляет печать результатов расчета продольных балок.

Подпрограмма DANR1 печатает характеристики блока и рамы.

Подпрограмма DANR2 печатает результаты расчета рамы отдельно для каждого из расчетных случаев.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Справочное

Таблица I

Уголки неравнополочные
ГОСТ 85I0-86

Ширина большой полки B, м	Ширина меньшей полки в, м	Толщина полки d, м	Площадь сечения F, м^2	Момент инерции уголка J_y, м^4	Момент сопротивления уголка W_y, м^3
$45 \cdot I0^{-3}$	$28 \cdot I0^{-3}$	$4 \cdot I0^{-3}$	$2,8 \cdot I0^{-4}$	$I,69 \cdot I0^{-8}$	$0,8 \cdot I0^{-6}$
$63 \cdot I0^{-3}$	$4 \cdot I0^{-2}$	$5 \cdot I0^{-3}$	$4,98 \cdot I0^{-4}$	$6,26 \cdot I0^{-8}$	$2,05 \cdot I0^{-6}$
$75 \cdot I0^{-3}$	$5 \cdot I0^{-2}$	$8 \cdot I0^{-3}$	$9,47 \cdot I0^{-4}$	$I8,52 \cdot I0^{-8}$	$4,88 \cdot I0^{-6}$
$8 \cdot I0^{-2}$	$5 \cdot I0^{-2}$	$6 \cdot I0^{-3}$	$7,55 \cdot I0^{-4}$	$I4,85 \cdot I0^{-8}$	$3,88 \cdot I0^{-6}$
$9 \cdot I0^{-2}$	$56 \cdot I0^{-3}$	$8 \cdot I0^{-3}$	$II,I8 \cdot I0^{-4}$	$27,08 \cdot I0^{-8}$	$6,39 \cdot I0^{-6}$
$0,I$	$63 \cdot I0^{-3}$	$8 \cdot I0^{-3}$	$I2,57 \cdot I0^{-4}$	$39,2I \cdot I0^{-8}$	$8,I7 \cdot I0^{-6}$
$I25 \cdot I0^{-3}$	$8 \cdot I0^{-2}$	$0,0I$	$I9,7 \cdot I0^{-4}$	$I00,47 \cdot I0^{-8}$	$I6,52 \cdot I0^{-6}$
$I4 \cdot I0^{-2}$	$9 \cdot I0^{-2}$	$0,0I$	$22,24 \cdot I0^{-4}$	$I45,54 \cdot I0^{-4}$	$2I,I4 \cdot I0^{-6}$
$I6 \cdot I0^{-2}$	$0,I$	$0,0I$	$25,28 \cdot I0^{-4}$	$204,09 \cdot I0^{-8}$	$26,42 \cdot I0^{-6}$
$0,2$	$I25 \cdot I0^{-3}$	$I2 \cdot I0^{-3}$	$37,89 \cdot I0^{-4}$	$48I,93 \cdot I0^{-8}$	$49,85 \cdot I0^{-6}$

Швеллеры
ГОСТ 8240-72

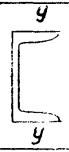


Таблица 2

Номер профиля №	Высота швеллера h, м	Ширина полки b, м	Площадь сечения F, м^2	Момент инерции швеллера J_x, м^4	Момент сопротивления швеллера W_x, м^3	Момент инерции швеллера J_y, м^4	Момент сопротивления швеллера W_y, м^3
5	0,05	0,032	$6,16 \cdot 10^{-4}$	$22,8 \cdot 10^{-8}$	$9,1 \cdot 10^{-6}$	$5,61 \cdot 10^{-8}$	$2,75 \cdot 10^{-6}$
6	0,08	0,04	$8,98 \cdot 10^{-4}$	$89,4 \cdot 10^{-8}$	$22,4 \cdot 10^{-6}$	$12,8 \cdot 10^{-8}$	$4,75 \cdot 10^{-6}$
10	0,1	0,046	$10,9 \cdot 10^{-4}$	$174,0 \cdot 10^{-8}$	$34,8 \cdot 10^{-6}$	$20,4 \cdot 10^{-8}$	$6,46 \cdot 10^{-6}$
12	0,12	0,052	$13,3 \cdot 10^{-4}$	$304,0 \cdot 10^{-8}$	$50,6 \cdot 10^{-6}$	$31,2 \cdot 10^{-8}$	$8,52 \cdot 10^{-6}$
14	0,14	0,058	$15,6 \cdot 10^{-4}$	$491 \cdot 10^{-8}$	$70,2 \cdot 10^{-6}$	$45,4 \cdot 10^{-8}$	$11,0 \cdot 10^{-6}$
16	0,16	0,064	$18,1 \cdot 10^{-4}$	$747 \cdot 10^{-8}$	$93,4 \cdot 10^{-6}$	$63,3 \cdot 10^{-8}$	$13,8 \cdot 10^{-6}$
18	0,18	0,07	$20,7 \cdot 10^{-4}$	$10,9 \cdot 10^{-6}$	$121 \cdot 10^{-6}$	$86 \cdot 10^{-8}$	$17 \cdot 10^{-6}$
20	0,2	0,076	$23,4 \cdot 10^{-4}$	$15,2 \cdot 10^{-6}$	$152 \cdot 10^{-6}$	$113 \cdot 10^{-8}$	$20,5 \cdot 10^{-6}$
24	0,24	0,09	$30,6 \cdot 10^{-4}$	$29 \cdot 10^{-6}$	$242 \cdot 10^{-6}$	$208 \cdot 10^{-8}$	$31,6 \cdot 10^{-6}$
30	0,3	0,1	$40,5 \cdot 10^{-4}$	$58,1 \cdot 10^{-6}$	$387 \cdot 10^{-6}$	$327 \cdot 10^{-8}$	$43,6 \cdot 10^{-6}$
36	0,36	0,11	$53,4 \cdot 10^{-4}$	$10,82 \cdot 10^{-5}$	$601 \cdot 10^{-6}$	$513 \cdot 10^{-8}$	$61,7 \cdot 10^{-6}$

Таблица 3

БАЛКИ ДВУТАВРОВЫЕ
ГОСТ 8239-72

Номер профиля N^o	B_R Высота двутавра h, м	B_S Ширина полки b, м	Площадь сечения F, м2	Момент инерции двутавра J_x, $м^4$	Момент сопротивл. двутавра W_x, $м^3$
I0	0,I	0,055	I2·I0^{-4}	I98.I0^{-8}	39,7·I0^{-6}
I2	0,I2	0,064	I4,7·I0^{-4}	350·I0^{-8}	58,4·I0^{-6}
I4	0,I4	0,073	I7,4·I0^{-4}	572·I0^{-8}	8I,7·I0^{-6}
I6	0,I6	0,08I	20,2·I0^{-4}	873·I0^{-8}	I09·I0^{-6}
I8	0,I8	0,09	23,4·I0^{-4}	I2,9·I0^{-6}	I43·I0^{-6}
20	0,2	0,I	26,8·I0^{-4}	I8,4·I0^{-6}	I84·I0^{-6}
24*)	0,24	0,II5	34,8·I0^{-4}	34,9·I0^{-6}	290,8·I0^{-6}
30	0,3	0,I35	46,5·I0^{-4}	70,8·I0^{-6}	472,0·I0^{-6}
36*)	0,36	0,I45	6I,5·I0^{-4}	I35,05·I0^{-6}	750,3·I0^{-6}
40	0,4	0,I55	72,6·I0^{-4}	I90,62·I0^{-6}	953,0·I0^{-6}
45	0,45	0,I6	84,7·I0^{-4}	276,96·I0^{-6}	I2,3I·I0^{-4}
55	0,55	0,I8	II8·I0^{-4}	559,62·I0^{-6}	20,35·I0^{-4}

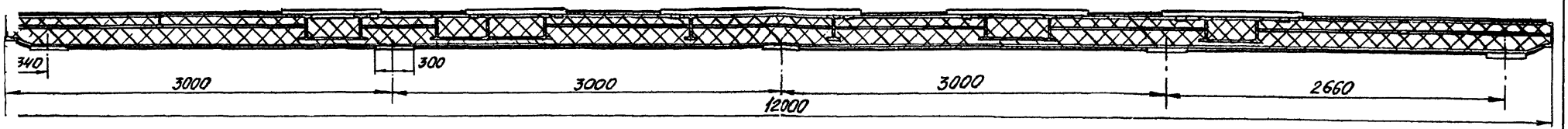
*) Профиль № 24, 36 сортамент по ТУ I4-2-5I5-83

