МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬНОГО, ДОРОЖНОГО
И КОММУНАЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ СССР

РУКОВОДЯЩИЙ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ

# ЭКСКАВАТОРЫ ОДНОКОВШОВЫЕ. ПОВОРОТНЫЕ ПЛАТФОРМЫ И ХОДОВЫЕ РАМЫ. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ

# РД 22-157—86

МОСКВА 1987

gost.e-ecolog.ru

**УТВЕРЖДЕН:** Зам. генерального директора НПО «ВНИИстройдормаш» **П. В. Панкрашкиным** 22 октября 1986 г.

**ИСПОЛНИТЕЛИ:** **А. Р. Айзенштат**, инж.; **О. И. Грицевец**, инж; **В. Б. Елизарова**, инж.; **А. М. Крылов**, к.т.н.; **М. М. Гайцгори**, к.т.н.; **В. Л. Лифшиц**, к.т.н.; **Ю. М. Гольдин**, к.т.н.; **Г. А. Кондрахин**, к.т.н.; **Н. Н. Лукшо**, инж.
(НПО «ВНИИстройдормаш»)

Группа Г02

РУКОВОДЯЩИЙ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ

| | |
|---|---|
| Экскаваторы одноковшовые. Поворотные платформы и ходовые рамы. Расчет на прочность. | РД 22-157-86 Введен впервые |
| Срок введения | с 01.07.87 г. |

Настоящий руководящий документ (РД) устанавливает порядок расчета на прочность металлоконструкций поворотных платформ и ходовых рам гидравлических и канатных одноковшовых экскаваторов с применением стандартных программ, реализующих метод конечных элементов (МКЭ) на ЭВМ. При разработке РД использованы материалы исследований, проведенных во ВНИИстройдормаше.

## I. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАСЧЕТУ

I.I. РД устанавливает методику расчета и порядок подготовки исходных данных для расчета на прочность металлоконструкций поворотных платформ и ходовых рам одноковшовых экскаваторов.

I.2. РД распространяется на металлоконструкции поворотных платформ и ходовых рам универсальных гидравлических и канатных экскаваторов на гусеничном и колесном ходу.

I.3. Расчетные схемы представляют собой пространственные идеализированные конструкции, включающие все конструктивные элементы, работающие совместно: поворотные платформы, нижние, ходовые и гусеничные рамы, опорно-поворотное устройство.

I.4. Нагрузки определяются с учетом коэффициентов перегрузки и задаются в узлах расчетной схемы.

I.5. Для обеспечения прочности должны выполняться условия:

$$\sigma_{пр} \leq 1{,}15\, R_y m$$
$$\sigma \leq R_y m \qquad (I.1)$$
$$\tau \leq R_s m ,$$

где $\sigma_{пр}$ – приведенное расчетное напряжение в элементе;

$R_y$ – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести;

$\sigma$ – нормальное напряжение;

$\tau$ – касательное напряжение

$R_s$ – расчетное сопротивление стали сдвигу;

$m$ – коэффициент условий работы.

Для конечных элементов пластинчатого типа

$$\sigma_{пр}=\sqrt{\sigma_x^2-\sigma_x\sigma_y+\sigma_y^2+3\tau^2}\leq 1{,}15\,R_y m \qquad (1.2)$$

$$\sigma\leq R_y m\ ,\quad \tau\leq R_s m,$$

где $\sigma_x$ и $\sigma_y$ – нормальные напряжения по двум взаимно перпендикулярным осям $x$ и $y$ локальной системы координат (черт. 1.1)

Напряжения, входящие в формулу (1.2) определяются по зависимостям:

$$\sigma_x=\sigma_x'+\sigma_x''\ ;\ \sigma_y=\sigma_y'+\sigma_y''\ ;\ \tau=\tau_{xy}'+\tau_{xy}''\ , \qquad (1.3)$$

где $\sigma_x'$, $\sigma_y'$, $\tau_{xy}'$ – изгибные напряжения по толщине пластинки;

$\sigma_x''$, $\sigma_y''$, $\tau_{xy}''$ – мембранные напряжения.

Изгибные напряжения по толщине пластинки определяются из соотношений:

$$\sigma_x'=\pm\frac{6M_x}{t^2}\ ;\ \sigma_y'=\pm\frac{6M_y}{t^2}\ ;\ \tau_{xy}'=\pm\frac{6M_{xy}}{t^2}\ , \qquad (1.4)$$

где $M_x, M_y, M_{xy}$ – внутренние моменты, действующие на единицу длины $x$ и $y$ ;

$t$ – толщина пластинки;

Нормальные мембранные напряжения $\sigma_x''$ и $\sigma_y''$ действуют вдоль осей $x$ и $y$ соответственно местной системы координат пластинки, напряжение сдвига $\tau_{xy}''$ соответствует деформации, при которой диагональ I-4 удлиняется, а диагональ 2-3 укорачивается, либо наоборот (черт.I.I).

Напряжения $\sigma_x$ и $\sigma_y$ следует определять в одной точке конечного элемента и брать каждое со своим знаком.

Для конечных элементов стержневого типа

$$\sigma_{пр} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leqslant 1{,}15\, R_y m \qquad (I.5)$$

$$\tau \leqslant R_s m, \quad \sigma \leqslant R_y m$$

Нормальные напряжения $\sigma$ и касательные напряжения $\tau$ определяются в соответствии с рекомендациями РД 22-I58-86 "Экскаваторы одноковшовые гидравлические. Рабочее оборудование. Расчет на статическую прочность металлоконструкций" (пункты 6.2, 6.3, 6.6).

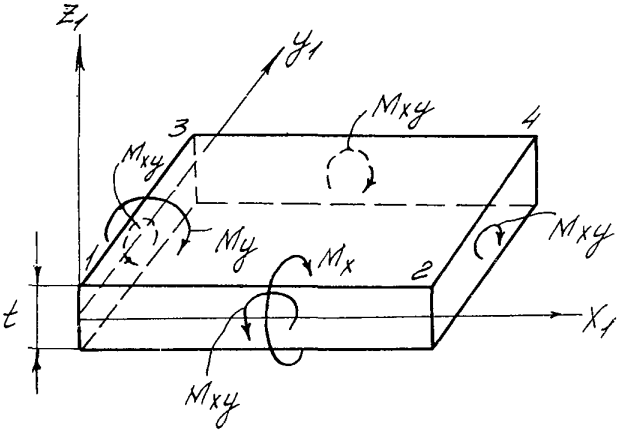
Геометрические характеристики поперечных сечений вычисляются в соответствии с пунктами 6.4, 6.5 РД 22 I58-86.

Расчетные сопротивления принимаются по приложению I в соответствии со СНиП II-23-8I "Стальные конструкции". Для сталей, не представленных в Приложении I, расчетное сопротивление принимается равным меньшему из двух значений: 0,8 от предела текучести или 0,5 от предела прочности.

Коэффициенты перегрузки принимаются по таблице I.I.

Таблица I.I.

| Нагрузка | Коэффициент перегрузки К |
|---|---|
| I. Собственный вес металлоконструкций | I,I |
| 2. Усилия в гидроцилиндрах стрелы | I,I |
| 3. Момент механизма привода поворота | I,I |
| 4. Усилия в пяте стрелы для гидравлических экскаваторов | I,I |
| 5. Усилия в шарнирах крепления двуногой стойки | I,2 |
| 6. Усилия в опорах валов лебедок | I,2 |
| 7. Усилия в пяте стрелы для канатных экскаваторов | I,2 |

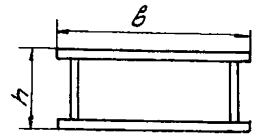
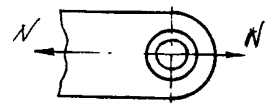
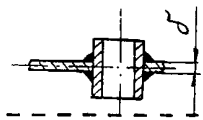
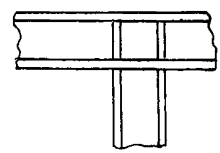



Черт. I.I.

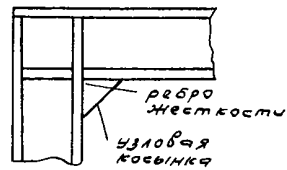
Коэффициенты условий работы принимаются по таблице I.2. В неоговоренных случаях $m$ = I.

Таблица I.2

Коэффициенты условий работы $m$

| № пп | Наименование элемента конструкции | Схема элемента конструкции | $m$ |
|---|---|---|---|
| I. | Элементы с малым поперечным сечением: листы, трубы, гнутые профили со стенками толщиной до 4 мм, равнобокие уголки L63x6, неравнобокие уголки до L90x56x6, швеллеры до № 8 | | 0,9 |
| 2. | Болты диаметром до I2 мм | | 0,85 |
| 3. | Элементы коробчатых конструкций с соотношением сторон более 3:I |   | 0,9 |
| 4. | Сечения, включающие швы и основной металл, например, расчет сварных швов приварки втулки |     | 0,9 |
| 5. | Элементы внутренних углов в узлах без узловых уширений, косынок, дифрагм, ребер жесткости |  | 0,3 |

Продолжение табл.1.2

| №№ пп | Наименование элемента конструкций | Схема элемента конструкции | |
|---|---|---|---|
| 6. | То же с узловыми уширениями, косынками, диафрагмами, ребрами жесткости |  | 0,9 |
| 7. | Проушины крепления пяты стрелы и цилиндров стрелы | | 0,8 |
| 8. | Участки продольных балок поворотной платформы прилегающие к проушинам крепления пяты стрелы | | 0,7 |

## 2. НАГРУЗКИ

2.1. Нагрузками при определении прочности металлоконструкций поворотных платформ и ходовых рам являются: веса узлов металлоконструкций, веса наиболее крупных агрегатов, расположенных на поворотной платформе; максимальный момент механизма поворота; расчетные усилия в опорах пяты стрелы, гидроцилиндров стрелы для гидравлических экскаваторов, валов лебедок и двуногой стойки для канатных экскаваторов.

2.2. Весовые нагрузки от агрегатов и механизмов, расположенных на поворотной платформе, прикладываются в узлах расчетной схемы, соответствующих креплению агрегатов и механизмов.

2.3. Собственные веса металлоконструкций определяются по чертежам и распределяются по узлам конечных элементов. Для упрощения расчетов допускаются отклонения от действительной схемы передачи нагрузок, не снижающие запаса прочности: собственный вес можно присоединять к сосредоточенным нагрузкам.

2.4. Расчетные нагрузки, действующие на поворотную платформу гидравлических экскаваторов.

2.4.1. Для гидравлических экскаваторов расчет прочности поворотных платформ и ходовых рам ведется с оборудованием обратная лопата, в момент стопорения (упор в непреодолимое препятствие), так как в этом случае по исследованиям ВНИИстройдормаша на поворотную платформу и ходовую раму передаются наибольшие нагрузки.

2.4.2. Расчетные нагрузки в проушинах крепления пяты стрелы и цилиндров стрелы определяются по результатам расчета рабочего оборудования для трех расчетных случаев:

а) усилие в пяте стрелы максимально;

б) вертикальная составляющая усилия в пяте стрелы максимальна;

в) горизонтальная составляющая усилия в пяте стрелы максимальна.

2.4.3. Для задания расчетных нагрузок в проушинах крепления пяты и цилиндров стрелы, возникающих при взаимодействии ковша с грунтом, рекомендуется пользоваться разработанной во ВНИИстройдормаше программой МЕСН, позволяющей определить величину и направление максимальных усилий в пяте стрелы и соответствующих

им усилий в гидроцилиндрах стрелы в результате перебора всех вероятных положений ковша в забое с учетом ограничений по устойчивости и по реактивному давлению в гидроцилиндрах. Копание производится как выдвижением цилиндра ковша, так и выдвижением цилиндра рукояти. (См. РД 22-158-86 Экскаваторы одноковшовые гидравлические. Рабочее оборудование. Расчет на статическую прочность металлоконструкций).

2.4.4. Коэффициент перегрузки принимается равным I при задании расчетных нагрузок в проушинах крепления пяты стрелы и цилиндров стрелы по результатам расчета рабочего оборудования по программе МЕСН, так как величины усилий в пяте стрелы и в цилиндрах стрелы вычисляются по программе МЕСН с учетом соответствующих коэффициентов перегрузки.

2.4.5. В пяте стрелы при взаимодействии ковша с грунтом от усилия $P_o$, действующего на зубе ковша, возникает усилие $F$, величина и направление которого определяются по результатам расчета рабочего оборудования. Усилие передается на поворотную платформу в проушинах крепления пяты стрелы (черт. 2.I)

$$F_л = F_п = \frac{F}{2} , \qquad (2.I)$$

где $F_л$, $F_п$ – усилия в левой и правой проушинах крепления пяты стрелы;

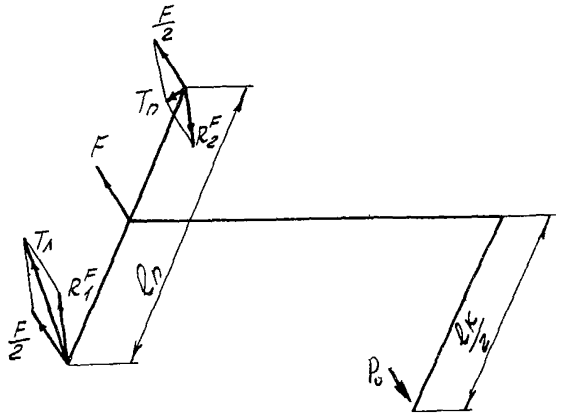
$F$ – реакция в пяте стрелы от усилия $P_o$.

Усилие $P_o$ прикладывается к крайнему зубу ковша и создает момент в пяте стрелы, который передается на поворотную платформу. Момент представляется парой сил $R_1^F$ и $R_2^F$, приложенных к проушинам крепления пяты стрелы (черт. 2.I).

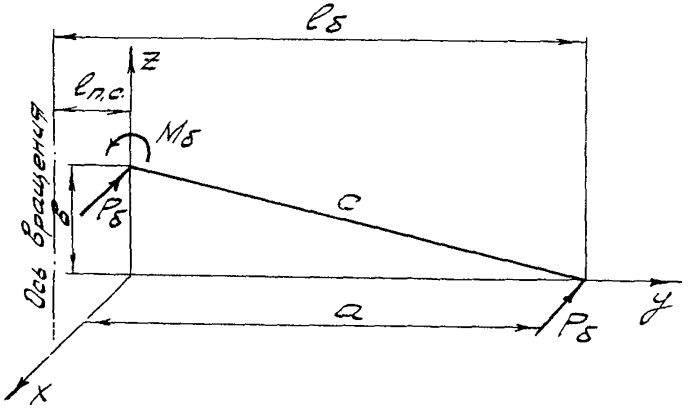
$$R_1^F = -R_2^F = \frac{1}{2} P_o \frac{\ell_к}{\ell_п} , \qquad (2.2)$$

где: $\ell_к$ – ширина ковша;

$\ell_п$ – расстояние между проушинами крепления пяты стрелы.




Черт. 2.I




Черт. 2.2

Суммарные векторы усилий $\overline{T}_л$ и $\overline{T}_п$ в проушинах крепления пяты стрелы, возникающие от усилия на зубе ковша, выразятся:

левая проушина

$$\overline{T}_л = \frac{1}{2}\overline{F} + \overline{R}_1^F = \frac{1}{2}\left(\overline{F} + P_o \frac{\ell_к}{\ell_п}\right), \qquad (2.3)$$

правая проушина

$$\overline{T}_п = \frac{1}{2}\overline{F} + \overline{R}_2^F = \frac{1}{2}\left(\overline{F} - P_o \frac{\ell_к}{\ell_п}\right)$$

2.4.6. В расчете учитывается действие боковой силы возникающей на режущей кромке ковша от включения механизма поворота при стопорении.

$$P_\delta = \frac{M_п}{\ell_\delta} \qquad (2.4)$$

$$\ell_\delta = \ell_{п.с.} + a, \qquad (2.5)$$

где: $\ell_{пс}$ – расстояние от оси вращения до пяты стрелы;

$a$ – расстояние от пяты стрелы до зубьев ковша по горизонтальной оси $y$, расположенной в плоскости рабочего оборудования (черт. 2.2).