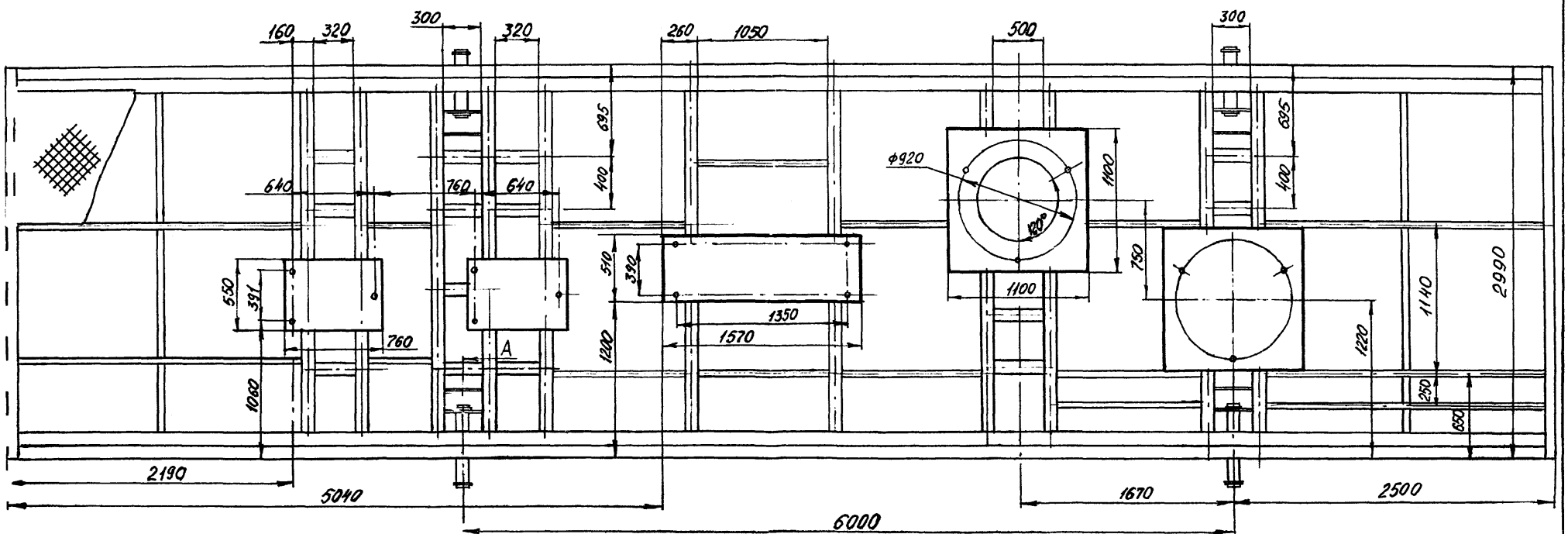
Таблица 4

Трубы для цапф
ГОСТ 8732-78

Внутренний диаметр цапфы $d_в$, м	Наружный диаметр цапфы $d_н$, м	Диаметр бурта цапфы d_1, м	Расстояние между центром тяжести трубы и верхом рамы h, м
$41 \cdot 10^{-3}$	$57 \cdot 10^{-3}$	$80 \cdot 10^{-3}$	$40 \cdot 10^{-3}$
$56 \cdot 10^{-3}$	$76 \cdot 10^{-3}$	$100 \cdot 10^{-3}$	$45 \cdot 10^{-3}$
$69 \cdot 10^{-3}$	$89 \cdot 10^{-3}$	$110 \cdot 10^{-3}$	$60 \cdot 10^{-3}$
$80 \cdot 10^{-3}$	$108 \cdot 10^{-3}$	$140 \cdot 10^{-3}$	$95 \cdot 10^{-3}$
$131 \cdot 10^{-3}$	$159 \cdot 10^{-3}$	$200 \cdot 10^{-3}$	$130 \cdot 10^{-3}$
$187 \cdot 10^{-3}$	$219 \cdot 10^{-3}$	$270 \cdot 10^{-3}$	$160 \cdot 10^{-3}$

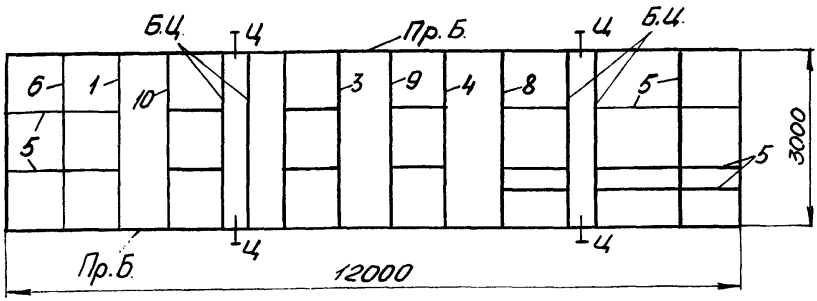
ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Справочное





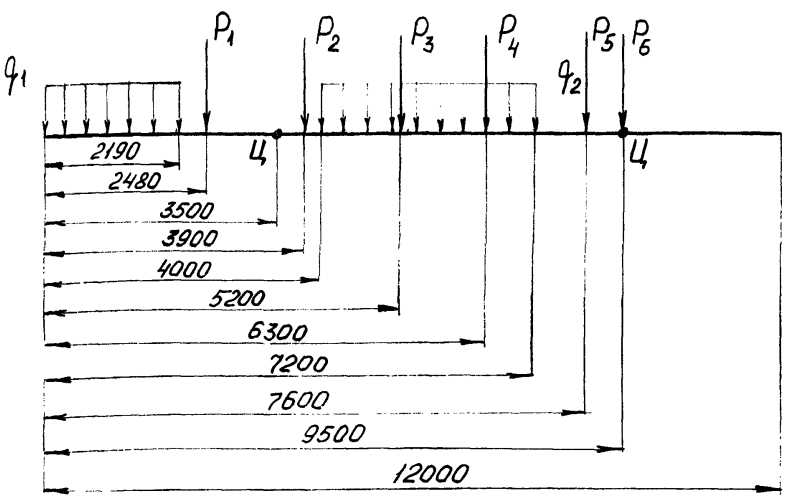
Черт.

КАРКАС РАМЫ (Черт. приложение 3) РАСЧИТАННЫЙ НА ЭВМ.



Обозначение на схеме:
Ц - цапфы;
Б.Ц. - балки цапфы;
I ÷ IO - поперечные и дополнительные балки;
Пр.Б. - продольные балки

Расчетная схема продольных балок



Примечание. Распределенная нагрузка от веса рамы определяется в программе и прикладывается по всей длине рамы.

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ
РАМ ПО РДРТМ 26

ПРОГРАММА: 79К86
ПРОГРАММНЫЕ ДОКУМЕНТЫ Ø352.79К-86-Ø2

3.ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

ВИД РАСЧЕТА-ПРОЕКТИРОВОЧНЫЙ С ОПТИМИЗАЦИЕЙ ПО ВЫСОТЕ	1
ВИД РАСЧЕТА БАЛКИ ДЛЯ ЦАПФ-ПРОЕКТИРОВОЧНЫЙ	Ø
КОЛИЧЕСТВО ПОПЕРЕЧНЫХ СВЯЗЕЙ	10
ПАРАМЕТР ОПТИМИЗАЦИИ ПО ТИПУ ПРОФИЛЯ ДЛЯ ПОПЕРЕЧНЫХ СВЯЗЕЙ	Ø
КОЭФФИЦИЕНТ,РАВНЫЙ ОТНОШЕНИЮ ВЕСА БЛОКА ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ИСПЫТАНИИ К ВЕСУ БЛОКА ПРИ СТРОПОВКЕ ДЛЯ КАЖДОЙ СВЯЗИ	
K2(1)= 1.2Ø	
K2(2)= 1.2Ø	
K2(3)= 1.2Ø	
K2(4)= 1.2Ø	
K2(5)= 1.ØØ	
K2(6)= 1.ØØ	
K2(7)= 1.ØØ	
K2(8)= 1.2Ø	
K2(9)= 1.2Ø	
K2(1Ø)= 1.2Ø	
ДОПУСКАЕМОЕ НАПРЯЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА ПРОДОЛЬНОЙ БАЛКИ, МПА	210.Ø
ДОПУСКАЕМОЕ НАПРЯЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА ПОПЕРЕЧНОЙ БАЛКИ, МПА	210.Ø
ДОПУСКАЕМОЕ НАПРЯЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА ЦАПФ, МПА	210.Ø
ДОПУСКАЕМОЕ НАПРЯЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА ЦАПФОВОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ БАЛКИ, МПА	210.Ø
НАГРУЗКА ОТ МАССЫ БЛОКА БЕЗ РАМЫ, Н	210000.
ДЛИНА РАМЫ, М	12.ØØØ
ШИРИНА РАМЫ, М	3.ØØØ
КООРДИНАТА ЛЕВОЙ ЦАПФЫ, М	3.5ØØ
КООРДИНАТА ПРАВОЙ ЦАПФЫ, М	9.5ØØ
КОЛИЧЕСТВО СОСРЕДОТОЧЕННЫХ НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА РАМУ	6

ВЕЛИЧИНЫ НАГРУЗОК	КООРДИНАТЫ ПРИЛОЖЕНИЯ НАГРУЗОК
P(1)= 16ØØØ. Н	A(1)= 2.48Ø М
P(2)= 29ØØØ. Н	A(2)= 3.9ØØ М
P(3)= 16ØØØ. Н	A(3)= 5.2ØØ М
P(4)= 16ØØØ. Н	A(4)= 6.3ØØ М
P(5)= 48ØØØ. Н	A(5)= 7.6ØØ М
P(6)= 64ØØØ. Н	A(6)= 9.5ØØ М

КОЛИЧЕСТВО РАВНОМЕРНО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ НАГРУЗОК 2

ВЕЛИЧИНЫ НАГРУЗОК	КООРДИНАТЫ ПРИЛОЖЕНИЯ НАГРУЗОК НАЧАЛО	КОНЕЦ
QM(1)= 548. Н/М	B(1)= Ø.ØØØ М	K(1)= 2.19Ø М
QM(2)= 625. Н/М	B(2)= 4.ØØØ М	K(2)= 7.2ØØ М

4.РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

4.1.РАСЧЕТ ПРОДОЛЬНЫХ БАЛОК

ДОПУСКАЕМОЕ НАПРЯЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА, МПА	210.0
РАСЧЕТНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА, МПА	172.2
ДОПУСКАЕМЫЙ ПРОГИБ, ММ	60.0
РАСЧЕТНЫЙ ПРОГИБ, ММ	56.5
КОЛИЧЕСТВО ПРОДОЛЬНЫХ БАЛОК, ШТ	4

ДВУТАВР № 36. ГОСТ 8510-72

$F = 0.00615\ м^2$ $I = 0.000013505\ м^4$ $W = 0.0007503\ м^3$

4.1.1.УСЛОВИЯ ОПИРАНИЯ

ОПИРАНИЕ ПО КОНЦАМ

РЕАКЦИЯ НА ЛЕВОМ КРАЮ, Н	106275.
РЕАКЦИЯ НА ПРАВОМ КРАЮ, Н	133250.
МАКСИМАЛЬНЫЙ МОМЕНТ, Н*М	430795.8
КООРДИНАТА ОПАСНОГО СЕЧЕНИЯ, М	6.491

ОПИРАНИЕ В ЦЕНТРЕ ТЯЖЕСТИ БЛОКА

МАКСИМАЛЬНЫЙ МОМЕНТ, Н*М	278740.7

4.1.2.УСЛОВИЯ СТРОПОВКИ

ВЕРТИКАЛЬНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ УСИЛИЙ НА ЛЕВОЙ ЦАПФЕ, Н	120515.
ВЕРТИКАЛЬНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ УСИЛИЙ НА ПРАВОЙ ЦАПФЕ, Н	119010.
МОМЕНТ У ЛЕВОЙ ЦАПФЫ, Н*М	50760.4
МОМЕНТ У ПРАВОЙ ЦАПФЫ, Н*М	10037.6
МАКСИМАЛЬНЫЙ МОМЕНТ МЕЖДУ ЦАПФАМИ, Н*М	91113.6
КООРДИНАТА ОПАСНОГО СЕЧЕНИЯ МЕЖДУ ЦАПФАМИ, М	7.600

4.2.ХАРАКТЕРИСТИКА БЛОКА В ЦЕЛОМ

КООРДИНАТА ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ БЛОКА, М	6.676
КООРДИНАТА РАСПОЛОЖЕНИЯ ЛЕВОЙ ЦАПФЫ, М	3.500
КООРДИНАТА РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРАВОЙ ЦАПФЫ, М	9.500
МАКСИМАЛЬНЫЙ РАСЧЕТНЫЙ МОМЕНТ, Н*М	516955.0
ПЛОЩАДЬ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, М**2	6.96
УДЕЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ НА ОСНОВАНИЕ, Н/М	34414.55
ВЕС РАМЫ, Н	29525.2
ВЕС БЛОКА БЕЗ РАМЫ, Н	210000.0

4.3.РАСЧЕТ ДВУТАВРОВ ЦАПФ

ДОПУСКАЕМОЕ НАПРЯЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА, МПА	210.0

ДВУТАВР № 20. ГОСТ 8510-72

$F = 0.0268\ м^2$ $I = 0.00001840\ м^4$ $W = 0.0001840\ м^3$

ДЛИНА ДВУТАВРА, М	3.000
КОЛИЧЕСТВО ДВУТАВРОВ, ШТ	4
РАСЧЕТНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ДВУТАВРА ЦАПФ, МПА	195.3
МАКСИМАЛЬНЫЙ ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ, Н*М	35928.8

ДОПУСКАЕМЫЙ ПРОГИБ, ММ	15.000
РАСЧЕТНЫЙ ПРОГИБ, ММ	5.440

4.4.РАСЧЕТ ЦАПФ

ВЕС БЛОКА, Н	239525.
КОЭФФИЦИЕНТ СТРОПОВКИ	1.6
ДОПУСКАЕМОЕ НАПРЯЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА ЦАПФ, МПА	210.00
РАСЧЕТНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ, МПА	168.62
ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ, Н*М	14568.01
ПЛЕЧО ИЗГИБАЮЩЕГО МОМЕНТА, ММ	107.50
ТРУБА 108.Х 14. ММ	
МОМЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ СЕЧЕНИЯ ТРУБЫ, М**3	0.000086
ДИАМЕТР БУРТА ЦАПФЫ, ММ	140.
РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ЦЕНТРОМ ТЯЖЕСТИ ТРУБЫ И ВЕРХОМ РАМЫ, ММ	95.
РАСЧЕТНОЕ КАСАТЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ, МПА	45.74
ДОПУСКАЕМОЕ КАСАТЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ, МПА	126.00
ДЛИНА СТРОПЫ НЕ МЕНЕЕ, М	4.2

4.5.РАСЧЕТ ПОПЕРЕЧНЫХ БАЛОК

ДОПУСКАЕМОЕ НАПРЯЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА, МПА 210.0

ПОПЕРЕЧНАЯ СВЯЗЬ N 1
ВИД НАГРУЗКИ - СОСРЕДОТОЧЕННАЯ

ВЕЛИЧИНА НАГРУЗКИ	КООРДИНАТЫ НАГРУЗКИ
PC1= 10000.0 Н	AC1= 1.150 М
PC2= 8000.0 Н	AC2= 1.800 М

ДВУТАВР N 14. ГОСТ 8510-72
2 4 3
F= 0.0#174 М I= 0.0000#572 М W= 0.0000817 М

ДЛИНА ПОПЕРЕЧНОЙ БАЛКИ, М	3.000
КОЛИЧЕСТВО ПОПЕРЕЧНЫХ БАЛОК, ШТ	1
МАКСИМАЛЬНЫЙ ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ,Н*М	12926.0
НАПРЯЖЕНИЕ В БАЛКЕ, МПА	158.21
ПРОГИБ БАЛКИ, ММ	7.867
ДОПУСКАЕМЫЙ ПРОГИБ, ММ	15.000

ПОПЕРЕЧНАЯ СВЯЗЬ N 2
ВИД НАГРУЗКИ - СОСРЕДОТОЧЕННАЯ

ВЕЛИЧИНА НАГРУЗКИ	КООРДИНАТЫ НАГРУЗКИ
PC1= 14500.0 Н	AC1= 1.150 М
PC2= 1200.0 Н	AC2= 1.800 М

ДВУТАВР N 14. ГОСТ 8510-72
2 4 3
F= 0.0#174 М I= 0.0000#572 М W= 0.0000817 М

ДЛИНА ПОПЕРЕЧНОЙ БАЛКИ, М	3.000
КОЛИЧЕСТВО ПОПЕРЕЧНЫХ БАЛОК, ШТ	1

МАКСИМАЛЬНЫЙ ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ,Н*М 13001.9
НАПРЯЖЕНИЕ В БАЛКЕ, МПА 159.14
ПРОГИБ БАЛКИ, ММ 6.809
ДОПУСКАЕМЫЙ ПРОГИБ, ММ 15.000

ПОПЕРЕЧНАЯ СВЯЗЬ N 3
ВИД НАГРУЗКИ - СОСРЕДОТОЧЕННАЯ

ВЕЛИЧИНА НАГРУЗКИ КООРДИНАТЫ НАГРУЗКИ

PC1= 16000.0 Н AC1= 1.450 М

ДВУТАВР N 14. ГОСТ 8510-72
F= 0.00174 М2 I= 0.00000572 М4 W= 0.0000817 М3
ДЛИНА ПОПЕРЕЧНОЙ БАЛКИ, М 3.000
КОЛИЧЕСТВО ПОПЕРЕЧНЫХ БАЛОК, ШТ 1
МАКСИМАЛЬНЫЙ ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ,Н*М 14384.0
НАПРЯЖЕНИЕ В БАЛКЕ, МПА 176.06
ПРОГИБ БАЛКИ, ММ 7.480
ДОПУСКАЕМЫЙ ПРОГИБ, ММ 15.000

ПОПЕРЕЧНАЯ СВЯЗЬ N 4
ВИД НАГРУЗКИ - СОСРЕДОТОЧЕННАЯ

ВЕЛИЧИНА НАГРУЗКИ КООРДИНАТЫ НАГРУЗКИ

PC1= 24000.0 Н AC1= 1.950 М
PC2= 750.0 Н AC2= 0.720 М

ДВУТАВР N 24. ГОСТ 8510-72
F= 0.00348 М2 I= 0.0000349 М4 W= 0.0002908 М3
ДЛИНА ПОПЕРЕЧНОЙ БАЛКИ, М 3.000
КОЛИЧЕСТВО ПОПЕРЕЧНЫХ БАЛОК, ШТ 1
МАКСИМАЛЬНЫЙ ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ,Н*М 43174.1
НАПРЯЖЕНИЕ В БАЛКЕ, МПА 148.47
ПРОГИБ БАЛКИ, ММ 1.656
ДОПУСКАЕМЫЙ ПРОГИБ, ММ 15.000

ПОПЕРЕЧНАЯ СВЯЗЬ N 5
ВИД НАГРУЗКИ - СОСРЕДОТОЧЕННАЯ

ВЕЛИЧИНА НАГРУЗКИ КООРДИНАТЫ НАГРУЗКИ

PC1= 600.0 Н AC1= 1.020 М

УГОЛОК 63.У 40.Х 5. ГОСТ 8510-72
F= 0.000498 М2 I= 0.0000000626 М4 W= 0.00000205 М3
ДЛИНА ПОПЕРЕЧНОЙ БАЛКИ, М 2.200
КОЛИЧЕСТЬО ПОПЕРЕЧНЫХ БАЛОК, ШТ 1
МАКСИМАЛЬНЫЙ ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ,Н*М 361.1
НАПРЯЖЕНИЕ В БАЛКЕ, МПА 176.14