Расстояния $a$ и $b$ от пяты стрелы до зубьев ковша по горизонтальной оси $y$ и вертикальной оси $Z$ соответственно меняются в зависимости от положения ковша в забое (черт. 2.2).

Боковая сила $P_\delta$ создает в проушинах крепления пяты стрелы реактивную силу и момент $M_\delta$ равный

$$M_\delta = P_\delta c, \qquad (2.6)$$

где: $c$ – расстояние от пяты стрелы до зубьев ковша в плоскости рабочего оборудования.

Момент $M_б$ раскладывается на два составляющих момента $M_г$ и $M_в$, действующих в горизонтальной и вертикальной плоскости соответственно.

$$M_г = P_б a$$
$$M_в = P_б b \qquad (2.7)$$

Расчетные нагрузки в левой и правой проушинах крепления пяты стрелы от действия боковой силы $P_б$ на рабочем органе выражаются следующим образом (черт. 2.3).

От момента $M_г$, действующего в горизонтальной плоскости, в проушинах крепления пяты стрелы возникает пара сил

$$R_л^г = -R_п^г = \frac{M_г}{\ell_п} = \frac{P_б a}{\ell_п} \qquad (2.8)$$

От момента $M_в$, действующего в вертикальной плоскости, в проушинах крепления пяты стрелы возникает пара сил

$$R_л^в = -R_п^в = \frac{M_в}{\ell_п} = \frac{P_б b}{\ell_п} \qquad (2.9)$$

При боковых зазорах в пятах стрелы боковая сила $P_б$ может восприниматься одной проушиной (правой или левой). Следует прикладывать боковую силу к наиболее нагруженной проушине (черт. 2.3).

$$P_л^б = P_б$$

2.4.7. Все расчетные нагрузки, действующие в проушинах крепления пяты и цилиндров стрелы на поворотной платформе, приводятся к вертикальным и горизонтальным равнодействующим для каждой проушины.

2.5. Расчетные нагрузки, действующие на поворотную платформу канатных экскаваторов.

2.5.I. При расчете прочности платформ и ходовых рам канатных экскаваторов нагрузки выбираются для момента отрыва препятствия ковшом прямой лопаты усилиями подъема и возврата, когда возникают максимальное усилие в стрелоподъемном полиспасте и максимальное усилие сжатия стрелы.

2.5.2. Расчетные нагрузки, возникающие от взаимодействия ковша с грунтом, определяются для положения рабочего оборудования согласно черт. 2.4. Стрела находится под минимальным углом $\alpha$ рукоять перпендикулярна стреле на полном вылете.

2.5.3. Реакции $V$ и $U$ в пяте стрелы, которые передаются на поворотную платформу, определяются из суммы моментов, действующих на стрелу нагрузок, относительно оси блоков головы стрелы и их проекций на продольную ось стрелы.

На стрелу действуют следующие нагрузки: расчетные усилия на блоке ковша $S_п$ и напора или возврата $S_н$ ; веса стрелы $G_c$ , блоков головы стрелы $G_{бл}$ и напорного механизма $G_{нм}$ расположенного на стреле (черт. 2.4, 2.6).

При определении реакций $U$ и $V$ необходимо учитывать схему запасовки канатов подъема ковша (черт. 2.5).

Для независимой схемы с канатным или цепным напором и для комбинированной схемы напора с напорным барабаном, расположенным на валу напора,

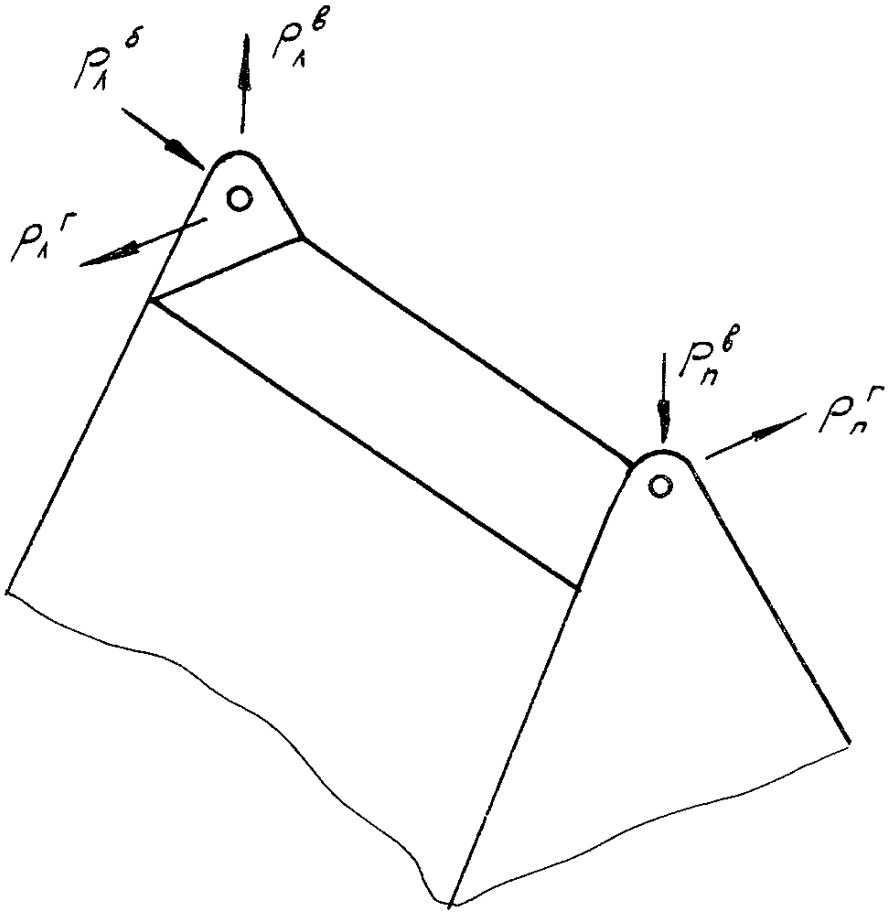
$$V=\frac{1}{l_c}\left[S_н(l_c-z_6)-G_c(l_c\cos\alpha-z_5)-\right. \qquad (2.10)$$
$$\left.-G_{нм}(l_c\cos\alpha-z_4)+S_{нз}z_8+(S_п-S_{пк}i)z_{бл}\right];$$

$$U=S_п\cos\varphi+S_{пк}i\cos\gamma+S_{пс}\cos\beta+ \qquad (2.11)$$
$$+(G_{бл}+G_c+G_{нм})\sin\alpha+S_{нз}\cos\varepsilon\ ;$$

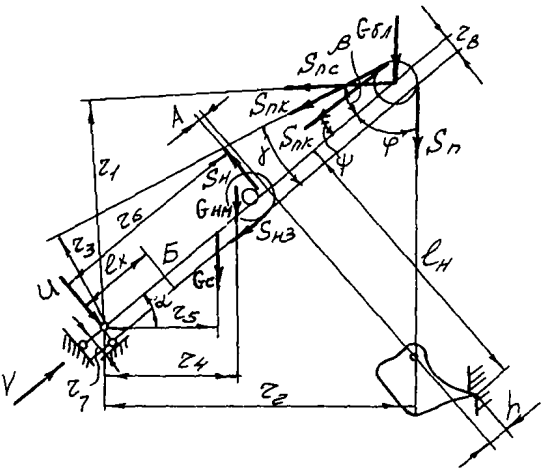
где: $l_c$ – длина стрелы;

$S_{нз}$ – усилие в цепи привода напора или в напорных канатах;

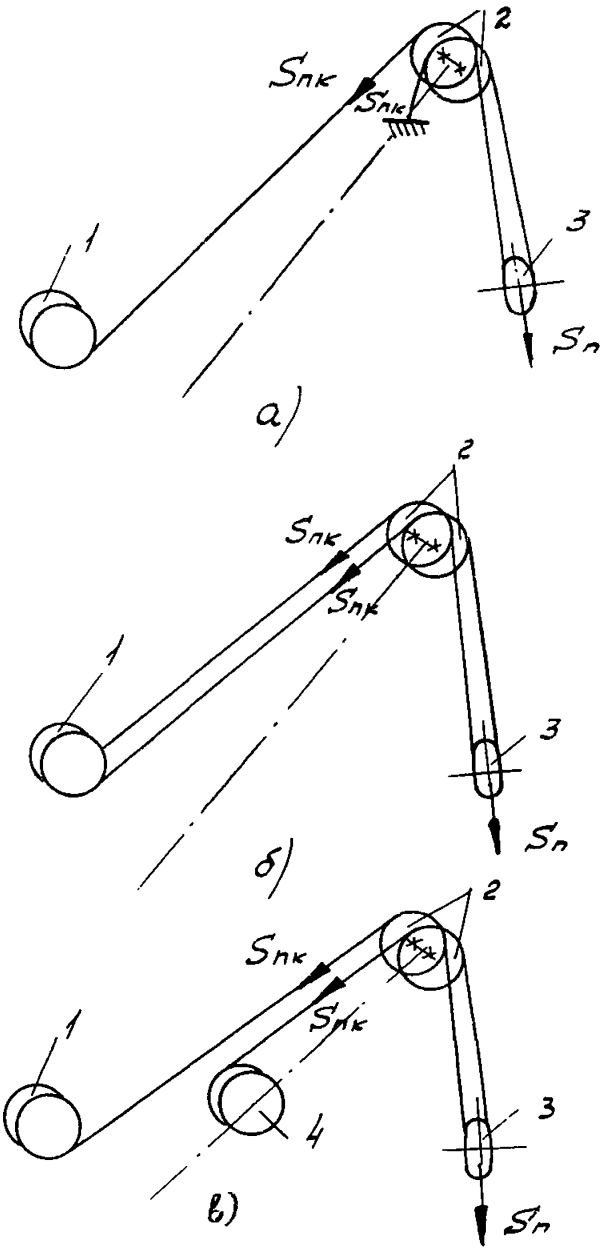
$S_{нк}$ – усилие в подъемном канате.




Черт. 2.3




Черт.24.




Черт.2.5. Схема запасовки канатов подъема ковша экскаватора: а-независимая полиспастная; б-независимая бесполиспастная; в-зависимая; 1-барабан подъема ковша; 2-блоки головы стрелы; 3-блок ковша; 4-напорный барабан.

$$S_{нк} = \frac{S_п}{i_п \eta_п} \qquad (2.I2)$$

где: $i_п$ – кратность полиспаста механизма подъёма ковша;
$\eta_п$ – к.п.д. полиспаста механизма подъёма.

Для комбинированной схемы напора с напорным барабаном, расположенным в пяте стрелы, в формуле (2.I0) принимается $(S_п - S_{нк} i) r_{бл} = 0$, а в формуле (2.II) вместо $S_{нк} i \cos\gamma$ подставляется $S_{нк}(\cos\gamma + \cos\psi)$

Для индивидуального привода напора при напорном механизме, расположенном на стреле, в формуле (2.I0) и (2.II) значения

$$S_{нз} r_8 = S_{нз} \cos\varepsilon = 0$$

$r_{бл}$ – радиус головных блоков стрелы,
$r_1 \div r_8$ – плечи сил, действующих на стрелу.

$$\varepsilon = arctg \frac{r_8 - r_7}{l_c}$$

Для большинства конструкций без больших погрешностей можно принимать $\cos\varepsilon = I$

$$\cos\gamma = \frac{r_3 - r_{бл}}{l_c}$$

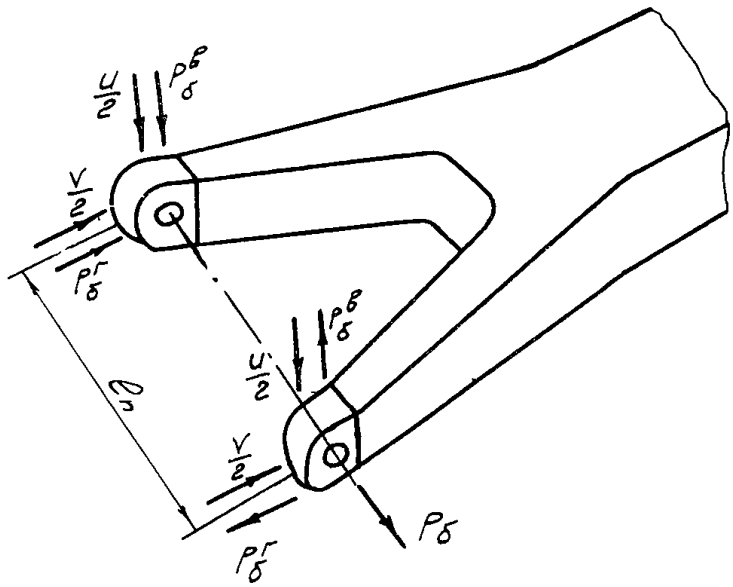
$$\cos\beta = \frac{r_1}{l_c}$$

$S_{пс}$ – усилие в подвеске стрелы находится из суммы моментов относительно пяты стрелы.

Для независимой схемы с канатным или цепным напором и для независимой схемы напора с напорным барабаном, расположенным на валу напора

$$S_{пс} = \frac{1}{r_1}\left(S_п r_2 + G_{бл} l_c \cos\alpha - S_{нк} i r_3 + G_c r_5 + \right. \qquad (2.I3)$$

$$\left. + G_{нм} r_4 - S_н r_6 + S_{нз} r_7\right)$$




Черт. 2.6

Для комбинированной схемы напора с напорным барабаном, расположенным в пяте стрелы

$$S_{пс} = \frac{1}{r_1}\left[S_п r_2 + G_{бл} l_c \cos\alpha - S_{пк}(r_3 + r_{бн}) + \right.$$
$$\left. + G_c r_5 + G_{нм} r_4 - S_н r_6 + S_{нз} r_7 \right], \qquad (2.I4)$$

где $r_{бн}$ – радиус зависимой части напорного барабана.

Для индивидуального привода напора при расположении напорного механизма на стреле усилие $S_{пс}$ определяется по формуле (2.I3) при $S_{нз} r_7 = 0$.

2.5.4. При задании внешних нагрузок учитывается боковая сила $P_б$, которая находится по формуле (2.4). Составляющие реакции от боковой силы $P_б$ определяются зависимостями: (черт. 2.6)

$$P_б^в = \frac{P_б l_н}{l_п},$$
$$P_б^г = \frac{P_б l_{нв}}{l_п} \qquad (2.I5)$$

где $l_{нв}$ – расстояние от пяты стрелы до напорного вала (нопорной оси).

Ввиду наличия значительных боковых зазоров в опорах пяты стрелы боковая сила $P_б$ действует только на одну более нагруженную проушину.