ПРОГИБ БАЛКИ, ММ 10.046
ДОПУСКАЕМЫЙ ПРОГИБ, ММ 11.000

ПОПЕРЕЧНАЯ СВЯЗЬ N 6
ВИД НАГРУЗКИ - РАВНОМЕРНО-РАСПРЕДЕЛЕННАЯ

ВЕЛИЧИНА НАГРУЗКИ КООРДИНАТЫ НАГРУЗКИ

QC= 250.0 Н/М BC= 0.000 М KC= 3.000 М

УГОЛОК 75.Х 50.Х 8. ГОСТ 8510-72
2 4 3
F= 0.000947 М I= 0.0000001852 М W= 0.00000488 М
ДЛИНА ПОПЕРЕЧНОЙ БАЛКИ, М 3.000
КОЛИЧЕСТВО ПОПЕРЕЧНЫХ БАЛОК, ШТ 1
МАКСИМАЛЬНЫЙ ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ,Н*М 309.4
НАПРЯЖЕНИЕ В БАЛКЕ, МПА 63.40
ПРОГИБ БАЛКИ, ММ 6.769
ДОПУСКАЕМЫЙ ПРОГИБ, ММ 15.000

ПОПЕРЕЧНАЯ СВЯЗЬ N 7
ВИД НАГРУЗКИ - РАВНОМЕРНО-РАСПРЕДЕЛЕННАЯ

ВЕЛИЧИНА НАГРУЗКИ КООРДИНАТЫ НАГРУЗКИ

QC= 820.0 Н/М BC= 0.000 М KC= 0.900 М

УГОЛОК 45.Х 28.Х 4. ГОСТ 8510-72
2 4 3
F= 0.000284 М I= 0.0000000169 М W= 0.00000080 М
ДЛИНА ПОПЕРЕЧНОЙ БАЛКИ, М 0.900
КОЛИЧЕСТВО ПОПЕРЕЧНЫХ БАЛОК, ШТ 1
МАКСИМАЛЬНЫЙ ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ,Н*М 91.3
НАПРЯЖЕНИЕ В БАЛКЕ, МПА 114.16
ПРОГИБ БАЛКИ, ММ 1.971
ДОПУСКАЕМЫЙ ПРОГИБ, ММ 4.500

ПОПЕРЕЧНАЯ СВЯЗЬ N 8
ВИД НАГРУЗКИ - СОСРЕДОТОЧЕННАЯ

ВЕЛИЧИНА НАГРУЗКИ КООРДИНАТЫ НАГРУЗКИ

PC1= 24000.0 Н AC1= 1.950 М
PC2= 750.0 Н AC2= 0.720 М

ДВУТАВР N 24. ГОСТ 8510-72
2 4 3
F= 0.00348 М I= 0.0003490 М W= 0.0002908 М
ДЛИНА ПОПЕРЕЧНОЙ БАЛКИ, М 3.000
КОЛИЧЕСТВО ПОПЕРЕЧНЫХ БАЛОК, ШТ 1
МАКСИМАЛЬНЫЙ ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ,Н*М 43174.1
НАПРЯЖЕНИЕ В БАЛКЕ, МПА 148.47
ПРОГИБ БАЛКИ, ММ 1.656
ДОПУСКАЕМЫЙ ПРОГИБ, ММ 15.000

ПОПЕРЕЧНАЯ СВЯЗЬ N 9
ВИД НАГРУЗКИ - СОСРЕДОТОЧЕННАЯ

ВЕЛИЧИНА НАГРУЗКИ	КООРДИНАТЫ НАГРУЗКИ
PC1= 16000.0 Н	AC1= 1.450 М

ДВУТАВР N 14. ГОСТ 8510-72

F= 0.00174 М^2 I= 0.00000572 М^4 W= 0.0000817 М^3

ДЛИНА ПОПЕРЕЧНОЙ БАЛКИ, М	3.000
КОЛИЧЕСТВО ПОПЕРЕЧНЫХ БАЛОК, ШТ	1
МАКСИМАЛЬНЫЙ ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ,Н*М	14384.0
НАПРЯЖЕНИЕ В БАЛКЕ, МПА	176.06
ПРОГИБ БАЛКИ, ММ	7.480
ДОПУСКАЕМЫЙ ПРОГИБ, ММ	15.000

ПОПЕРЕЧНАЯ СВЯЗЬ N 10
ВИД НАГРУЗКИ - СОСРЕДОТОЧЕННАЯ

ВЕЛИЧИНА НАГРУЗКИ	КООРДИНАТЫ НАГРУЗКИ
PC1= 10000.0 Н	AC1= 1.150 М
PC2= 8000.0 Н	AC2= 1.800 М

ДВУТАВР N 14. ГОСТ 8510-72

F= 0.00174 М^2 I= 0.00000572 М^4 W= 0.0000817 М^3

ДЛИНА ПОПЕРЕЧНОЙ БАЛКИ, М	3.000
КОЛИЧЕСТВО ПОПЕРЕЧНЫХ БАЛОК, ШТ	1
МАКСИМАЛЬНЫЙ ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ,Н*М	12926.0
НАПРЯЖЕНИЕ В БАЛКЕ, МПА	158.21
ПРОГИБ БАЛКИ, ММ	7.867
ДОПУСКАЕМЫЙ ПРОГИБ, ММ	15.000

3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА РАМ БЛОКОВ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ

3.1. Методика устанавливает порядок определения расчетных изгибающих моментов для различных схем нагружения и опирания рамы блоков, выбор по вычисленным моментам необходимого каркаса рамы (по черт. I, 2 и табл. I, 2) и проверку каркаса рамы на жесткость.

3.2. В расчетных схемах рассмотрена общая прочность и жесткость рамы (ее продольных элементов) и местная прочность и жесткость рамы (поперечных элементов и дополнительных связей, на которых сосредоточены значительные нагрузки).

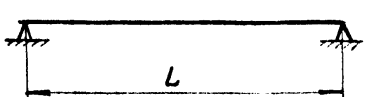
3.3. Конструктивные элементы рамы рассчитываются на прочность для двух состояний:

- при установке блока на неровной площадке;
- при строповке блока.

3.4. В расчетных схемах общей прочности продольные элементы рамы рассматриваются как балки при различных вариантах опирания, которые возможны при установке рамы на неровную площадку и строповке блока.

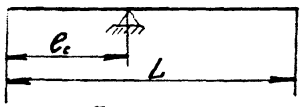
3.5. При установке блока на неровную площадку возможны два наиболее неблагоприятных случая опирания рамы:

- опирание рамы по концам продольных элементов (черт.3)



Черт. 3

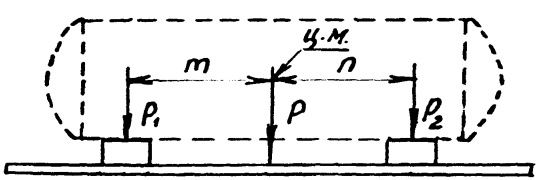
– опирание рамы продольными элементами в точках, находящихся в одной вертикальной плоскости с центром массы блока (черт. 4)



Черт. 4

3.6. В расчетных схемах продольных элементов рамы нагрузки от основного оборудования (емкостей, сепараторов, теплообменников и др. тяжеловесного оборудования) представляются в виде сосредоточенных сил, приложенных в местах установки опор (середины опор). Если оборудование устанавливается на двух опорах, то величины сосредоточенных сил, приложенных к раме, должны быть обратно пропорциональны расстояниям опор до центра масс рассматриваемого оборудования (черт. 5).

$$P_1 = \frac{P \cdot n}{m+n} \; ; \qquad P_2 = \frac{P \cdot m}{m+n}$$

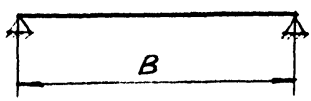


Черт. 5

Остальная часть нагрузки от массы оборудования блока (трубопроводов, арматуры и т.д.) равномерно распределяется по длине участков, протяженность которых определяется в каждом конкретном случае расположением оборудования. Нагрузка от массы рамы, если она заранее неизвестна, принимается равной I5% от суммарной наг-

рузки от массы всего оборудования блока и равномерно распределяется по длине рамы.

3.7. В расчетных схемах поперечные элементы рассматриваются как свободно-опертые по концам балки. Расчет поперечных балок производится в той же последовательности, что и расчет продольных балок для случая опирания по концам. При этом расчету подвергаются наиболее нагруженные связи в зонах расположения опор тяжеловесного оборудования (черт. 6).



Черт. 6

3.8. Допускаемые напряжения в расчете рамы принимаются в соответствии со СНИП П - В.3 - 72 "Стальные конструкции. Нормы проектирования". Для стали ВСт3сп.

$$\sigma_{доп} = 2100 \text{ кгс/см}^2$$

3.9. Расчетный изгибающий момент при установке блока на неровной площадке принимается равным максимальному изгибающему моменту, действующему на раму, умноженному на коэффициент $K_1 = 1,2$, а при строповке блока - равным максимальному моменту, умноженному на коэффициент $K_2 = 1,6$, где $K_1 = K_д \cdot K_п = 1,1 \cdot 1,1 = 1,2$;

$$K_2 = K_д \cdot K_п \cdot K_с = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,33 = 1,6$$

$K_д = 1,1$ - коэффициент динамичности при транспортировке и строповке блока;

$K_п = 1,1$ - коэффициент перегрузки;

$K_с = 1,3$ - коэффициент неравномерности нагрузки стропов.

3.10. Максимальный допустимый относительный прогиб рамы (ее продольных элементов) и других нагруженных элементов рамы принимается равным

$$\left[\frac{f}{L}\right] = 0{,}005, \text{ или } \left[\frac{f}{\ell}\right] = 0{,}005,$$

где: L - длина рамы, см;

ℓ - длина нагруженного элемента рамы, см;

f - максимальный расчетный прогиб рамы или элемента, см.