2.5.5. Реакции в опорах штанг двуногой стойки на поворотной платформе определяются следующим образом

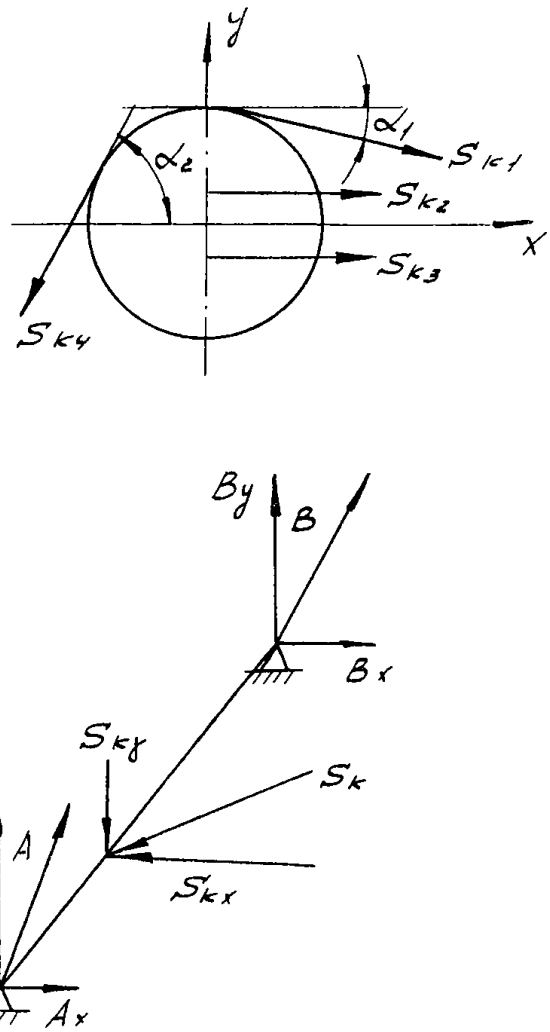
$$S_к = \frac{S_{пс}}{n}, \qquad (2.I6)$$

где $S_к$ – усилие в ветвях полиспаста;

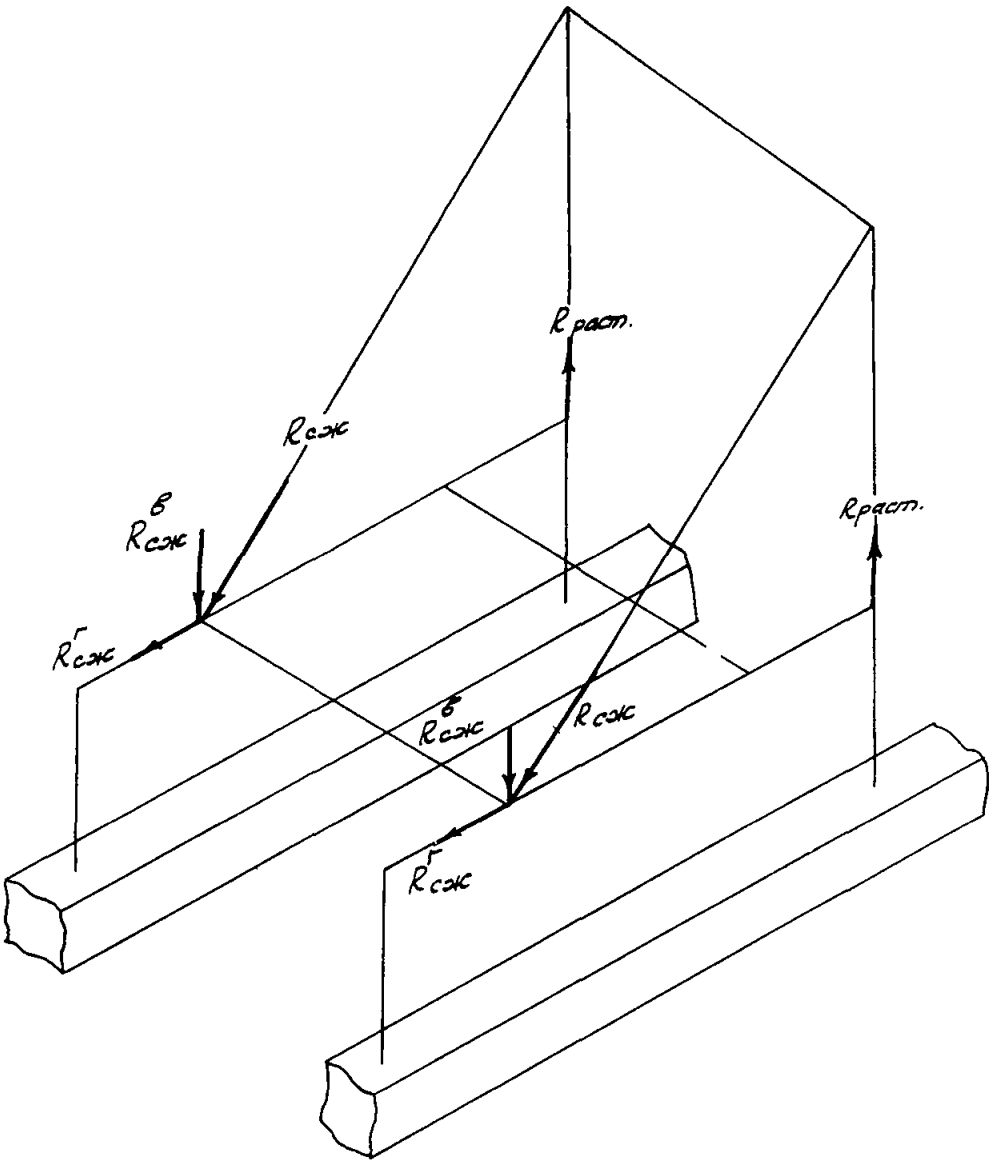
$n$ – количество ветвей.

Находятся проекции усилий в ветвях полиспаста на оси $X$ и $Y$

$$S_{кy} = \sum S_{кi} \sin\alpha_i,$$
$$S_{кx} = \sum S_{кi} \cos\alpha_i,$$




Черт. 2.7




Черт. 2.8

определяются опорные реакции А и В, а затем графически находятся усилия в штангах двуногой стойки (черт. 2.7).

На черт. 2.8 представлена схема нагружения поворотной платформы в опорах двуногой стойки.

2.5.6. Из общего расчёта экскаватора выбираются реакции в опорах переднего и заднего валов лебёдки на поворотной платформе.

На черт. 2.9 дана типовая схема нагружения для расчёта поворотной платформы и ходовой рамы методом конечных элементов.

## 3. РАСЧЁТНЫЕ СХЕМЫ

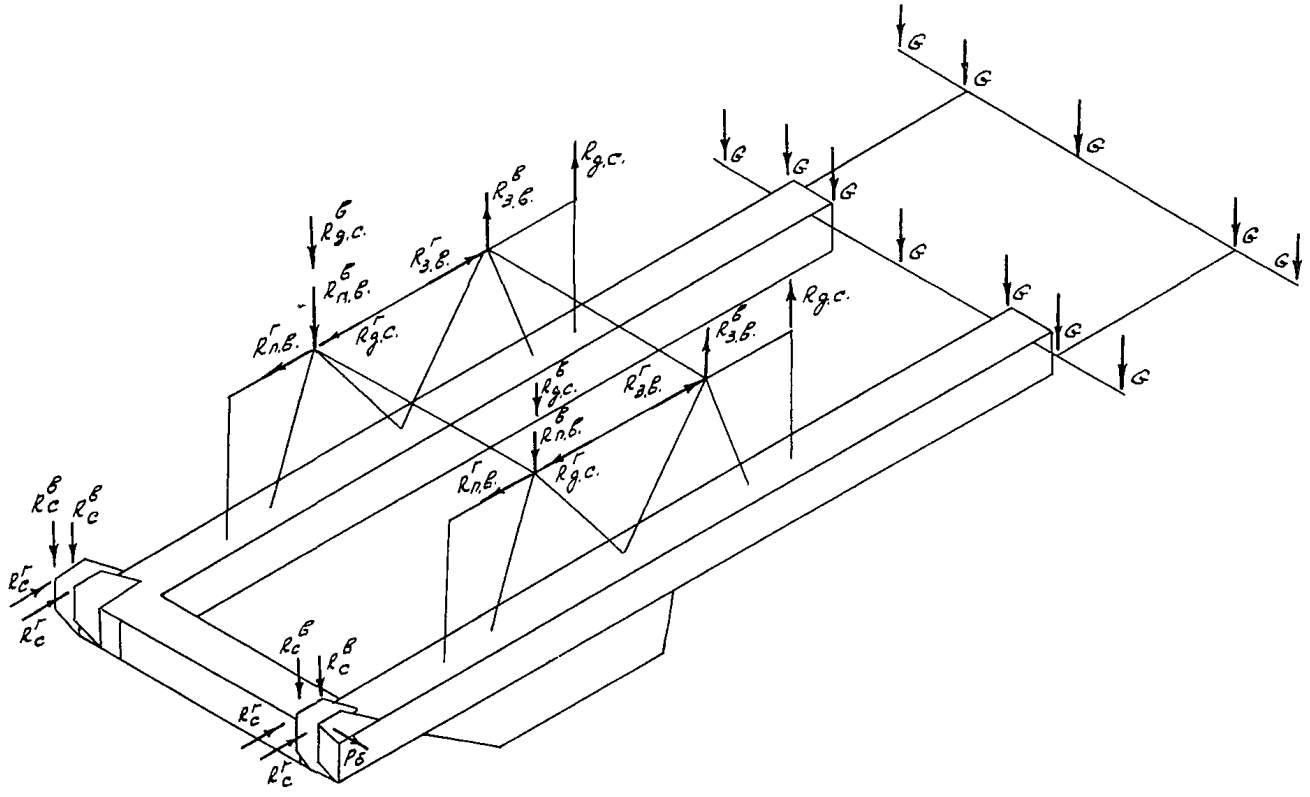
3.1. Расчётная схема базовых конструкций экскаваторов включает в себя металлоконструкции поворотной платформы, опорно-поворотного круга, нижней, ходовой и гусеничной рам, так как перечисленные конструкции работают совместно.

3.2. Выбор расчётной схемы зависит от конфигурации рассчитываемой конструкции.

Рассчитываемая металлоконструкция представляется идеализированной пространственной конструкцией, достаточно близкой к реальной, которая затем расчленяется на конечные элементы различной размерности (например, стержни и пластинки). Пластинки могут быть различной формы (например, прямоугольные и треугольные).

3.3. Предполагается, что толщина $t$ пластинки мала по сравнению с её линейными размерами в плане, а деформации пластинки малы по сравнению с её толщиной.

3.4. Отношение линейных размеров прямоугольных элементов не должно превышать 1:3. Треугольные элементы должны иметь форму, близкую к равностороннему треугольнику. Следует избегать тупых углов в ответственных местах конструкций.




Черт. 2.9. Типовая схема нагружения.

G – весовые нагрузки; $R^{б}_{з.в.}$, $R^{б}_{п.в.}$, $R^{г}_{з.в.}$, $R^{г}_{п.в.}$ – горизонтальные и вертикальные реакции в опорах вала заднего и вала переднего; $R^{б}_{g.c.}$, $R^{г}_{g.c}$ –горизонтальные и вертикальные реакции в опорах двуногой стойки; $R^{б}_{c}$, $R^{г}_{c}$ –горизонтальные и вертикальные реакции в проушинах крепления стрелы; $P_{б}$ – боковое усилие.

3.5. Более ответственные участки металлоконструкций на расчётной схеме разбиваются на более мелкие элементы, менее ответственные – на более крупные. Переходы от мелких элементов к крупным должны быть постепенными. Отверстия аппроксимируются многоугольниками, так как круглые пластины и кольцевые стержни в программах, реализующих МКЭ, отсутствуют.

На черт. 3.1 показаны примеры разбиения части настила поворотной платформы: а) без отверстия; б) с отверстием.

3.6. Проушины крепления пяты стрелы и станины механических экскаваторов всегда моделируются пластинчатыми конечно-элементными схемами, так как стержневая интерпретация этих узлов практически невозможна. Настилы и другие листовые узлы также представляются пластинчатой схемой.

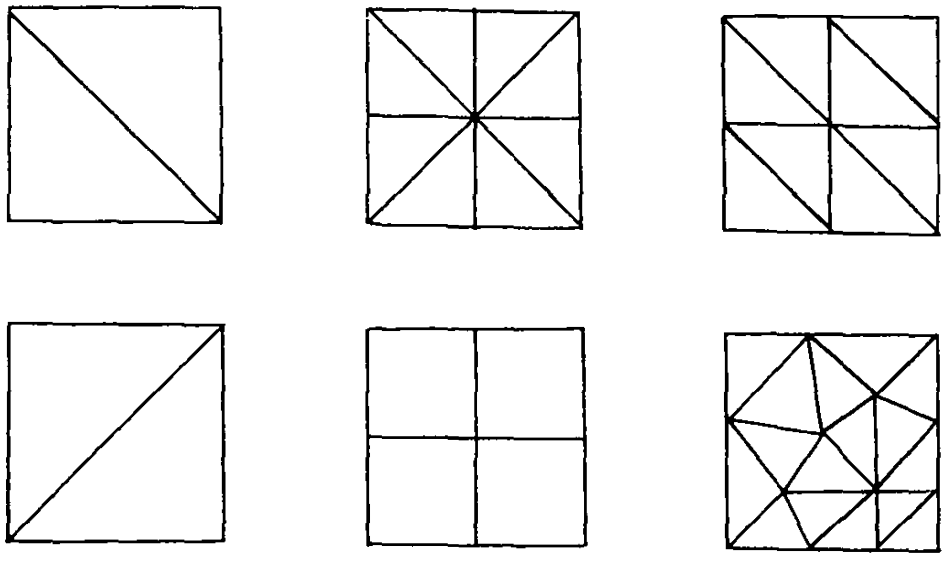
3.7. Продольные балки поворотных платформ канатных экскаваторов следует аппроксимировать пластинами, если ширина верхней полки $b_1$ относится к ширине станины $b_2$ как $\frac{b_1}{b_2} \geqslant 1{,}3$, так как стержневое моделирование искажает реальное распределение нагрузки, не учитывая концентрацию напряжений в средней части верхней полки (черт. 3.2).

3.8. В расчётной схеме при стыковке балки, представленной пластинками, с балкой, моделируемой стержнем, для избежания нереальных деформаций необходимо вводить дополнительные конечные элементы большой жёсткости: пластины большой толщины ($t$ = 50 мм) либо стержни, жёсткость которых равна жёсткости данной балки. На черт. 3.3а дополнительные конечные элементы заштрихованы, на черт. 3.3б – выделены.

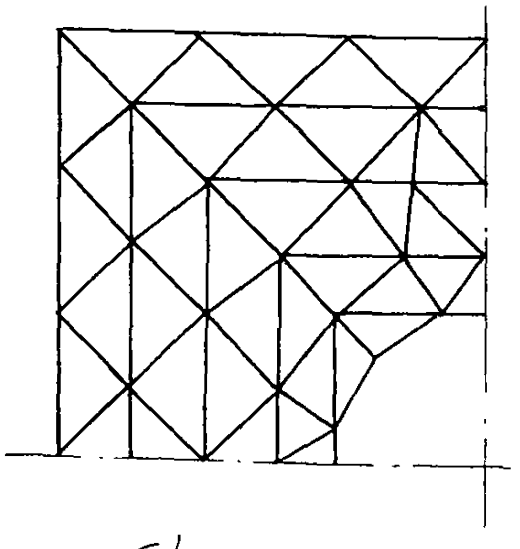
3.9. Ходовые рамы, представляющие собой листовые коробчатые конструкции, моделируются только пластинчатыми схемами.

3.10. Ходовые рамы, имеющие балочную конструкцию, рекомендуется моделировать стержневой конечно-элементной схемой.

3.11. Верхнее и нижнее кольца опорно-поворотного круга аппроксимируют правильными многоугольниками (не менее, чем восьмиугольниками).

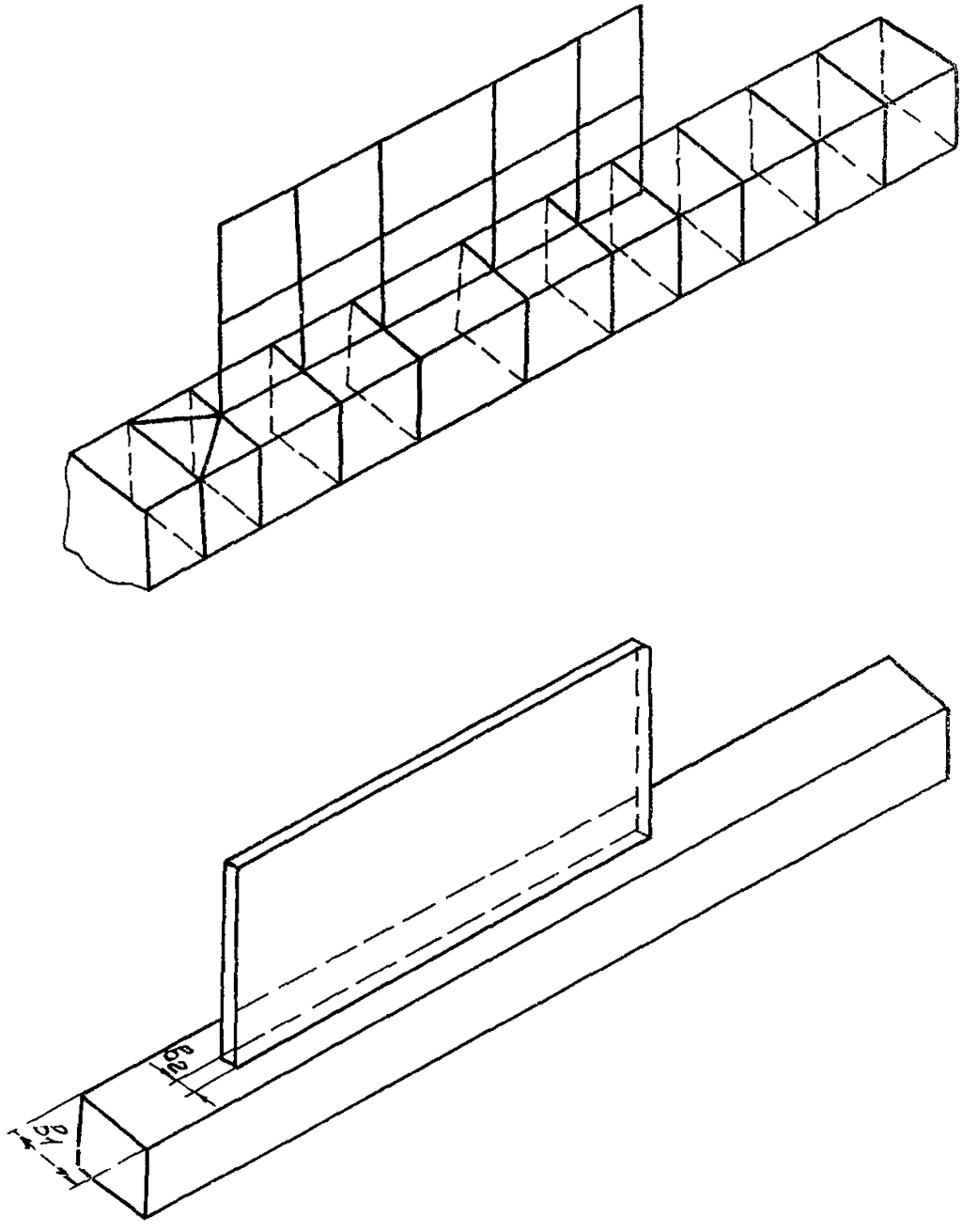


а)

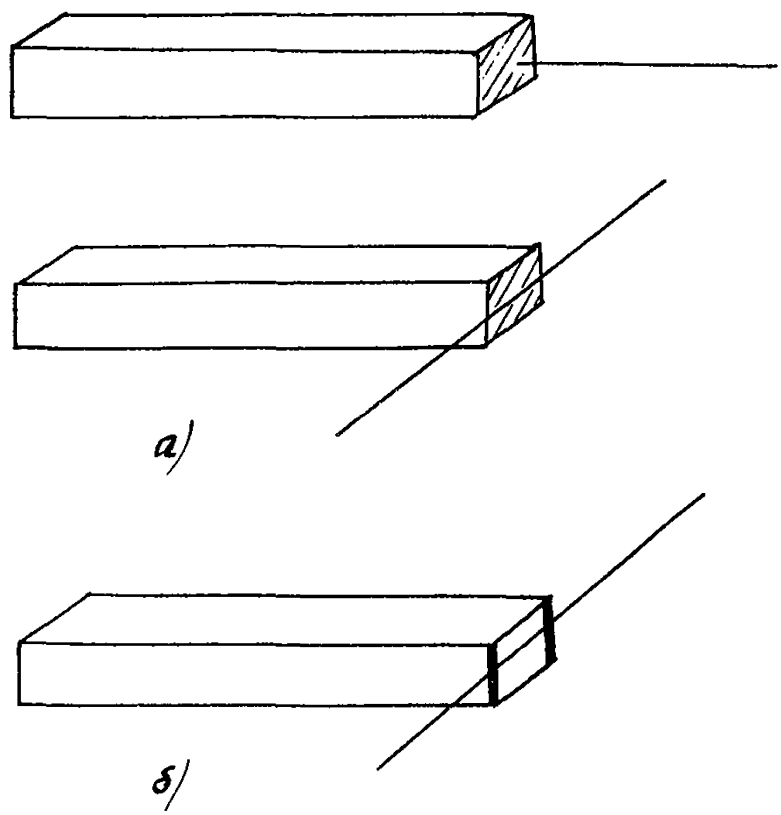


б)

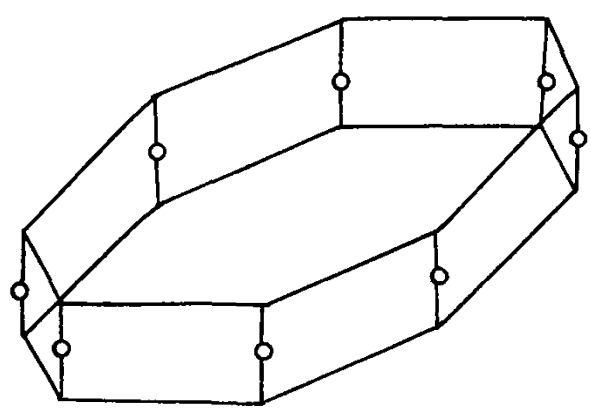
Черт. 3.I




Черт. 3.2



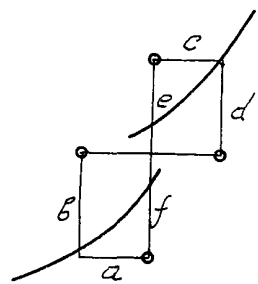

Черт. 3.3



Черт. 3.4

3.12. Взаимодействие верхнего и нижнего колец опорно-поворотного круга имитируется включением в расчетную схему абсолютно жестких стержней, соединяющих вершины многоугольников, аппроксимирующих верхнее и нижнее кольца опорно-поворотного круга (черт. 3.4). На этих стержнях должны быть соединения (на черт. 3.4 показаны кружками), которые в направлении, параллельном касательной к кольцу, допускают смещения, а в вертикальной плоскости, проходящей через радиус, представляют собой шарнир.

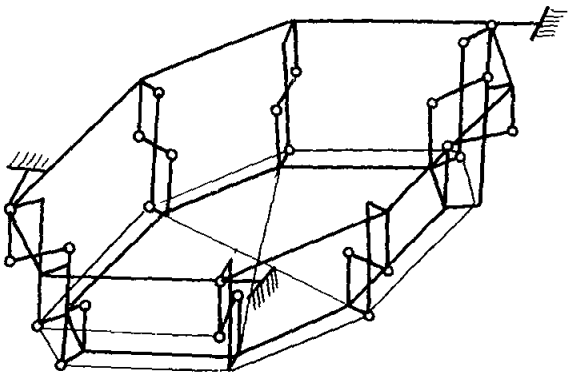
В случае, когда программа, реализующая МКЭ для ЭВМ, не позволяет разрешить свободу перемещения в направлении, параллельном касательной к кольцу для всех соединений, вводится система связей между верхним и нижним кольцами изображенная на рис. 3.5.




Черт. 3.5

В этой системе фиктивные стержни $a$, $b$, $c$, $d$ абсолютно жесткие по отношению к изгибу, а стержни $e$ и $f$ по отношению к осевому усилию. Шарниры, соединяющие стержни сферические. Такая схема достаточно полно отражает особенности работы рассматриваемой системы. По кинематическим свойствам эти связи близки к связям, изображенным на черт. 3.4.

Для предотвращения нереальных деформаций в трех узлах верхнего кольца вводятся дополнительные связи (черт. 3.6).



Черт. 3.6. Расчетная схема верхнего и нижнего колец ОПК.

3.I3. Балки, представляющие собой прямолинейные стержни переменного сечения, разбиваются на участки, в пределах которых можно принять момент инерции постоянным или принять общие размеры сечения (высоту; ширину) изменяющимися по линейному закону.

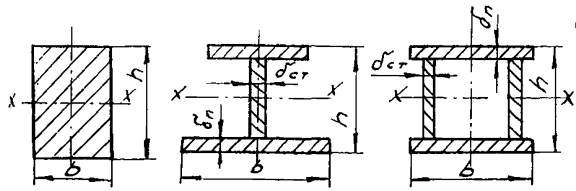
Приведенный момент инерции равен моменту инерции сечения на расстоянии $l_o$ от конца участка с меньшими размерами сечения. Величины $l_o/l$ в зависимости от закона изменения момента инерции указаны в табл.3.I.

Таблица 3.I

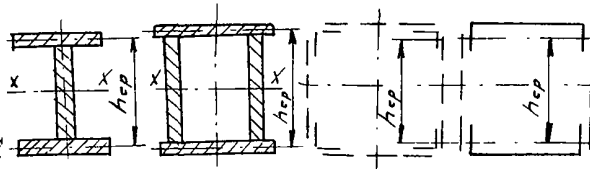
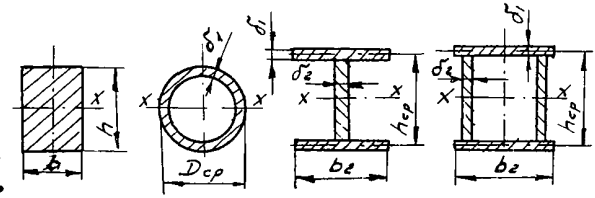
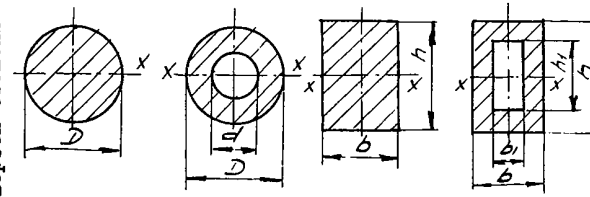
| Закон изменения момента инерции | $l_o/l$ |
|---|---|
| Линейный | 0,5 |
| Квадратичный | 0,53 |
| Кубический | 0,56 |
| Четвертой степени | 0,58 |

Типы сечений, характерные для различных законов изменения по длине стержня момента инерции, представлены в таблице 3.2

Таблица 3.2

| Закон изменения | Характерные типы сечений | Соотношения размеров и законы их изменения |
|---|---|---|
| Линейный |  | $в$ – меняется по линейному закону; $h=const$; $\delta_n=const$; $\delta_{ст}=const$; $\delta_{ст}<\delta_n$ |

Продолжение табл.3.2

| Закон изменения | Характерные типы сечений | Соотношения размеров и законы их изменения |
|---|---|---|
| Квадратичный |  | $h_{ср}$ – меняется по линейному закону<br>Площадь поясов $F=const$<br>Площадь стенок при наибольшей высоте меньше площади поясов |
| Кубический |  | $h$ или $D_{ср}$ меняется по линейному закону;<br>$h_{ср}$ и $b_2$ меняются одновременно по линейному закону, причем<br>$h_{ср}/b_2=const$<br>$b_1=const, \delta_1=const$<br>$\delta_2=const$ |
| Четвертой степени |  | D – меняется по линейному закону<br>$d=const$ или<br>$\frac{d}{D}=const$<br>$h, b, h_1, b_1$<br>одновременно возрастают по линейному закону |

3.14. Расчеты прочности следует проводить при положении рабочего оборудования вдоль хода, поперек хода и на угол хода экскаватора, так как в зависимости от положения рабочего оборудования меняется нагруженность металлоконструкций. При конструкциях ходовых рам, симметричных относительно горизонтальных осей, достаточно рассмотреть три положения рабочего оборудования относительно ходовой рамы:

1. Вдоль хода в сторону задней поперечной балки (заднего моста) или в сторону передней поперечной балки (переднего моста);

2. Поперек хода в любую сторону;

3. На любой угол хода.

При симметрии конструкции только относительно продольной оси работу вдоль хода и на угол хода необходимо рассматривать как в сторону передней балки, так и в сторону задней балки.

3.15. Опорными узлами в расчетных схемах являются опоры ходового устройства. Закрепление опор принимается жестким, так как при жестком закреплении в конструктивных узлах возникают наибольшие напряжения.

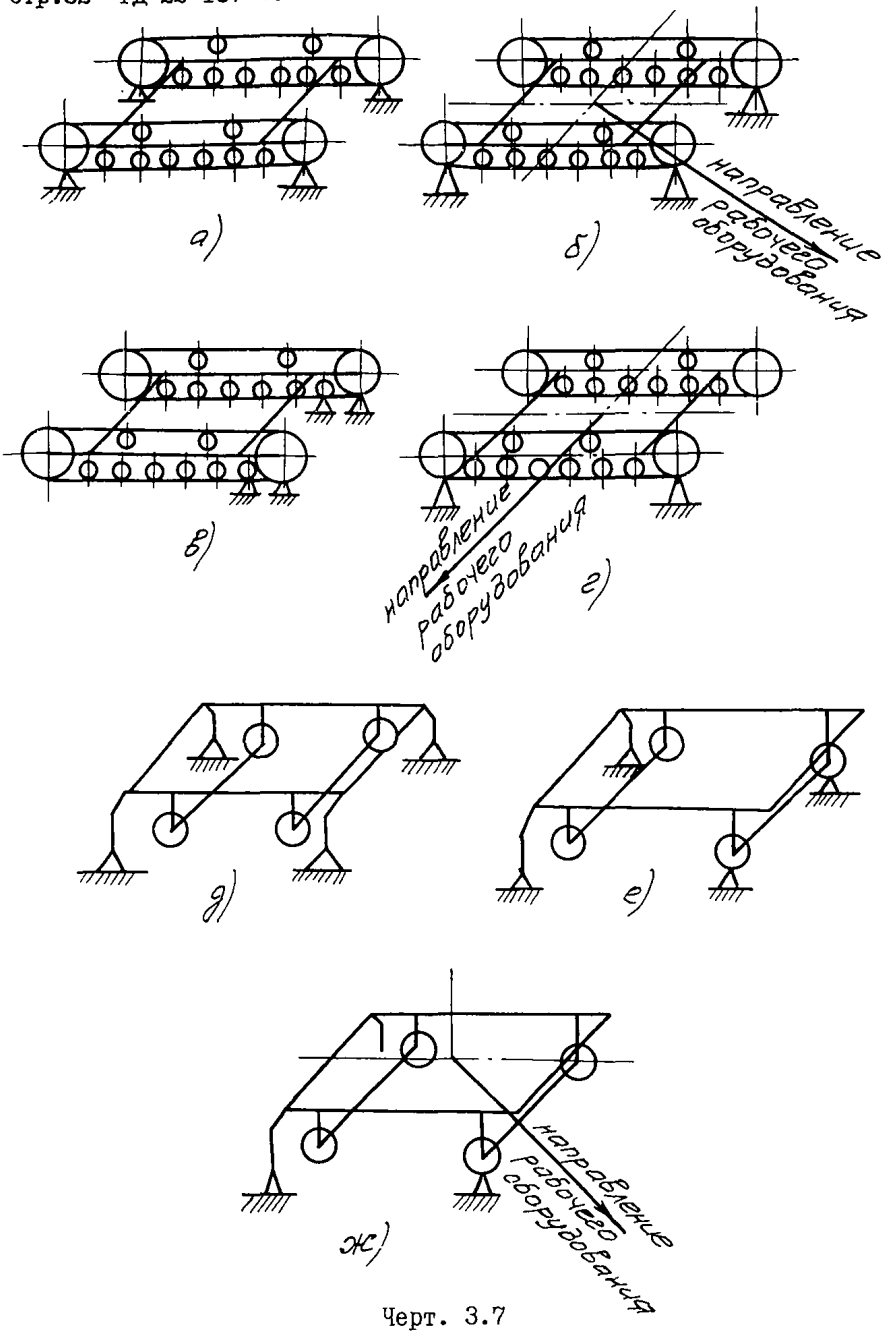
Для гусеничных машин точками опоры являются направляющие, ведущие колеса и опорные катки.