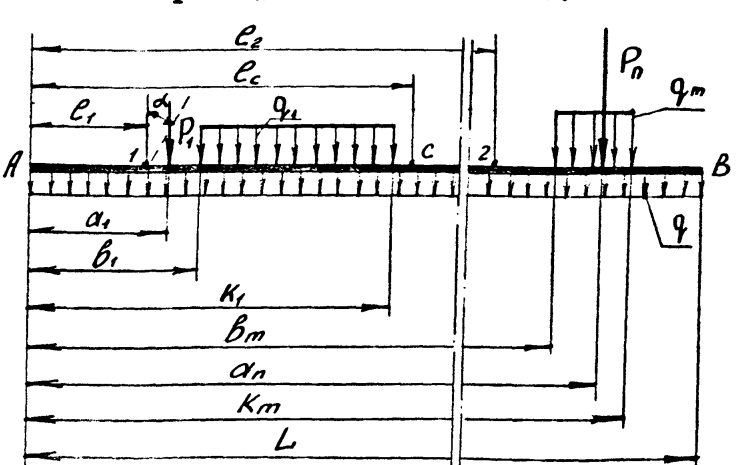
4. РАСЧЕТ ОБЩЕЙ ПРОЧНОСТИ РАМЫ

4.1. Схема нагрузок, действующих на раму, представлена на черт. 7.

где: ℓ_1, ℓ_2 - координаты мест строповки блока в см;

$a_1, \ldots, a_n$ - координаты мест приложения сосредоточенных нагрузок

$P_1, \ldots, P_n$, в см ($n = 1,2,3,\ldots$);



Черт. 7

$b_1,\dots,b_m$ - координаты начала участка приложения равномерно-распределенной нагрузки интенсивности $q_1,\dots,q_m$ в см; $(m = 1,2,3,\dots)$;

$K_1,\dots,K_m$ - координаты конца участка приложения равномерно-распределенной нагрузки интенсивности $q_1,\dots,q_m$ в см; $(m = 1,2,3,\dots)$;

q - интенсивность равномерно-распределенной нагрузки от массы рамы в кгс/см^2.

4.2. Координата центра массы блока:

$$l_c = \frac{0{,}5qL^2 + P_1 \cdot a_1 + \dots + P_n a_n + 0{,}5\,q_1(K_1^2 - b_1^2) + \dots + 0{,}5\,q_m(K_m^2 - b_m^2)}{qL + P_1 + \dots + P_n + q_1(K_1 - b_1) + \dots + q_m(K_m - b_m)}$$

4.3. Опорные реакции при опирании рамы по концам

$$R_A = \frac{(P_б + P_р)(L - l_c)}{L};$$

$$R_B = \frac{(P_б + P_р)\,l_c}{L}$$

где Рб - нагрузка от массы блока без рамы;

$P_р$ - нагрузка от массы рамы блока.

4.4. Вертикальные составляющие усилий канатов при строповке блока

$$R_1 = \frac{(P_б + P_р)(l_2 - l_c)}{l_2 - l_1}; \quad R_2 = \frac{(P_б + P_р)(l_c - l_1)}{l_2 - l_1}$$

4.5. Координата X_o опасного сечения (в котором действует максимальный изгибающий момент) при опирании рамы по концам, определяется из условия, что в этом сечении поперечная сила Q равна нулю. Это сечение находится точкой пересечения двух эпюр попереч-

ных сил, построенных по приведенным ниже уравнениям:

$$Q_1 = R_A - \underset{x>a_1}{|} P_1 - \underset{x>a_2}{|} P_2 - \ldots - \underset{x>a_n}{|} P_n + \underset{x=L}{|} R_B \qquad (1)$$

$$Q_2 = q \cdot x + \underset{x>b_1}{|} q_1(x-b_1) - \underset{x>k_1}{|} q_1(x-k_1) + \underset{x>b_2}{|} q_2(x-b_2) - \underset{x>k_2}{|} (x-k_2) +$$

$$+ \ldots + \underset{x>b_m}{|} q_m(x-b_m) - \underset{x>k_m}{|} q_m(x-k_m) \qquad (2)^*$$

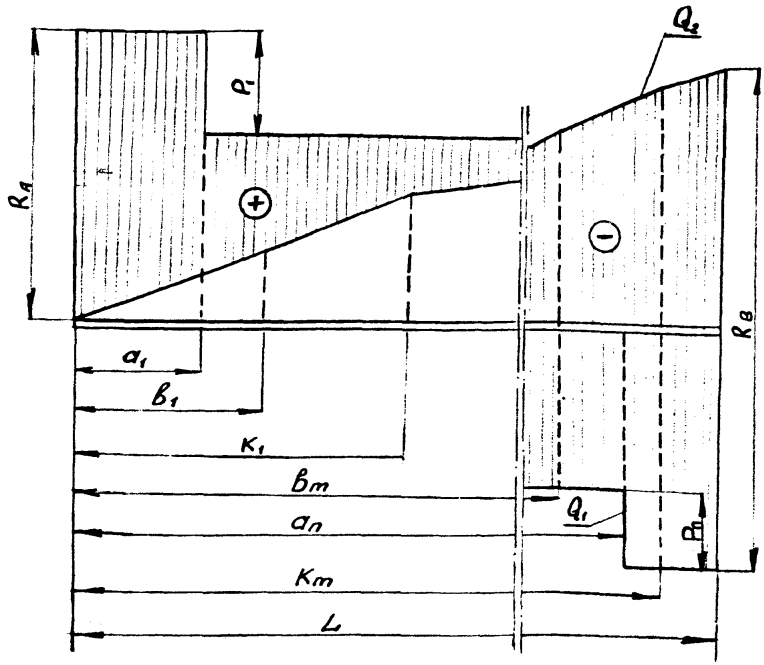
В этих уравнениях использован символический знак $\underset{x>a_i}{|}$, $\underset{x>b_i}{|}$, $\underset{x>k_i}{|}$, который означает, что величина (или выражение), стоящее непосредственно за знаком, используется в уравнении только при выполнении условия, указанного внизу знака, т.е. при $x>a_i$ ($x>b_i$; $x>k_i$). При $x \leq a_i$ ($x \leq b_i$; $x \leq k_i$) эта величина (или выражение) в уравнении должно отсутствовать, т.е. принимается равным нулю.

По уравнениям (I) и (2) определяются значения поперечных сил при $x=a_1, a_2, \ldots, a_n$ в уравнении (I), при $x=b_i; k_i; b_2, \ldots, b_m; k_m$ в уравнении (2) и по найденным значениям строятся эпюры Q_1 и Q_2.

На черт. 8 приведены эпюры Q_1 и Q_2 для балки, представленной на черт. 7. Заштрихованная часть черт. 8 изображает эпюру поперечных сил Q балки.

---

* где x изменяется в пределах $0 \leq x \leq L$. Эпюра Q_1 ограничивается ступенчатой линией, а эпюра Q_2 – ломаной линией.



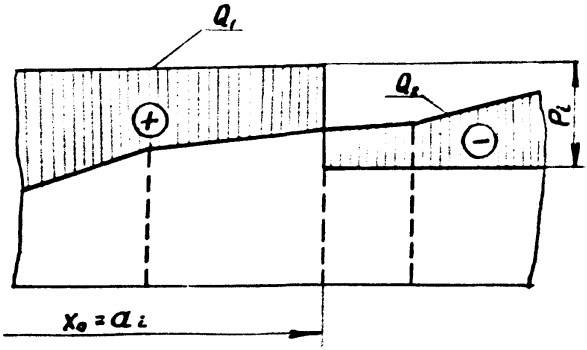
Черт. 8

При вычислении X_0 могут представиться два случая пересечения эпюр Q_1 и Q_2 :

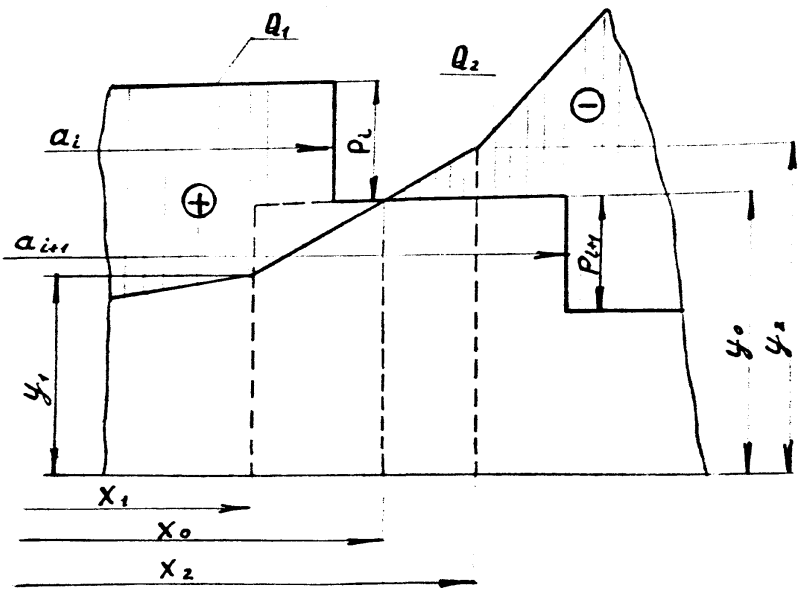
- эпюра Q_2 пересекает эпюру Q_1 на вертикальном участке соответствующем скачку P_i . В этом случае $X_0 = a_i$ (черт. 9);

- эпюра Q_2 пересекает эпюру Q_1 на горизонтальном участке $a_i < X_0 < a_{i+1}$ (черт. I0). В этом случае

$$X_0 = \frac{X_1(y_2 - y_0) + X_2(y_0 - y_1)}{y_2 - y_1}$$



Черт. 9



Черт. I0

Величины X_1, X_2, y_0, y_1, y_2 определяются при построении эпюр Q_1 и Q_2.