Для колесных две пары аутригеров, либо колеса и аутригеры (в зависимости от конструкции ходового устройства).

Для канатных машин при положении рабочего оборудования вдоль хода и поперек хода расчет ведется для случая опирания на две пары колес: передние и задние (черт. 3.7а), при работе на угол хода опора, противоположная направлению рабочего оборудования, вывешивается (черт. 3.7б).

Для гидравлических гусеничных машин при положении рабочего оборудования вдоль хода расчет ведется для случаев опирания на две пары колес: передние и задние (черт.3.7а) и на одну пару колес и одну пару катков (черт.3.7в), так как при экскавации грунта может происходить задирание передней или задней части гусениц.

При работе поперек хода опорными точками являются две пары колес (черт.3.7а) и колеса гусеницы, расположенной со стороны рабочего оборудования (черт.3.7г).


а)
б)
направление рабочего оборудования
в)
г)
направление рабочего оборудования
д)
е)
ж)
направление рабочего оборудования

Черт. 3.7

При работе на угол хода опора, противоположная направлению рабочего оборудования, вывешивается (черт. 3.7б).

Для гидравлических колесных машин при положении рабочего оборудования вдоль хода и поперек хода расчет ведется для случая опирания на две пары аутригеров, при отсутствии в конструкции одной пары аутригеров - на одну пару колес и аутригеры (черт. 3.7д,е), и для случая вывешивания опор противоположных направлению рабочего оборудования.

При работе на угол хода опора противоположная направлению рабочего оборудования вывешивается (черт. 3.7ж).

## 4. ПРОВЕРКА УСТОЙЧИВОСТИ

4.1. Устойчивость стенок конструкций не требуется проверять, если при выполнении условий (1.2), (1.5) условная гибкость стенок

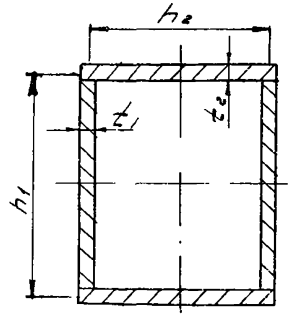
$$\lambda_c = \frac{h}{t}\sqrt{\frac{R_y}{E}}, \qquad (4.1)$$

где $h$ и $t$ соответственно высота и толщина рассматриваемой стенки (черт. 4.1), не превышает значений:

3,2 - при отсутствии местных напряжений;

2,5 - при наличии местных напряжений и отсутствии подкрепления стенки.

Если значение условной гибкости стенки $\lambda_c$ превышает указанные выше величины, следует провести расчет устойчивости стенок в соответствии с рекомендациями СН и П II-23-81 (пункты 7.4; 7,6)




Черт. 4.1

Устойчивость сжатых поясов коробчатого сечения проверяется в соответствии с пунктом 6.II РД 22-I58-86 "Экскаваторы одноковшовые гидравлические. Рабочее оборудование. Расчет металлоконструкций на статическую прочность".

## 5. ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$\sigma_{пр}$ – приведенное расчетное сопротивление в элементе, МПа;
$\sigma$ – нормальные напряжения, МПа;
$\tau$ – касательные напряжения, МПа;
$R_y$ – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести, МПа;
$R_s$ – расчетное сопротивление стали сдвигу, МПа;
$m$ – коэффициент условий работы;
$k$ – коэффициент перегрузки;
$N$ – продольная сила, Н;
$M_x, M_y$ – изгибающие моменты относительно осей x и y, Н;
$Q_x, Q_y$ – поперечные силы, действующие в плоскостях, параллельных осям x и y, Н;
$t$ – толщина стенки сечения, пластинки, м (см, мм);
$M_к$ – крутящий момент, Н;
$h_п, h_с$ – размеры по осям стенок сечения, см, мм;
$P_0$ – усилие сопротивления грунта копанию, Н;
$P_б$ – боковая сила, приложенная к зубу ковша, Н;
$F_л, F_п$ – усилия в левой и правой проушинах поворотной платформы гидравлических экскаваторов от $P_0$, Н;
$R_1, R_2$ – усилия, возникающие в проушинах поворотной платформы от приложения $P_0$ к крайнему зубу ковша, Н;
$l_к$ – ширина ковша, м (см, мм);

$\ell_п$ - расстояние между проушинами крепления пяты стрелы, м (см,мм);

$\overline{T}_л, \overline{T}_п$ - суммарные векторы усилий в левой и правой проушинах поворотной платформы гидравлических экскаваторов, Н;

$M_п$ - крутящий момент механизма поворота, приведенный к оси вращений экскаватора, м;

$\ell_б$ - расстояние от оси вращения экскаватора до зубьев ковша, м (см, мм);

$\ell_{п.с.}$ - расстояние от оси вращения до пяты стрелы, м (см, мм);

$a, в, c, г$ - линейные размеры, определяющие положение рабочего оборудования, м (см, мм);

$M_б$ - момент от боковой силы $P_б$, м;

$M_г, M_в$ - моменты, действующие в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно, м;

$U, V$ - реакции в пяте стрелы канатных экскаваторов, Н;

$\ell_с$ - длина стрелы, м (см, мм);

$S_п$ - усилие на блоке ковша, Н;

$S_н$ - усилие напора или возврата, Н;

$G_с, G_{бл}, G_{н.м.}$ - веса стрелы, блоков головы стрелы и напорного механизма, Н;

$S_{нэ}$ - усилие в цепи привода напора или в напорных канатах, Н;

$S_{пк}$ - усилие в подъемном канате, Н;

$i$ - кратность полиспаста механизма подъема ковша;

$\eta_п$ - к.п.д. полиспаста механизма подъема;

$r_{бл}$ - радиус головных блоков стрелы, м (см, мм);

$S_{пс}$ - усилие в подвеске стрелы, Н;

$\ell_{нв}$ - расстояние от пяты стрелы до напорного вала (напорной оси), м (см, мм);

$S_к$ - усилие в ветвях полиспаста, Н;

$n$ - количество ветвей полиспаста.

$R^{г}_{л}, R^{г}_{п}$ – горизонтальные усилия от боковой силы $P_{б}$, действующие в проушинах крепления стрелы, Н;

$R^{в}_{л}, R^{в}_{п}$ – вертикальные усилия от силы $P_{б}$, действующие в проушинах крепления пяты стрелы, Н;

$E$ – модуль упругости, МПа;

$\nu$ – коэффициент Пуассона.

Программы, реализующие МКЭ, и инструкции по их использованию могут быть переданы ВНИИстройдормашем организациям отрасли в установленном порядке.

ПРИЛОЖЕНИЕ I
Обязательное

Расчетные сопротивления проката

| Марка стали | ГОСТ или ТУ | Вид проката | Толщина* проката, мм | Расчетное сопротивление по пределу текучести, МПа (кГс/мм²) |
|---|---|---|---|---|
| I | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ВСт3сп5-I | ТУ-I4-I-3023-80 | Лист | 4-I0 | 240 (2450) |
| ВСт3Гпс5-I | - " - | -"- | -"- | -"- |
| ВСт3сп5-I | ТУ-I4-I-3023-80 | -"- | II-20 | 230 (2350) |
| ВСт3Гпс5-I | - " - | -"- | -"- | -"- |
| ВСт3сп5-I | ТУ-I4-I-3023-80 | Фасон | 4-I0 | 250 (2550) |
| ВСт3Гпс5-I | - " - | -"- | -"- | -"- |
| ВСт3сп5-I | ТУ-I4-I-3023-80 | -"- | II-20 | 240 (2450) |
| ВСт3Гпс5-I | - " - | -"- | -"- | -"- |
| ВСт3сп5-I | ТУ-I4-I-3023-80 | -"- | 2I-30 | 230 (2350) |
| ВСт3Гпс5-I | - " - | -"- | -"- | -"- |
| ВСт3сп5 | ГОСТ 380-7I* | Лист | 4-20 | 225 (2300) |
| ВСт3Гпс5 | - " - | -"- | -"- | -"- |
| Вст3сп | ГОСТ 380-7I* | Лист | 2I-40 | 2I5 (2200) |
| ВСт3Гпс | - " - | -"- | -"- | -"- |
| Вст3сп5 | ГОСТ 380-7I* | Фасон | 4-20 | 235 (2400) |

| I | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| ВСт3Гпс5 | ГОСТ 380-7I* | Фасон | 4-20 | 235 (2400) |
| ВСт3сп | -"- | -"- | 2I-40 | 2I5 (2200) |
| ВСт3Гпс | -"- | -"- | -"- | -"- |
| 09Г2Сгр.I | ТУI4-I-3023-80 | Лист | 4-I0 | 335 (3400) |
| 09Г2Сгр.I | ТУI4-I-3023-80 | Фасон | 4-I0 | 335 (3400) |
| 09Г2Сгр.I | ТУI4-I-3023-80 | Лист | II-20 | 3I5 (3200) |
| 09Г2Сгр.I | ТУI4-I-3023-80 | Фасон | II-20 | 3I5 (3200) |
| 09Г2Сгр.I | ТУI4-I-3023-80 | -"- | 2I-30 | 300 (3050) |
| 09Г2С | ГОСТ I9282-73 | Лист | 2I-32 | 290 (2950) |
| 09Г2С | ГОСТ I9282-73 | Лист | 4-9 | 330 (3350) |
| 09Г2С | ГОСТ I9282-73 | -"- | I0-20 | 3I0 (3I50) |
| 09Г2С | ГОСТ I928I-73 | Фасон | 4-9 | 330 (3350) |
| 09Г2С | ГОСТ I928I-73 | -"- | I0-20 | 3I0 (3I50) |
| 09Г2С | ГОСТ I928I-73 | -"- | 2I-32 | 290 (2950) |
| 09Г2С | ТУI4-3-5000-76 | Труба | 8-I5 | 250 (2550) |
| I0Г2СI | ГОСТ I9282-73 | Лист | 4 | 340 (3450) |
| I0Г2СI | ГОСТ I928I-73 | Фасон | 4 | 340 (3450) |
| I0Г2СI | ГОСТ I9282-73 | Лист | 5-9 | 330 (3350) |
| I0Г2СI | ГОСТ I928I-73 | Фасон | 5-9 | 330 (3350) |
| I0Г2СI | ГОСТ I9282-73 | Лист | I0-20 | 320 (3250) |

| I | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| I0Г2СI | ГОСТ I928I-73 | Фасон | I0-20 | 320 (3250) |
| I0Г2СI | ГОСТ I9282-73 | Лист | 2I-32 | 3I0 (3I50) |
| I0Г2СI | ГОСТ I928I-73 | Фасон | 2I-32 | 3I0 (3I50) |
| I0Г2СI термоупр. | ГОСТ I9282-73 | -"- | I0-40 | 355 (3600) |
| I0ХСНД | ГОСТ I928I-73 | Фасон | 4-I5 | 355 (3600) |
| I0ХСНД | ГОСТ I9282-73 | Лист | 4-32 | 355 (3600) |
| I0ХСНД | ГОСТ I9282-73 | -"- | 33-40 | 355 (3600) |
| I5ХСНД | ГОСТ I9282-73 | Лист | 4-32 | 330 (3350) |
| I5ХСНД | ГОСТ I928I-73 | Фасон | 4-9 | 330 (3350) |
| I5ХСНД | ГОСТ I928I-73 | -"- | I0-32 | 3I0 (3I50) |
| I4Г2АФ | ГОСТ I9282-73 | Лист | 4-50 | 370 (3750) |
| I5Г2АФДпс | ГОСТ I9282-73 | -"- | 4-32 | 355 (3600) |
| I5Г2СФ термоупр. | ГОСТ I9282-73 | Лист | I0-32 | 400 (4I00) |
| I6Г2АФ | ТУ I4-3-567-76 | -"- | 6-9 | 400 (4I00) |
| I6Г2АФ | ТУ I4-3-829-79 | -"- | I6-40 | 320 (3250) |
| I6Г2АФ | ГОСТ I9282-73 | -"- | 4-32 | 400 (4I00) |
| I6Г2АФ | ГОСТ I9282-73 | -"- | 33-50 | 375 (3800) |
| I8Г2АФпс | ГОСТ I9282-73 | -"- | 4-32 | 400 (4I00) |
| I4Х2ГМРБ | ТУ I4-I-II56-74 | Лист | I0-50 | 5I0 (5200) |

| I | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| I2XH2МФАЮ | ТУ I4-I-I772-76 | Лист | I6-40 | 5IO (5200) |
| I4X2IМ | ТУ I4-I-2659-79 | Лист | IO-30 | 5IO (5200) |
| I4 ХГМЕД | ТУ I4-I-2659-79 | Лист | 3-30 | 600 (6IOO) |

ПРИМЕЧАНИЕ: * – Значения расчетных сопротивлений получены делением нормативных сопротивлений, МПа, на коэффициенты надежности по материалу, определяемые в соответствии с таблицей 2 СНиП.II-23-8I и округлением до 5 МПа, значения расчетных сопротивлений, кГс/см$^2$, получены путем деления расчетных сопротивлений, МПа, на коэффициент 0,0980665.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Справочное

ПРИМЕР РАСЧЕТА

## Расчет на прочность рамы поворотной платформы и ходовой рамы экскаватора Э0-4125

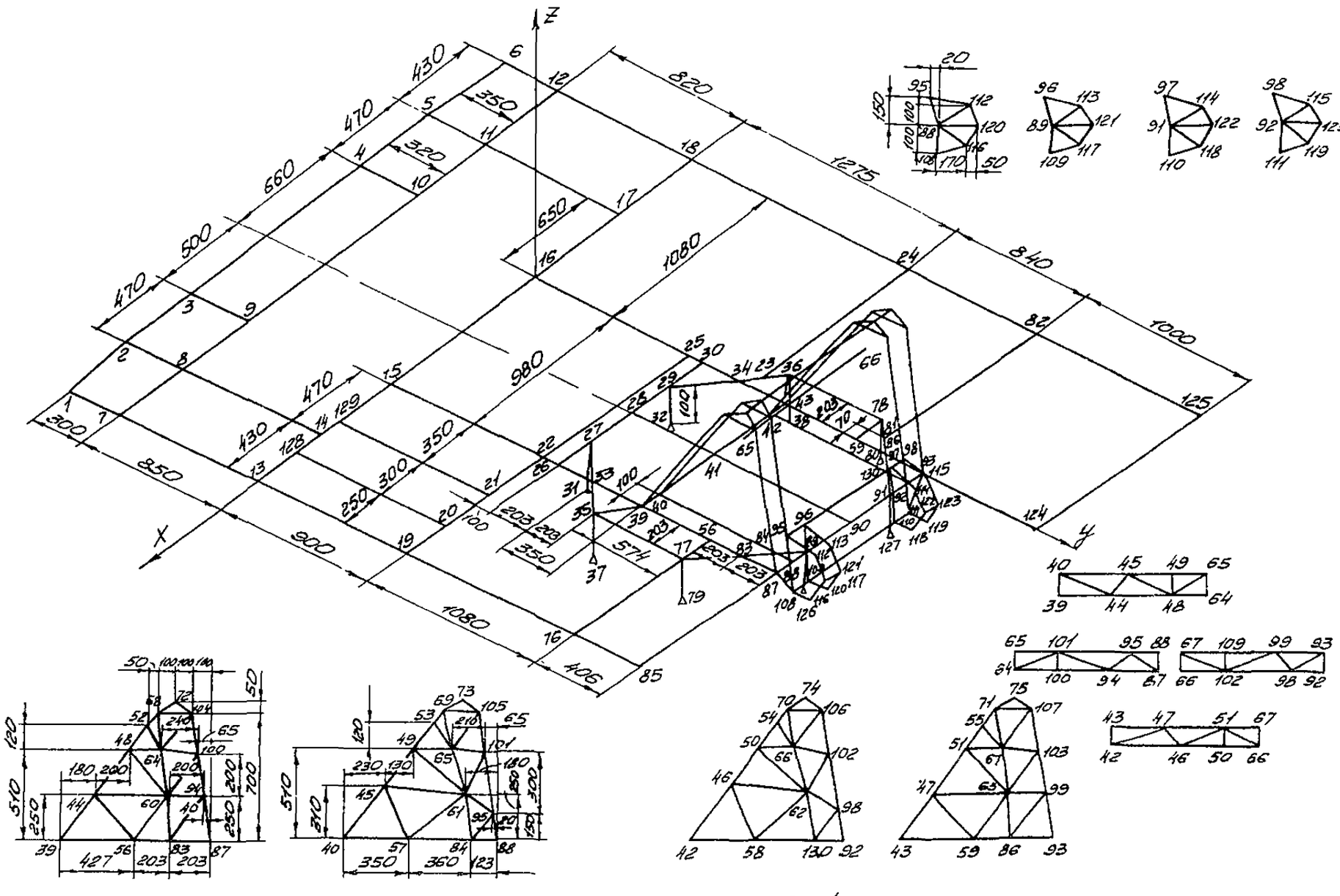
Расчет на прочность рамы поворотной платформы и ходовой рамы экскаватора Э0-4125 выполнен по чертежам экскаватора на ЭЦВМ методом конечных элементов по программе DIANA. Целью расчета являлось исследование характера нагружения рамы поворотной платформы и ходовой рамы при различных случаях работы экскаватора и выявление наиболее нагруженных участков конструкции.

Обе рамы рассматривались как единая конструкция, внешние нагрузки были приложены к проушинам крепления пяты стрелы и проушинам крепления цилиндров стрелы, а опорами конструкции являлись опорные узлы ходовой рамы.

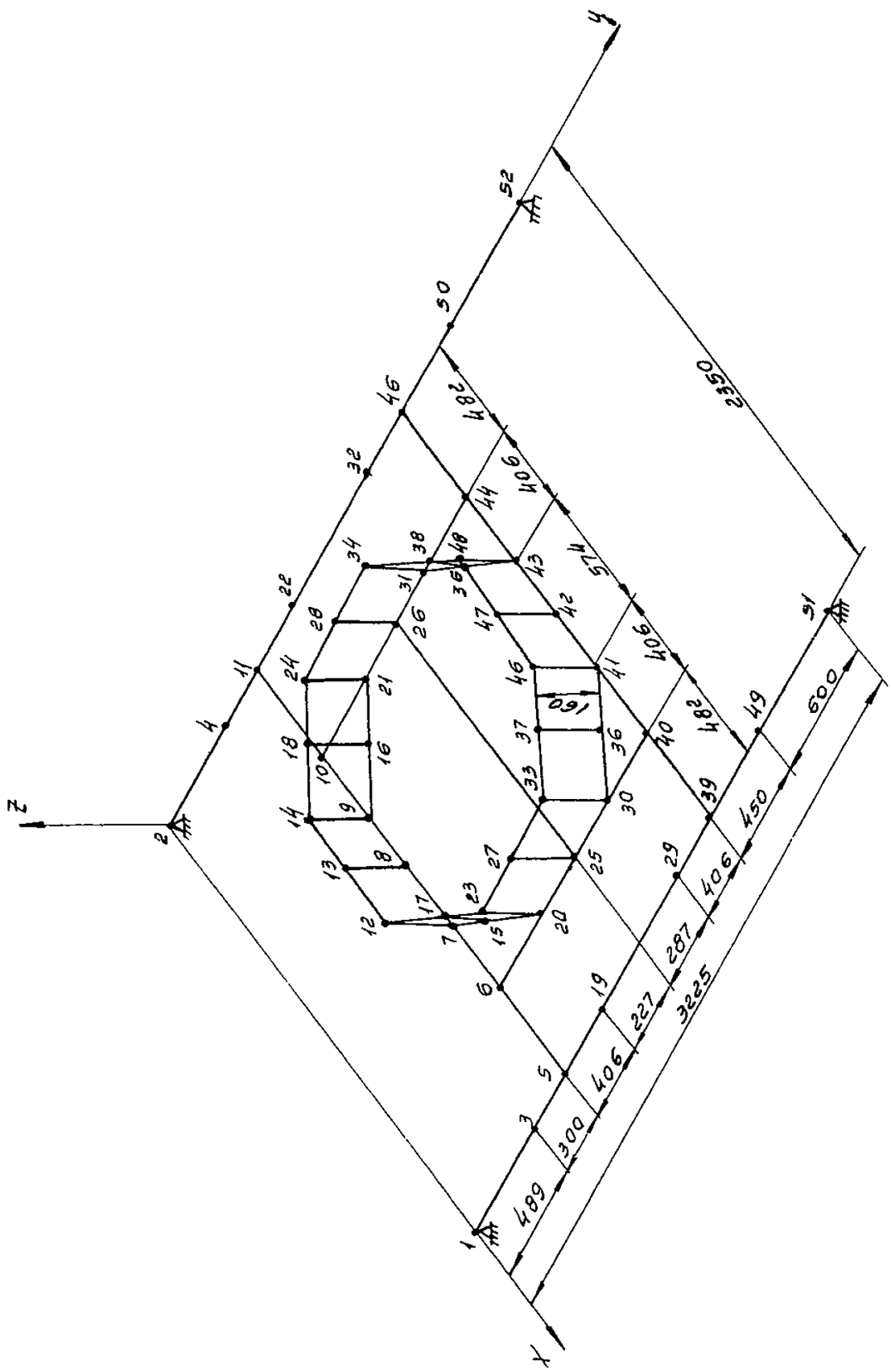
Рассматривались три случая расположения рамы поворотной платформы относительно ходовой рамы: в первом случае рама поворотной платформы располагалась вдоль хода экскаватора, во втором случае - поперек хода экскаватора, в третьем случае - под углом $45^{0}$ к продольной оси экскаватора.

Обе рамы рассматривались как конструкции, состоящие из конечных элементов: стержней определенного сечения и пластин определенной толщины. Схема рамы поворотной платформы представлена на черт.П.2.1. Схема ходовой рамы представлена на черт.П.2.2.

Металлоконструкция рамы поворотной платформы состоит из двух продольных балок коробчатого сечения (на схеме рамы они представлены стержнями 15-22-26-33-39 и 16-25-30-34-43), продолжением которых являются балки (стержни 39-56-83-87 и 43-59-86-93) с приваренными к ним по бокам четырьмя мощными ребрами толщиной 20 мм для крепления пяты стрелы. Вышеуказанные продольные балки с одной стороны соединены поперечной балкой в виде швеллера (стержень 22-25), с другой стороны соединены поперечной балкой коробчатого сечения (стержни 87-88-89-90-91-92-93), к которой приварены сбоку четыре ребра толщиной 20 мм для крепления цилиндров стрелы.


Z
X
Y
1275
840
1000
1080
980
1080
850
900
660
500
470
430
820
406
574
650
350
320
300
250
100
20
50
150
170


Черт. П.2.1.


Y
Z
X
2350
3225
600
450
406
300
489
227
287
406
406
482
406
574
406
482
160

Черт. П.2.2.

В схеме рамы ребра для крепления пяты стрелы и гидроцилиндров стрелы моделируются набором треугольных пластин.

На стороне рамы, противоположной местам крепления пяты стрелы, приварена рама дизеля, состоящая из трех балок коробчатого сечения (стержни 8-14, 14-129-15-16-17, 11-17) и балки в виде швеллера (стержни 8-9-10-11). Для установки оборудования поворотной платформы с обоих боков рамы приварены балки из гнутого профиля швеллерного вида (стержни 6-12-18-24-82-125 и 1-7-13-19--76-85, 17-18, 23-24, 81-82, 124-125, 93-124, 7-8, 11-12, 13-128-14, 19-20-21-22, 76-77, 85-87).

Снизу к раме приварен лист толщиной 20 мм и посадочное место для опорно-поворотного круга.

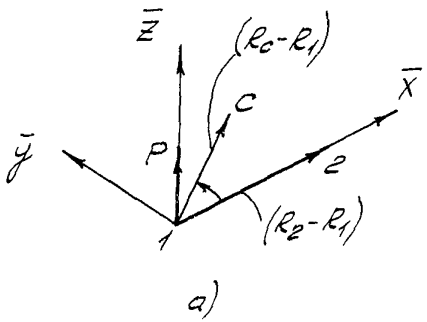
Схема рамы поворотной платформы имеет 130 узлов и 211 конечных элементов, из них 115 стержней и 96 пластин. Начало координат выбрано в узле 16. Координаты узлов взяты по чертежу. Все конечные элементы схемы рамы поворотной платформы в зависимости от геометрических характеристик разделены на 25 элементных групп. Геометрические характеристики стержней и пластин представлены в таблице 1.

Металлоконструкция рамы ходового устройства состоит из двух балок (стержни 1-3-5-19-29-39-49-51 и 2-4-11-22-32-45-50-52), каждая из которых состоит в свою очередь из двух швеллеров. Обе балки соединены друг с другом посредством рамы, к которой крепится опора для опорно-поворотного круга. Эта рама представляет собой две продольные балки коробчатого сечения (стержни 5-6-7-8-9-10-11 и 39-40-41-42-43-44-45), соединенные между собой двумя поперечными балками также коробчатого сечения (стержни 6-20-25-30-40 и 10-21-26-31-44).

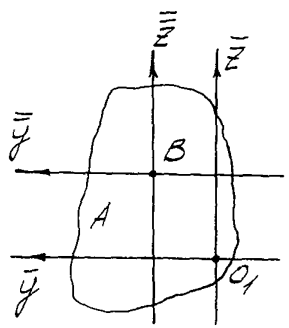
Схема ходовой рамы имеет 52 узла и 51 конечный элемент, из них 35 стержней и 16 пластин. Начало координат выбрано в узле 2. Координаты узлов взяты по чертежу.

Все конечные элементы схемы в зависимости от геометрических характеристик разделены на 8 элементных групп. Геометрические характеристики стержней и пластин представлены в таблице 2.

В ходовой раме опора для опорно-поворотного круга условно представлена пластинами толщиной 20 мм. Напряжения в пластинах




а)




б)

Черт. П.2.3.

не подсчитывались.

Каждый стержень рассматриваемых схем имеет элементную систему координат, начало которой совпадает с начальным узлом стержня, а ось $X$ – осью стержня (см. черт. П.2.3а).

В таблицах I и 2 представлены следующие параметры:

$F$ – площадь сечения стержня;

$J_y, J_z$ – моменты инерции сечения относительно центральных координатных осей (см. черт. П.2.3б);

$J_{yz}$ – центробежный момент инерции сечения;

$J_{кр.}$ – момент инерции кручения относительно центра изгиба;

$x_c, y_c, z_c$ – глобальные координаты вспомогательной точки "с", которая используется для образования элементной системы координат;

$\bar{y}_A, z_A$ – координаты точки $A$, которая является центром изгиба сечения в элементной системе координат;

$\bar{y}_B, \bar{z}_B$ – координаты центра тяжести сечения $B$ в элементной системе координат.

(В расчете начало координат элементной системы каждого рассчитываемого сечения совпадает с центром тяжести сечения, поэтому координаты центра тяжести сечения $\bar{y}_B$ и $\bar{z}_B$ равны нулю).

$E$ – модуль упругости;

$\nu$ – коэффициент Пуассона;

$t$ – толщина пластины.

Сечения стержней представлены: для рамы поворотной платформы на черт. П.2.4, для ходовой рамы на черт. П.2.5.

Соединение рамы поворотной платформы с ходовой рамой осуществляется посредством опорно-поворотного устройства.

На черт. П.2.6 дана схема соединения рамы поворотной платформы с ходовой рамой. В схеме ходовой рамы опора для опорно-поворотного круга представлена четырехугольными пластинами, располагающимися по периметру правильного восьмиугольника. В схеме поворотной платформы посадочное место представляет собой восьмиугольник с вертикальными стержнями в углах. Соединение верхней и нижней рам осуществляется согласно п.3.12. Для этого во всех стыковочных узлах вводится локальная система координат $X_I, Y_I, Z_I$, ось $X_I$ которой направлена из центра многоугольника к соответствующей вершине. Разрешается перемещение по оси $Y_I$ (по касательной к окружности) и

относительно той же оси $\varphi_{y_1}$ (радиальное смещение).

## РАСЧЕТ РАБОЧИХ НАГРУЗОК

Рабочие нагрузки, необходимые для расчета конструкции, были взяты из расчета рабочего оборудования экскаватора ЭО-4125 на прочность по программе МЕСН.

Данные для расчета:

1) усилие в пяте стрелы $F$ ;

2) угол между направлением усилия в пяте стрелы и горизонтальной осью $\varphi$ ;

3) усилие в цилиндрах стрелы;

4) угол между направлением усилия в цилиндрах стрелы и горизонтальной осью $\varphi$ ;

5) весовые нагрузки;

6) боковая сила $P_б$;

7) усилие на режущей кромке $P_0$;

8) момент, возникающий при включении механизма поворота $M_п$.

Нагрузки при копании экскаватора передаются на поворотную платформу через пяту стрелы и цилиндры стрелы.

Считается, что при копании экскаватором усилие на режущей кромке $P_0$ приложено к крайнему зубу ковша. Т.о., от усилия $P_0$ возникает крутящий момент относительно продольной оси рабочего оборудования, который передается на поворотную платформу экскаватора. Этот момент можно представить в виде пары сил, приложенной к проушинам пяты стрелы. Каждая из этих сил равна (черт. 2.1)

$$R_1^F = -R_2^F = \frac{1}{2} P_0 \frac{l_к}{l_п} \quad ,$$

где $l_к$ – ширина ковша,

$l_п$ – расстояние между проушинами пяты стрелы.

Т.о., в пяте стрелы от усилия $P_0$ возникает усилие $F$ , величину которого мы берем из прочностного расчета рабочего оборудования, и выше-указанная пара сил.

Считается также, что при копании экскаватором происходит упор в непреодолимое препятствие и одновременно включается

механизм поворота. Момент, возникающий от включения механизма поворота, передается на поворотную платформу от рабочего органа через пяту стрелы. На рабочем органе возникает горизонтальная сила $P_б$, действующая по оси $X$ (см.черт.2.2) и равная $\frac{M_п}{\ell_б}$, где $M_п$ - момент, возникающий от включения механизма поворота ( $M_п$ = 66000 Нм); $\ell_б$ - расстояние от оси вращения экскаватора до крайнего зуба ковша; $\ell_б = \ell_{пс} + a$, где $\ell_{пс}$ - расстояние от оси вращения до пяты стрелы ( $\ell_{пс}$ = 500 мм), $a$ - расстояние от пяты стрелы до крайнего зуба ковша по оси $y$; оно меняется (как и величина $в$ - расстояние от пяты стрелы до крайнего зуба ковша по оси $z$) в зависимости от положения рабочего оборудования экскаватора.