4.6. Координата X_o' опасного сечения, расположенного между стропами, определяется также, как и в случае опирания рамы по концам. Эпюры Q_1' и Q_2' строятся по уравнениям:

$$Q_1' = \left|\begin{matrix} R_1 \\ x > \ell_1 \end{matrix}\right. - \left|\begin{matrix} P_1 \\ x > a_1 \end{matrix}\right. - \dots - \left|\begin{matrix} P_n \\ x > a_n \end{matrix}\right. + \left|\begin{matrix} R_2 \\ x > \ell_2 \end{matrix}\right. \qquad (1')$$

$$Q_2' = qx + \left|\begin{matrix} q_1(x-b_1) \\ x > b_1 \end{matrix}\right. - \left|\begin{matrix} q_1(x-K_1) \\ x > K_1 \end{matrix}\right. + \dots + \left|\begin{matrix} q_m(x-b_m) \\ x > b_m \end{matrix}\right. - \left|\begin{matrix} q_m(x-K_m) \\ x > K_m \end{matrix}\right. \qquad (2')$$

По уравнениям (I') и (2') определяются значения поперечных сил при $X = a_1; a_2; \dots; a_n; \ell_1; \ell_2$ в уравнении (I') и при $X = b_1; K_1; \dots; b_m; K_m$ в уравнении (2') и по найденным значениям строятся эпюры Q_1' и Q_2'. Определение X_o' производится по аналогичным схемам, которые представлены на черт. 9 и I0 и по формулам, по которым определяется X_o .

4.7. Определение расчетного момента при установке блока на неровную площадку.

Расчетный момент принимается равным большей из двух величин, M_I и M_2, умноженных на коэффициент K_I = I,2:

$$M_1 = R_A \cdot X_o - \frac{q_1 X_o^2}{2} - \left|\begin{matrix} P_1(X_o - a_1) \\ X_o > a_1 \end{matrix}\right. - \dots - \left|\begin{matrix} P_n(X_o - a_n) \\ X_o > a_n \end{matrix}\right. - \left|\begin{matrix} \frac{q_1'}{2}(X_o - b_1)^2 \\ X_o > b_1 \end{matrix}\right. +$$

$$+ \left|\begin{matrix} \frac{q_1'}{2}(X_o - K_1)^2 \\ X_o > K_1 \end{matrix}\right. - \dots - \left|\begin{matrix} \frac{q_m}{2}(X_o - b_m)^2 \\ X_o > b_m \end{matrix}\right. + \left|\begin{matrix} \frac{q_m}{2}(X_o - K_m)^2 \\ X_o > K_m \end{matrix}\right. ;$$

$$M_2 = \frac{q_1 \cdot \ell_c^2}{2} + \left|\begin{matrix} P_1(\ell_c - a_1) \\ \ell_c > a_1 \end{matrix}\right. + \dots + \left|\begin{matrix} P_n(\ell_c - a_n) \\ \ell_c > a_n \end{matrix}\right. + \left|\begin{matrix} \frac{q_1'}{2}(\ell_c - b_1)^2 \\ \ell_c > b_1 \end{matrix}\right. -$$

$$- \left|\begin{matrix} \frac{q_1'}{2}(\ell_c - K_1)^2 \\ \ell_c > K_1 \end{matrix}\right. + \dots + \left|\begin{matrix} \frac{q_m}{2}(\ell_c - b_m)^2 \\ \ell_c > b_m \end{matrix}\right. - \left|\begin{matrix} \frac{q_m}{2}(\ell_c - K_m)^2 \\ \ell_c > K_m \end{matrix}\right. ;$$

$$M_p = 1{,}2 \max\left\{M_1 ; M_2\right\}$$

4.8. Определение расчетного момента при строповке блока. Расчетный момент принимается равным большей из трех величин, умноженных на коэффициент $K_2 = 1{,}6$:

$$M_1' = \frac{q_1 \ell_1^2}{2} + \left\lfloor_{\ell_1 > a_1} P_1(\ell_1 - a_1) + \ldots + \left\lfloor_{\ell_1 > a_n} P_n(\ell_1 - a_n) + \left\lfloor_{\ell_1 > b_1} (\ell_1 - b_1)^2 \frac{q_1}{2} - \left\lfloor_{\ell_1 > K_1} \frac{q_1'}{2}(K_1 - \ell_1)^2 + \ldots \right.\right.\right.\right.$$

$$+ \left\lfloor_{\ell_1 > b_m} \frac{q_m}{2}(\ell_1 - b_m)^2 - \left\lfloor_{\ell_1 > K_m} \frac{q_m}{2}(\ell_1 - K_m)^2 ;\right.\right.$$

$$M_2' = \frac{q(L-\ell_2)^2}{2} + \left\lfloor_{a_1 > \ell_2} P_1(a_1 - \ell_2) + \ldots + \left\lfloor_{a_n > \ell_2} P_n(a_n - \ell_2) - \left\lfloor_{b_1 > \ell_2} \frac{q_1'}{2}(b_1 - \ell_2)^2 + \right.\right.\right.$$

$$+ \left\lfloor_{K_1 > \ell_2} \frac{q_1'}{2}(K_1 - \ell_2)^2 - \ldots - \left\lfloor_{b_m > \ell_2} \frac{q_m}{2}(b_m - \ell_2)^2 + \left\lfloor_{K_m > \ell_2} \frac{q_m}{2}(K_m - \ell_2)^2 ;\right.\right.\right.$$

$$M_3' = -\frac{q \cdot x_0'^2}{2} + \left\lfloor_{x_0' > \ell_1} R_1(x_0' - \ell_1) - \left\lfloor_{x_0' > a_1} P_1(x_0' - a_1) - \ldots - \left\lfloor_{x_0' > a_n} P_n(x_0' - a_n) - \left\lfloor_{x_0' > b_1} \frac{q_1'}{2}(x_0' - b_1)^2 + \right.\right.\right.\right.$$

$$+ \left\lfloor_{x_0' > K_1} \frac{q_1'}{2}(x_0' - K_1)^2 - \ldots - \left\lfloor_{x_0' > b_m} \frac{q_m}{2}(x_0' - b_m)^2 + \left\lfloor_{x_0' > K_m} \frac{q_m}{2}(x_0' - K_m)^2 \right.\right.\right.\right.$$

$$M_p' = 1{,}6 \cdot \max\left\{M_1' ; M_2' ; M_3'\right\}$$

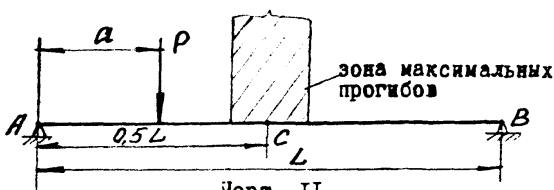
4.9. Выбор каркаса рамы производится по черт. I,2 и табл. I,2 в соответствии с максимальным расчетным моментом, полученным в п.п. 4.7. и 4.8.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО ПРОГИБА РАМЫ

5.1. Максимальный прогиб рамы имеет место в случае опирания рамы по концам.

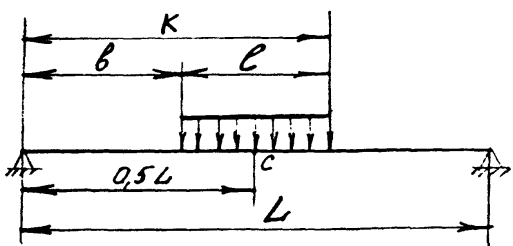
5.2. При определении максимального прогиба возможны два случая нагружения рамы:

- на раму действует сосредоточенная сила P (черт. II).



Черт. II

- на раму действует равномерно-распределенная нагрузка на участке протяженностью $\ell = K - b$ (черт. I2).



Черт. I2

5.3. Максимальный прогиб балки в зависимости от точки приложения силы P расположен в зоне $(0,42-0,58)\,L$, заштрихованной на черт. II. В дальнейшем в целях упрощения расчетов прогиб балки определяем для среднего сечения C, при этом учитывается, что максимальная погрешность, которая может быть получена по отношению к максимальному прогибу, не превышает 2,5%.

Для более сложных схем нагружения (несколько сосредоточенных сил) эта погрешность в общем случае уменьшается. Для большинства практических случаев нагружения балки максимальный прогиб будет иметь место в сечении С.

5.4. Прогиб в сечении С (черт. II) при действии на балку сосредоточенной силы определяется по формуле

$$f = \frac{P \cdot L^3}{1000 \cdot E \cdot J} \cdot F_P ,$$

где: F_P - коэффициент, который определяется по таблице 3 или по графику черт. I3-I7

5.5. Прогиб в сечении С (черт. I2) при действии равномерно-распределенной нагрузки определяется по формуле:

$$f = \frac{q \cdot L^4}{1000 \cdot E \cdot J} \cdot F_q$$

где: F_q - коэффициент, который определяется по таблице 4 или по графикам черт. I3-I6.

5.6. Для промежуточных значений отношений $\frac{a}{L}$ и $\frac{K}{L}$ при определении коэффициентов F_P и F_q с помощью таблиц 3, 4 используется линейная интерполяция. На черт. I8 графики коэффициентов F_P, F_q представлены в уменьшенном масштабе и указан ключ к пользованию ими.

В расчетных формулах прогиба модуль продольной упругости материала E принимается равным $2{,}1 \cdot 10^6$ кгс/см; а J - суммарный момент инерции продольных связей выбранного каркаса рамы.

Значения коэффициента F_p Таблица 3

$\frac{a}{L}$	0,00 1,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
F_p	0,00	0,63	1,25	1,87	2,50	3,12	3,73	4,35	4,96	5,56
$\frac{a}{L}$	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19
F_p	6,17	6,76	7,36	7,94	8,52	9,09	9,66	10,22	10,76	11,30
$\frac{a}{L}$	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29
F_p	11,83	12,35	12,86	13,36	13,85	14,32	14,79	15,24	15,67	16,09
$\frac{a}{L}$	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39
F_p	16,50	16,89	17,27	17,63	17,98	18,30	18,61	18,90	19,18	19,43
$\frac{a}{L}$	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49
F_p	19,67	19,88	20,08	20,25	20,40	20,53	20,64	20,72	20,78	20,82
$\frac{a}{L}$	0,50	0,51	0,52	0,53	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58	0,59
F_p	20,83	20,82	20,78	20,72	20,64	20,53	20,40	20,25	20,08	19,88
$\frac{a}{L}$	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69
F_p	19,67	19,43	19,18	18,90	18,61	18,30	17,98	17,63	17,27	16,89
$\frac{a}{L}$	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79
F_p	16,50	16,09	15,67	15,24	14,79	14,32	13,85	13,36	12,86	12,35
$\frac{a}{h}$	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89
F_p	11,83	11,30	10,76	10,22	9,66	9,09	8,52	7,94	7,36	6,76
$\frac{a}{L}$	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
F_p	6,17	5,56	4,96	4,35	3,73	3,12	2,50	1,87	1,25	0,63

Значения коэффициента F_q

Таблица 4

K/L	b/L																			
	0,000	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250	0,275	0,300	0,325	0,350	0,375	0,400	0,425	0,450	0,475
0,025	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,050	0,08	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,075	0,18	0,16	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,100	0,31	0,29	0,23	0,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,125	0,48	0,46	0,41	0,31	0,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,150	0,69	0,67	0,62	0,52	0,38	0,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,175	0,94	0,92	0,86	0,76	0,63	0,45	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,200	1,22	1,20	1,14	1,04	0,91	0,73	0,52	0,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,225	1,53	1,51	1,45	1,35	1,22	1,05	0,84	0,59	0,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,250	1,87	1,85	1,80	1,70	1,56	1,39	1,18	0,93	0,66	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,275	2,24	2,22	2,17	2,07	1,93	1,76	1,55	1,31	1,03	0,72	0,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,300	2,64	2,62	2,57	2,47	2,33	2,16	1,95	1,71	1,43	1,12	0,77	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-
0,325	3,07	3,05	2,99	2,89	2,76	2,59	2,38	2,13	1,85	1,54	1,20	0,82	0,43	-	-	-	-	-	-	-
0,350	3,52	3,50	3,44	3,34	3,21	3,03	2,82	2,58	2,30	1,99	1,64	1,27	0,87	0,45	-	-	-	-	-	-
0,375	3,98	3,96	3,91	3,81	3,67	3,50	3,29	3,05	2,77	2,45	2,11	1,74	1,34	0,91	0,47	-	-	-	-	-
0,400	4,47	4,45	4,39	4,29	4,16	3,98	3,77	3,53	3,25	2,94	2,60	2,22	1,82	1,40	0,95	0,48	-	-	-	-
0,425	4,97	4,95	4,89	4,79	4,65	4,48	4,27	4,03	3,75	3,44	3,09	2,72	2,32	1,90	1,45	0,98	0,50	-	-	-
0,450	5,47	5,45	5,40	5,30	5,16	4,99	4,78	4,54	4,26	3,95	3,60	3,23	2,83	2,41	1,96	1,49	1,01	0,51	-	-
0,475	5,99	5,97	5,91	5,82	5,68	5,51	5,30	5,05	4,77	4,46	4,12	3,75	3,35	2,92	2,48	2,01	1,52	1,03	0,52	-
0,500	6,51	6,49	6,43	6,34	6,20	6,03	5,82	5,57	5,29	4,98	4,64	4,27	3,87	3,44	3,00	2,53	2,04	1,55	1,04	0,52

Продолжение табл. 4

K/L	B/L																		
	0,000	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250	0,275	0,300	0,325	0,350	0,375	0,400	0,425	0,450	0,475
0,525	7,03	7,01	6,95	6,86	6,72	6,55	6,34	6,09	5,81	5,50	5,16	4,79	4,39	3,96	3,52	3,05	2,56	2,07	1,56	1,04
0,550	7,55	7,53	7,47	7,37	7,24	7,06	6,85	6,61	6,33	6,02	5,68	5,30	4,90	4,48	4,03	3,56	3,08	2,58	2,07	1,56
0,575	8,06	8,04	7,98	7,88	7,75	7,57	7,36	7,12	6,84	6,53	6,18	5,81	5,41	4,99	4,54	4,07	3,59	3,09	2,58	2,07
0,600	8,55	8,54	8,48	8,38	8,24	8,07	7,86	7,62	7,34	7,03	6,68	6,31	5,91	5,49	5,04	4,57	4,09	3,59	3,08	2,56
0,625	9,04	9,02	8,96	8,86	8,73	8,56	8,35	8,10	7,82	7,51	7,17	6,79	6,40	5,97	5,52	5,06	4,57	4,07	3,56	3,05
0,650	9,51	9,49	9,43	9,33	9,20	9,02	8,81	8,57	8,29	7,98	7,63	7,26	6,86	6,44	5,99	5,52	5,04	4,54	4,03	3,52
0,675	9,95	9,93	9,87	9,78	9,64	9,47	9,26	9,02	8,74	8,42	8,08	7,71	7,31	6,88	6,44	5,97	5,49	4,99	4,48	3,96
0,700	10,38	10,36	10,30	10,20	10,07	9,89	9,68	9,44	9,16	8,85	8,51	8,13	7,73	7,31	6,86	6,40	5,91	5,41	4,90	4,39
0,725	10,78	10,76	10,70	10,60	10,47	10,29	10,08	9,84	9,56	9,25	8,91	8,53	8,13	7,71	7,26	6,79	6,31	5,81	5,30	4,79
0,750	11,15	11,13	11,07	10,97	10,84	10,67	10,46	10,21	9,93	9,62	9,28	8,91	8,51	8,08	7,63	7,17	6,68	6,18	5,68	5,16
0,775	11,49	11,47	11,41	11,32	11,18	11,01	10,80	10,56	10,28	9,96	9,62	9,25	8,85	8,42	7,98	7,51	7,03	6,53	6,02	5,50
0,800	11,80	11,79	11,73	11,63	11,49	11,32	11,11	10,87	10,59	10,28	9,93	9,56	9,16	8,74	8,29	7,82	7,34	6,84	6,33	5,81
0,825	12,08	12,06	12,01	11,91	11,77	11,60	11,39	11,15	10,87	10,56	10,21	9,84	9,44	9,02	8,57	8,10	7,62	7,12	6,61	6,09
0,850	12,33	12,31	12,25	12,15	12,02	11,85	11,64	11,39	11,11	10,80	10,46	10,08	9,68	9,26	8,81	8,35	7,86	7,36	6,85	6,34
0,875	12,54	12,52	12,46	12,36	12,23	12,05	11,85	11,60	11,32	11,01	10,67	10,29	9,89	9,47	9,02	8,56	8,07	7,57	7,06	6,55
0,900	12,71	12,69	12,63	12,54	12,40	12,23	12,02	11,77	11,49	11,18	10,84	10,47	10,07	9,64	9,20	8,73	8,24	7,75	7,24	6,72
0,925	12,85	12,83	12,77	12,67	12,54	12,36	12,15	11,91	11,63	11,32	10,97	10,60	10,20	9,78	9,33	8,86	8,38	7,88	7,37	6,86
0,950	12,94	12,92	12,87	12,77	12,63	12,46	12,25	12,01	11,73	11,41	11,07	10,70	10,30	9,87	9,43	8,96	8,48	7,98	7,47	6,95
0,975	13,00	12,98	12,92	12,83	12,69	12,52	12,31	12,06	11,79	11,47	11,13	10,76	10,36	9,93	9,49	9,02	8,54	8,04	7,53	7,01
1,000	13,02	13,00	12,94	12,85	12,71	12,54	12,33	12,08	11,80	11,49	11,15	10,78	10,38	9,95	9,51	9,04	8,55	8,06	7,55	7,03