Горизонтальная сила $P_б$ создает в пяте стрелы силу и момент $M_б = PC$, который можно представить в виде пары сил (см.черт. П.2.7). Эту пару сил можно разложить на горизонтальную и вертикальную составляющие:

$$M_г = P_б a \quad \text{и} \quad M_в = P_б в$$

$$R_г = \frac{P_б a}{\ell_п} \; ; \quad R_в = \frac{P_б в}{\ell_п}$$

Был выбран расчетный случай копания экскаватором при следующих условиях: длина цилиндра стрелы 1860 мм, длина цилиндра рукояти 2360 мм, длина цилиндра ковша 2460 мм; координаты конца зуба:

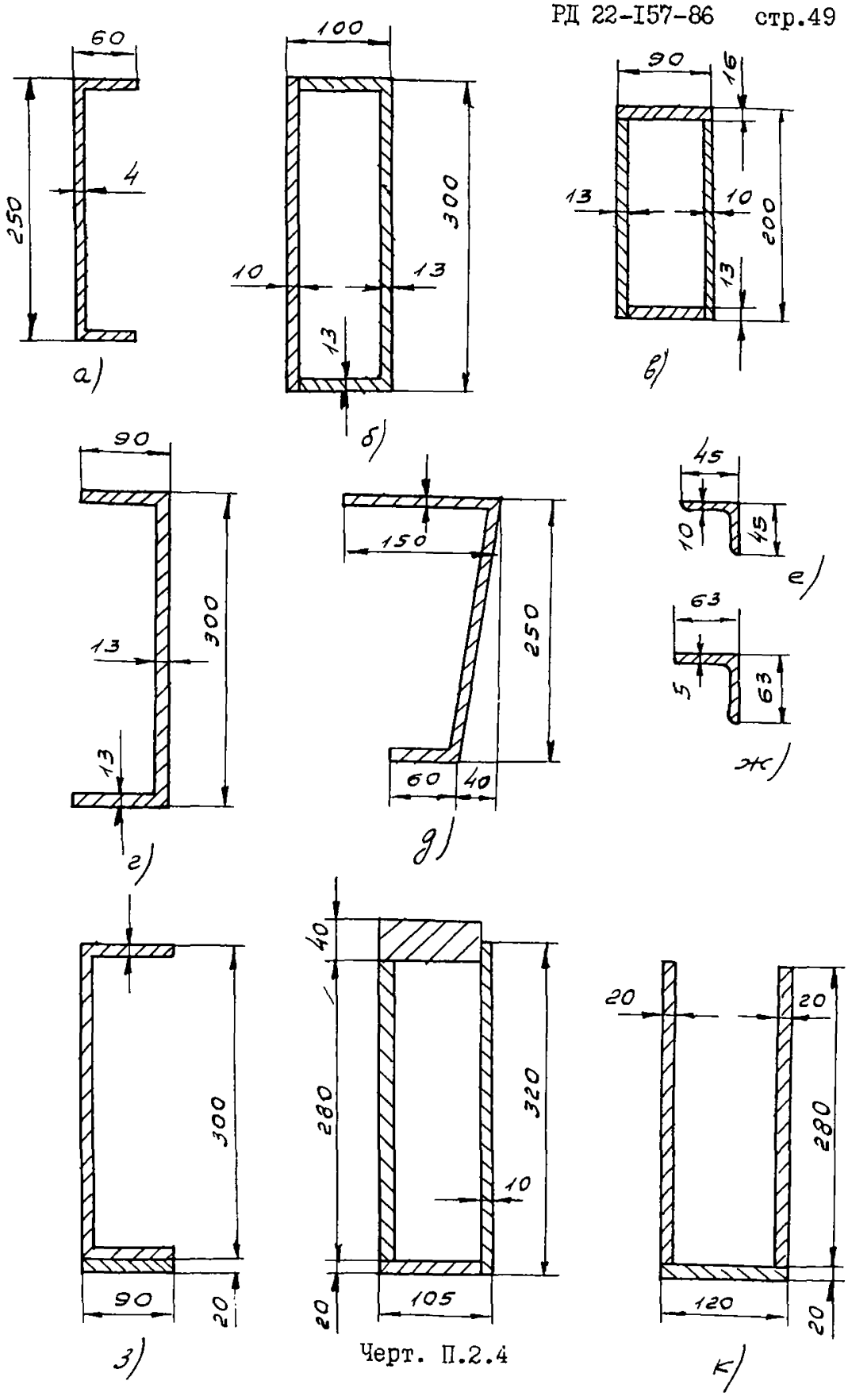
$X$ = 3419 мм, $y$ = - 5695 мм.

Суммарные значения усилий в проушинах пяты стрелы

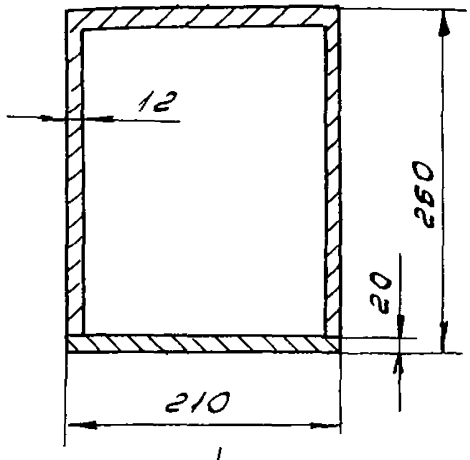
$R_{г1}$ = 514,9 кН, $R_{в1}$ = 170,8 кН, $R_{г2}$ = 627,9 кН,

$R_{в2}$ = - 170,8 кН, $R^{б}$ = - 13,9 кН.

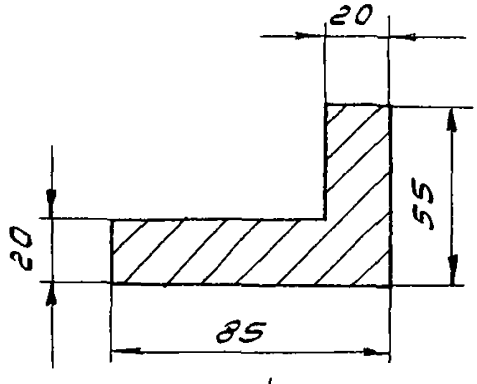
Усилия, возникающие в цилиндрах стрелы, раскладываются на вертикальную и горизонтальную составляющие в соответствии с углом между направлением усилия и горизонтальной осью и прикладываются


60
4
250
а)
100
300
10
13
13
б)
90
16
13
10
200
13
в)
90
13
300
13
г)
150
250
60
40
д)
45
10
45
е)
63
5
63
ж)
40
280
320
10
20
105
90
20
з)
20
20
280
120
20
к)

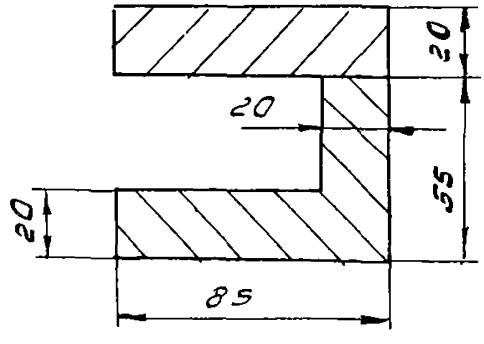
Черт. П.2.4



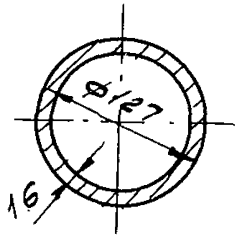

л/




м/

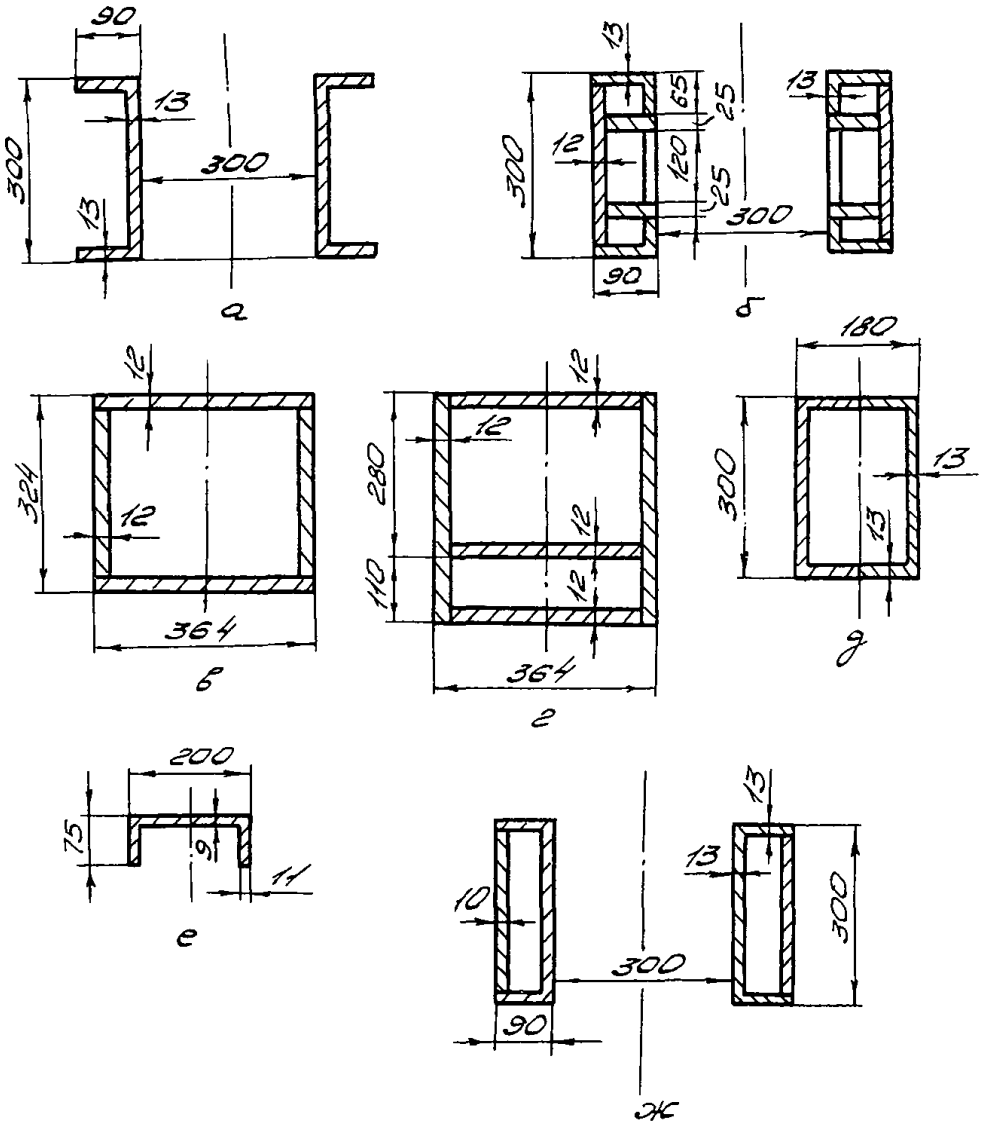



н/




о/

Черт. П.2.4


90
13
300
13
300
а
13
65
25
13
12
120
25
300
300
90
б
12
324
12
364
в
12
12
280
12
110
12
364
г
180
300
13
13
д
200
75
9
11
е
13
13
10
300
300
90
ж

Черт. П.2.5

в местах крепления цилиндров стрелы.

Значения горизонтальных и вертикальных составляющих усилий в цилиндрах стрелы

$$R_{ц}^{в} = -90{,}5 \text{ кН}; \qquad R_{ц}^{г} = -572{,}4 \text{ кН}$$

В расчете учитывались наиболее крупные весовые нагрузки, а именно: вес дизеля, насосной установки, механизма поворота, кабины, электрооборудования, контргруза. Собственный вес рамы поворотной платформы и ходовой рамы не учитывался. Распределение весовых нагрузок по узлам рамы поворотной платформы приведено в таблице 3.

Значения внешних нагрузок, действующих в узлах рамы поворотной платформы, представлены в таблице 4.

Были рассмотрены все варианты опор конструкции в соответствии с пунктом 3.15.

Напряжения в пластинах определялись в центре тяжести. Для стержней напряжения определялись в узлах.

Исходные данные для расчета конструкций.

1. Расчетные схемы рам, состоящие из конечных элементов (стержней и пластин), соединенных жестко в узлах.

2. Координаты узлов расчетных схем.

3. Геометрические характеристики поперечных сечений стержней и пластин.

4. Опорные точки схемы ходовой рамы и возможные ограничения в их перемещениях.

5. Внешние нагрузки, действующие на конструкцию.

С целью проверки правильности составления расчетных схем с помощью графопостроителя по заданным координатам узлов и заданным конечным элементам были построены контрольные схемы конструкции, представленные на черт. П2.9, П2.10, П2.11, на которых рама поворотной платформы располагается относительно ходовой рамы следующим образом: вдоль хода экскаватора, поперек хода экскаватора и под углом $45^{\circ}$ к продольной оси экскаватора.

Таблица I

Геометрические характеристики сечений

| Номер элементной группы | $F$, $см^2$ | $J_y$, $см^4$ | $J_z$, $см^4$ | $J_{yz}$, $см^4$ | $J_{кр}$, $см^4$ | $x_c$, $см$ | $y_c$, $см$ | $z_c$, $см$ | $y_A$, $см$ | $z_A$, $см$ | $y_B$, $см$ | $z_B$, $см$ | | № чертежа |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | I4,48 | II98 | 986 | 0 | 93 | -I20 | 320 | 0 | 2,52 | 0 | 0 | 0 | 6-I2, I2-I8, I8-24, 24-82, 82-I25, I-7, 7-I3, I3-I9, I9-76, 76-85, 93-I24 | 4.а |
| 2 | I4,48 | II98 | 986 | 0 | 93 | -I20 | -I30 | 0 | 2,52 | 0 | 0 | 0 | 23-24, 8I-82, 76-77, 7-8, II-I2, I7-I8, I3-I28, I28-I4, I9-20, 20-2I, 2I-22 | 4.а |
| 3 | 89 | 9296 | I43I | 0 | I736 | -I20 | I20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8-I4, II-I7 | 4,б |
| 4 | 89 | 9296 | I43I | 0 | I736 | -I20 | -I30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | I4-I29, I29-I5, I5-I6, I6-I7 | 4,б |
| 5 | 65,3 | 3I97 | 490 | 0 | 869 | -I00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5-II, 2-8 | 4,в |
| 6 | 65,3 | 3I97 | 490 | 0 | 869 | -I20 | -I30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 72-73, 73-74, 74-75, I20-I2I, I22-I23, I-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6 | 4,в |
| 7 | 59 | 7046 | 367 | 0 | 880 | -I20 | -I30 | 0 | 3,8 | 0 | 0 | 0 | 8-9, 9-I0, I0-II | 4,г |
| 8 | I3,9 | I269 | 225 | 0 | 0,07 | -I20 | -I30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 86-87, I24-I25 | 4,д |
| 9 | 8 | I4,3 | I4,3 | 0 | I0 | -I20 | I30 | 0 | I | I | 0 | 0 | 3-9, 4-I0 | 4,е |
| I0 | 6 | 23 | 23 | 0 | I4,7 | -I20 | 300 | 0 | I,55 | I,55 | 0 | 0 | I28-20, I29-2I | 4,ж |
| II | 77 | I0840 | 562 | 0 | II00 | -I20 | 0 | 0 | 3,6 | 0 | 0 | 0 | 22-25, 26-27, 29-30, 77-56, 59-78, 39-40, 40-4I, 4I-42, 42-43 | 4,з |
| I2 | 77 | I0840 | 562 | 0 | II00 | -I20 | 320 | 0 | 3,6 | 0 | 0 | 0 | 28-4I, 4I-90 | 4,з |
| I3 | 77 | I0840 | 562 | 0 | II00 | -I20 | -I30 | -I0 | 3,6 | 0 | 0 | 0 | 27-3I, 29-32, 35-37, 36-38, 77-79, 78-80, 89-I26, 9I-I27 | 4,з |
| I4 | 77 | I0840 | 562 | 0 | II00 | -I20 | -I30 | 0 | 3,6 | 0 | 0 | 0 | 35-39, 43-36 | 4,з |
| I5 | I2I | 20452 | I744 | 0 | 25I4 | -I20 | 320 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | I5-22, 22-26, 26-33, 33-39, I6-25, 25-30, 30-34, 34-43 | 4,и |