Продолжение табл. 4

K/L	b/L																			
	0,500	0,525	0,550	0,575	0,600	0,625	0,650	0,675	0,700	0,725	0,750	0,775	0,800	0,825	0,850	0,875	0,900	0,925	0,950	0,975
0,525	0,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,550	I,04	0,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,575	I,55	I,03	0,5I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,600	2,04	I,52	I,0I	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,625	2,53	2,0I	I,49	0,98	0,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,650	3,00	2,48	I,96	I,45	0,95	0,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,675	3,44	2,92	2,4I	I,90	I,40	0,9I	0,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,700	3,87	3,35	2,83	2,32	I,82	I,34	0,87	0,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,725	4,27	3,75	3,23	2,72	2,22	I,74	I,27	0,82	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.750	4,64	4,I2	3,60	3,09	2,60	2,II	I,64	I,20	0,77	0,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,775	4,98	4,46	3,95	3,44	2,94	2,45	I,99	I,54	I,I2	0,72	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,800	5,29	4,77	4,26	3,75	3,25	2,77	2,30	I,85	I,43	I,03	0,66	C,3I	-	-	-	-	-	-	-	-
0,825	5,57	5,05	4,54	4,03	3,53	3,05	2,58	2,I3	I,7I	I,3I	0,93	0,59	0,28	-	-	-	-	-	-	-
0,850	5,82	5,30	4,78	4,27	3,77	3,29	2,82	2,38	I,95	I,55	I,I8	0,84	0,52	0,25	-	-	-	-	-	-
0,875	6,03	5,5I	4,99	4,48	3,98	3,50	3,03	2,59	2,I6	I,76	I,39	I,05	0,73	0,45	0,2I	-	-	-	-	-
0,900	6,20	5,68	5,I6	4,65	4,I6	3,67	3,2I	2,76	2,33	I,93	I,56	I,22	0,9I	0,63	0,38	0,I7	-	-	-	-
0,925	6,34	5,82	5,30	4,79	4,29	3,8I	3,34	2,89	2,47	2,07	I,70	I,35	I,04	0,76	0,52	0,3I	0,I4	-	-	-
0,950	6,43	5,9I	5,40	4,89	4,39	3,90	3,44	2,99	2,57	2,I7	I,79	I,45	I,I4	0,86	0,62	0,4I	0,23	0,I0	-	-
0,975	6,49	5,97	5,45	4,95	4,45	3,96	3,50	3,05	2,62	2,23	I,85	I,5I	I,20	0,92	0,67	0,46	0,29	0,I6	0,06	-
I,000	6,5I	5,99	5,47	4,97	4,47	3,98	3,52	3,07	2,64	2,24	I,87	I,53	I,22	0,94	0,69	0,48	0,3I	0,I8	0,08	0,02

6. РАСЧЕТ МЕСТНОЙ ПРОЧНОСТИ

6.I. В расчете местной прочности рассматриваются поперечные или дополнительные балки, на которых сосредоточены значительные нагрузки.

6.2. Балки рассматриваются как свободно-опертые по концам при двух видах нагружения: нагружение при гидравлических испытаниях и нагружение при строповке блока. При этом расчетный момент принимается большим из двух величин M_I'' и M_2'', где $M_I'' = M_I max$ – максимальный изгибающий момент, действующий на балку при гидравлических испытаниях блока, $M_2'' = K_д \cdot M_2 max$ – максимальный изгибающий момент, действующий на балку при строповке блока, умноженный на коэффициент динамичности $K_д = I,I$.

$$M_р = max \left\{ M_1'' ; M_2'' \right\}$$

6.3. Расчет балок после выбора схемы нагрузок производится в той же последовательности, что и расчет продольных балок в случае опирания рамы по концам.

6.4. При расчете местной прочности необходимо выполнение следующих условий:

$$б = \frac{M_р}{W} \leq б_{доп} = 2100 \frac{кгс}{см^2} \quad и \quad \frac{f}{\ell} \leq \left[\frac{f}{\ell} \right] = 0,005$$

где:

W – момент сопротивления поперечного сечения рассматриваемой балки в $см^3$;

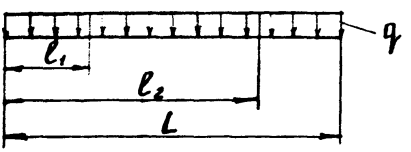
f – прогиб среднего сечения балки в см;

ℓ – длина балки в см.

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ МОМЕНТОВ И ПРОГИБОВ РАМЫ ДЛЯ ЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ НАГРУЖЕНИЯ

7.I. Равномерно распределенная нагрузка.

7.I.I. Схема нагрузки, действующей на раму представлена на черт. I9 (ℓ_1 и ℓ_2 - координаты мест строповки рамы).



Черт. I9

7.I.2. Расчетный момент при установке блока на неровную площадку принимается равным

$$M_p = 1{,}2\,\frac{q \cdot L^2}{8}$$

7.I.3. Расчетный момент при строповке блока принимается равным большей по модулю из двух величин M_I и M_2, умноженных на коэффициент I,6:

$$M_1 = \frac{q \cdot \ell^2}{2}, \text{ где } \ell = max\left\{\ell_1; (L-\ell_2)\right\}$$

$$M_2 = \frac{q \cdot L(\ell_2 - 0{,}5L)}{\ell_2 - \ell_1}\left[\frac{0{,}5L(\ell_2 - 0{,}5L)}{\ell_2 - \ell_1} - \ell_1\right]$$

при симметрично-расположенных стропах относительно середины рамы

$$M_1 = \frac{q \cdot \ell_1^2}{2}; \qquad M_2 = \frac{q \cdot L}{8}(L - 4\ell_1);$$

$$M_p = 1{,}6\, max\left\{M_1; M_2\right\}$$

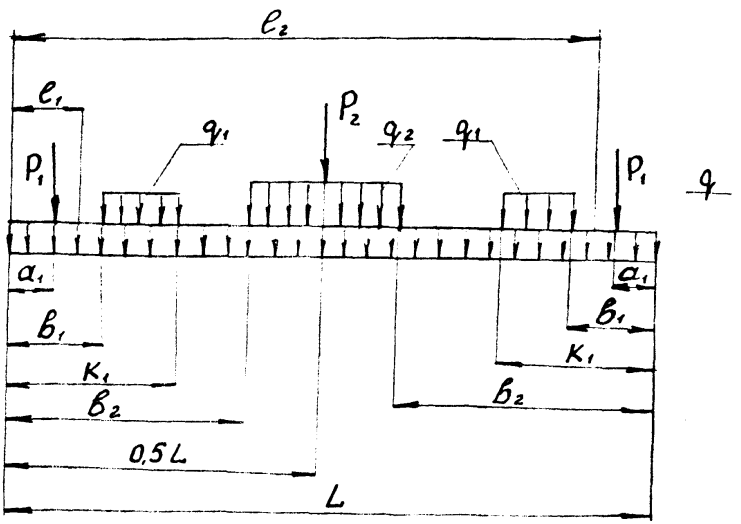
7.I.4. По максимальному расчетному моменту, полученному в п.п. 7.I.2. и 7.I.3. выбирается каркас рамы по черт. I, 2 и табл. I, 2.

7.I.5. Максимальный прогиб рамы определяется по формуле

$$f = \frac{0{,}013 \cdot q \cdot L^4}{E \cdot J}$$

7.2. Нагрузки, симметрично-расположенные относительно середины рамы.

7.2.I. Схема нагрузок, действующих на раму представлена на черт. 20 (ℓ_1 и ℓ_2 – координаты мест строповки блока). В схеме представлены возможные варианты нагрузок: внецентренно приложенные нагрузки P_1 и q_1 и центральные P_2 и q_2, а также равномерно-распределенная нагрузка q. Используя нижеприведенные зависимости, легко их обобщить для любого числа нагрузок.



Черт. 20

7.2.2. Опорные реакции при опирании рамы по концам

$$R_A = R_B = \frac{q_1 \cdot L}{2} + P_1 + \frac{P_2}{2} + q_{11}(K_1 - B_1) + q_2(0{,}5L - B_2)$$

7.2.3. Вертикальные составляющие усилий канатов при строповке блока

$$R_1 = \frac{2R_A(\ell_2 - 0{,}5L)}{\ell_2 - \ell_1}\ ;\quad R_2 = \frac{2R_A(0{,}5L - \ell_1)}{\ell_2 - \ell_1}$$

7.2.4. Расчетный момент при установке блока на неровную площадку принимается большей из двух величин, умноженный на коэффициен I,2

$$M_1 = R_A\frac{L}{2} - \frac{q_1 L^2}{8} - P_1(0{,}5L - a_1) - 0{,}5q_{11}(0{,}5L - B_1)^2 + 0{,}5q_{11}(0{,}5L - K_1)^2 - 0{,}5q_2(0{,}5L - B_2)^2;$$

$$M_2 = \frac{q_1 L^2}{8} + P_1(0{,}5L - a_1) + 0{,}5q_{11}(0{,}5L - B_1)^2 - 0{,}5q_{11}(0{,}5L - K_1)^2 + 0{,}5q_2(0{,}5L - B_2)^2,$$

$$M_p = 1{,}2\ max\left\{M_1; M_2\right\}.$$

7.2.5. Расчетный момент при строповке блока принимается большим (по модулю) из двух величин, умноженных на коэффициент I,6

$$M_1 = 0{,}5q_1 \cdot \ell + \underset{\ell > a_1}{\left|P_1(\ell - a_1)\right|} + \underset{\ell > B_1}{\left|0{,}5q_{11}(\ell - B_1)^2 - 0{,}5q_{11}(\ell - K_1)^2 + 0{,}5q_2(\ell - B_2)^2\right|}$$

где $\ell = max\left\{\ell_1; (L - \ell_2)\right\}$.

$$M_2 = -\frac{q_1 \cdot x_0'^2}{2} - \sum_{x > a_1} P_1 (x_0' - a_1) - \sum_{x > b_1} 0{,}5 q_1 (x_0' - b_1)^2 + \sum_{x > k_1} 0{,}5 q_1 (x_0' - k_1)^2 -$$

$$- \sum_{x > 0{,}5L} P_2 (x_0' - 0{,}5L) - \sum_{x > 0{,}5L} q_1 (L - 2b_2)(x_0' - 0{,}5L) + R_1 (x_0' - \ell_1),$$

где координаты X_0' определяется по п. 4.6.

$$M_p = 1{,}6 \max \{ M_1 ; M_2 \}$$

gost.e-ecolog.ru