Р2 22-157-86 стр. 53

Таблица I

Продолжение

| Номер элементной группы | $F$, см² | $J_y$, см⁴ | $J_z$, см⁴ | $J_{yz}$, см⁴ | $J_{кр}$ см⁴ | $x_c$, см | $y_c$, см | $z_c$, см | $y_A$, см | $z_A$, см | $y_B$, см | $z_B$, см | Номера стержней и пластин | № чертежа |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I6 | I36 | II763 | 3088 | 0 | I27 | -I20 | 320 | 0 | 0 | 25 | 0 | 0 | 39-56, 56-83, 83-87, 43-59, 59-86, 86-93 | 4,к |
| I7 | I22 | I2065 | 7830 | 0 | 60I2 | -I20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 87-88, 88-89, 89-90, 90-9I, 9I-92, 92-93 | 4,л |
| | I22 | I2065 | 7830 | 0 | 60I2 | -I20 | 0 | I5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 95-96, 96-97, 97-98 | |
| | I22 | I2065 | 7830 | 0 | 60I2 | -I20 | 0 | -I0 | 0 | 0 | 0 | 0 | I08-I09, I09-II0, II0-III | |
| I8 | I22 | I2065 | 7830 | 0 | 60I2 | 83 | 2I7 | -I5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 87-I08 | 4,л |
| | I22 | I2065 | 7830 | 0 | 60I2 | -5 | 2I7 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | III-93 | |
| I9 | 24 | 46 | I50 | 0 | 36 | II0 | I80 | 0 | 2,3I | 0,8 | 0 | 0 | 33-35 | 4,м |
| | 24 | 46 | I50 | 0 | 36 | II0 | 250 | 0 | 2,3I | 0,8 | 0 | 0 | 35-77 | |
| | 24 | 46 | I50 | 0 | 36 | 60 | 200 | 0 | 2,3I | 0,8 | 0 | 0 | 77-83 | |
| | 24 | 46 | I50 | 0 | 36 | -60 | 220 | 0 | 2,3I | 0,8 | 0 | 0 | 36-78 | |
| | 24 | 46 | I50 | 0 | 36 | -40 | 240 | 0 | 2,3I | 0,8 | 0 | 0 | 78-8I | |
| | 24 | 46 | I50 | 0 | 36 | -20 | 250 | 0 | 2,3I | 0,8 | 0 | 0 | 8I-86 | |
| | 24 | 46 | I50 | 0 | 36 | -30 | I20 | 0 | 2,3I | 0,8 | 0 | 0 | 34-23 | |
| | 24 | 46 | I50 | 0 | 36 | -30 | I35 | 0 | 2,3I | 0,8 | 0 | 0 | 23-36 | |
| 20 | 4I | 2I3 | 263 | 0 | I348 | I50 | 50 | 0 | 5,65 | 0 | 0 | 0 | 33-27 | 4,н |
| | 4I | 2I3 | 263 | 0 | I348 | 20 | -20 | 0 | 5,65 | 0 | 0 | 0 | 27-28 | |
| | 4I | 2I3 | 263 | 0 | I348 | 0 | -20 | 0 | 5,65 | 0 | 0 | 0 | 28-29 | |
| | 4I | 2I3 | 263 | 0 | I348 | -20 | 80 | 0 | 5,65 | 0 | 0 | 0 | 29-34 | |
| | 4I | 2I3 | 263 | 0 | I348 | -40 | 200 | 0 | 5,65 | 0 | 0 | 0 | 83-84 | |
| | 4I | 2I3 | 263 | 0 | I348 | 20 | 230 | 0 | 5,65 | 0 | 0 | 0 | 84-89 | |
| | 4I | 2I3 | 263 | 0 | I348 | 0 | 250 | 0 | 5,65 | 0 | 0 | 0 | 86-I30 | |
| | 4I | 2I3 | 263 | 0 | I348 | I0 | 260 | 0 | 5,65 | 0 | 0 | 0 | I30-9I | |
| 2I | 53 | 893 | 893 | 0 | I786 | -I20 | -I30 | 5I | 0 | 0 | 0 | 0 | 65-66 | 4,о |

Таблица I
Продолжение

| Номер элементной группы | Характеристики пластин | Номера стержней и пластин | № чертежа |
|---|---|---|---|
| 22 | $E$ = 2I0000000 кН/м$^2$ ; $\nu$ = 0,3; $t$ = 0,02 | 39-56-44, 44-56-60, 56-83-60, 60-83-94, 83-87-94, 44-60-48, 48-60-64, 64-60-I00, 60-94-I00, 48-64-52, 64-68-52, 64-I04-68, 64-I00-I04, 68-I04-72, 40-57-45, 45-57-6I, 57-84-6I, 6I-84-95, 84-88-95, 45-6I-49, 49-6I-65, 65-6I-I0I, 95-I0I-6I, 49-65-53, 65-69-53, 65-I05-69, 65-I0I-I05, 69-I05-73, 42-58-46, 46-58-62, 58-I30-62, 62-I30-98, I30-92-98, 46-62-50, 50-62-66, 66-62-I02, 98-I02-62, 50-66-54, 66-70-54, 66-I06-70, 66-I02-I06, 70-I06-74, 43-59-47, 47-63-59, 59-86-63, 63-99-86, 86-93-99, 47-63-5I, 5I-63-67, 67-63-I03, 63-99-I03, 5I-67-55, 67-7I-55, 67-I07-7I, I07-I03-67, 7I-I07-75, I08-II6-88, 88-II6-I20, 88-I20-II2, 88-II2-95, I09-II7-89, 89-I2I-II7, 89-I2I-II3, 89-II8-96, II0-II8-9I, 9I-II8-I22, 9I-I22-II4, 9I-II4-97, III-II9-92, 92-I23-II9, 92-I23-II5, 92-II5-98 | |
| 23 | $E$ = 2I0000000 кН/м$^2$; $\nu$ = 0,3; $t$ = 0,04 | 40-44-39, 40-45-44, 44-48-45, 45-49-48, 48-65-49, 48-65-64, 42-47-43, 42-46-47, 47-5I-46, 46-5I-50, 5I-66-50, 5I-66-67 | |

Таблица I

Продолжение

| Номер элементной группы | Характеристики пластин | Номера стержней и пластин | № чертежа |
|---|---|---|---|
| 24 | $E = 21000000\ кН/м^2$; $\nu = 0,3$, $t = 0,01$ | 67-102-66, 67-102-103, 102-99-103, 102-65-99, 99-93-98, 98-93-92, 64-101-65, 64-101-100, 101-94-100, 101-95-94, 94-87-95, 95-87-88 | |

Таблица 2

Геометрические характеристики сечений

| Номер элементной группы | $F$, $см^2$ | $J_y$, $см^4$ | $J_z$, $см^4$ | $J_{yz}$ $см^4$ | $J_{кр}$, $см^4$ | $x_c$, $см$ | $y_c$, $см$ | $z_c$, $см$ | $y_A$, $см$ | $z_A$, $см$ | $y_B$, $см$ | $z_B$, $см$ | Номера стержней и пластин | № чертежа |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | II8 | I490 | 35560 | 0 | 40 | -I00 | 320 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3-5, 5-I9, I9-29, 29-39, 39-49, 4-II, II-22, 22-32, 32-45, 45-50 | 5.а |
| 2 | 2I8 | 2I242 | 89000 | 0 | I62 | -I00 | 350 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 49-5I, 50-52 | 5.б |
| 3 | I60 | 26660 | 3I940 | 0 | 2I800 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6-7, 7-8, 8-9, 9-I0, 40-4I, 4I-42, 42-43, 43-44 | 5.в |
| 4 | 2I6 | 673I0 | 40780 | 0 | 29I30 | -50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5-6, I0-II, 39-40, 44-45 | 5.г |
| 5 | II8 | I4I30 | 6230 | 0 | 6045 | -50 | 320 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6-20, 20-25, 25-30, 30-40, I0-2I, 2I-26, 26-3I, 3I-44 | 5.д |
| 6 | 29 | I28 | I780 | 0 | 6,5 | -I00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25-26 | 5.е |
| 7 | I84 | I8200 | 7I560 | 0 | 53 | -I00 | I50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | I-3, 2-4 | 5.ж |
| 8 | $E$ = 2I0000000 кН/м$^2$ ; $\nu$ = 0,3; $t$ = 0,02 | | | | | | | | | | | | 7-8-I2-I3, 8-9-I3-I4, 9-I6-I4-I8, I6-2I-I8-24, 2I-26-24-28, 26-3I-28-34, 3I-36-34-38, 36-43-38-48, 42-43-47-48, 4I-42-46-47, 35-4I-37-46, 30-35-33-37, 25-30-27-33, 20-25-23-27, I5-20-I7-23, 7-I5-I2-I7 | |

РД 22-157-86 стр. 57

Таблица 3

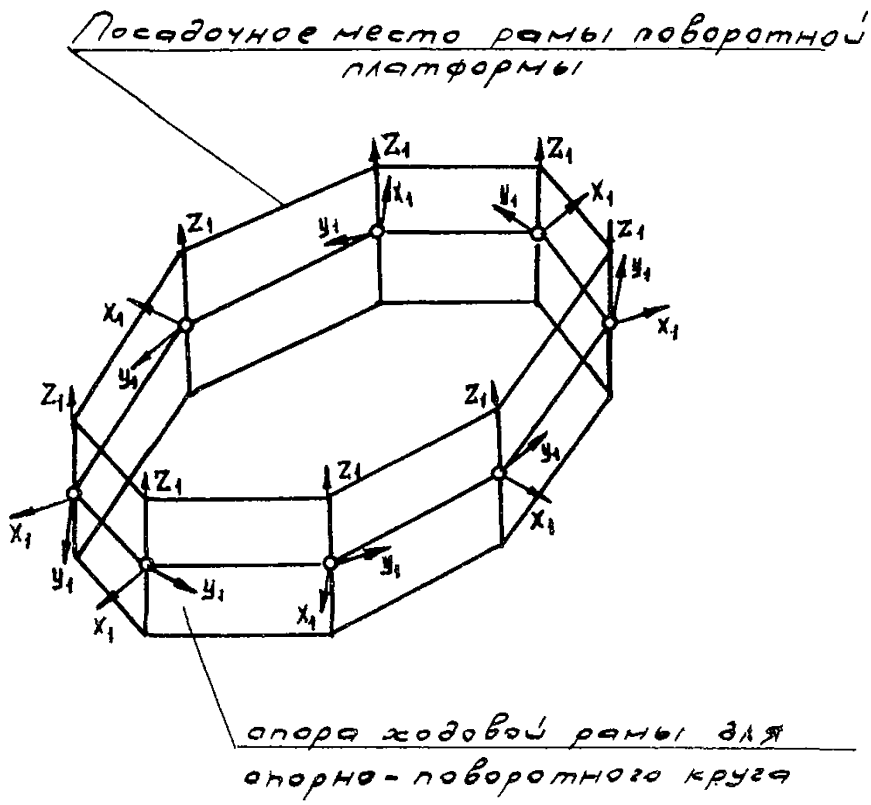
Значения весовых нагрузок (кН)

| № узла | Нагрузка, кН | № узла | Нагрузка, кН |
|---|---|---|---|
| I | 2,55 | I6 | 2,55 |
| 2 | 2,55 | I7 | 2,55 |
| 3 | 2,55 | I8 | 2,55 |
| 4 | 2,55 | I9 | 2,55 |
| 5 | 2,55 | 22 | 2,55 |
| 6 | 2,55 | 25 | 2,55 |
| 7 | 4,65 | 33 | I,2 |
| 8 | 4,65 | 34 | I,2 |
| 9 | 4,65 | 39 | I,2 |
| I0 | 4,65 | 43 | I,2 |
| II | 4,65 | 8I | 0,45 |
| I2 | 4,65 | 82 | 0,45 |
| I3 | 2,55 | 23 | 0,45 |
| I4 | 2,55 | 24 | 0,45 |
| I5 | 2,55 | 93 | 0,45 |

Таблица 4

Значения внешних нагрузок (кН)

| Номер узла схемы | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 72 | | | 73 | | | 74 | | | 75 | | | I20 | | I2I | | I22 | | I23 | |
| $P_x$ | $P_y$ | $P_z$ | $P_x$ | $P_y$ | $P_z$ | $P_x$ | $P_y$ | $P_z$ | $P_x$ | $P_y$ | $P_z$ | $P_y$ | $P_z$ | $P_y$ | $P_z$ | $P_y$ | $P_z$ | $P_y$ | $P_z$ |
| 3,42 | 3I4 | -85,4 | -3,47 | 3I4 | -85,4 | -3,47 | 257,4 | 85,4 | -3,47 | 257,4 | 85,4 | -286 | -45 | -286 | -45 | -286 | -45 | -286 | -45 |


Посадочное место рамы поворотной платформы
Опора ходовой рамы для опорно-поворотного круга

Черт.П.2.6

Результатами расчета являются перемещения всех узлов, усилия и напряжения во всех конечных элементах.

Для пластин вычисляются интенсивности моментов и перерезывающих сил, то есть моменты и силы, отнесенные к единице длины и имеющие размерность Нм/м (кГс.м/м) и Н/м (кГс/м), а также нормальные напряжения $\sigma_x$, $\sigma_y$, действующие вдоль местных осей координат $X$, $Y$, и напряжение сдвига $\tau_{xy}$.

Для определения напряжений в пластинке существенны значения интенсивностей моментов.

Положительные изгибающие моменты $M_x$ и $M_y$ растягивают нижние волокна, положительный крутящий момент $M_{xy}$ соответствует деформации, при которой линия 1-4 направлена выпуклостью вверх, а линия 2-3 - выпуклостью вниз (черт. 1.1).

Ниже приводятся максимальные эквивалентные напряжения на верхней и нижней поверхностях пластин для положения рабочего оборудования вдоль хода.

Элемент 68-104-72 $\sigma_{экв.в.}$ = 283 МПа; $\sigma_{экв.н.}$ = 260,5 МПа;

Элемент 69-105-73 $\sigma_{экв.в.}$ = 294 МПа; $\sigma_{экв.н.}$ = 273,8 МПа;

Элемент 70-106-74 $\sigma_{экв.в.}$ = 222,6 МПа; $\sigma_{экв.н.}$ = 222 МПа;

Элемент 71-107-75 $\sigma_{экв.в.}$ = 233,3 МПа; $\sigma_{экв.н.}$ = 232,2 МПа;

Для конечных элементов стержневого типа на печать выдаются:

$N$ - осевое усилие;

$Q_y, Q_z$ - перерезывающие силы в сечении балки по направлениям $\overline{oy}$ и $\overline{oz}$;

$M_{y_1}, M_{y_2}, M_{z_1}, M_{z_2}$ - изгибающие моменты на концах балки относительно центральных осей сечения;

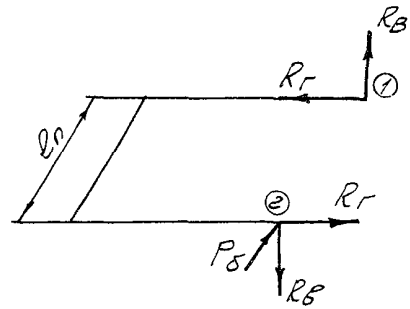
$M_к, M_{кА}$ - крутящий момент относительно оси $\overline{ox}$ и относительно оси центров изгиба (см. черт. П.2.8).

Суммарные и приведенные напряжения подсчитываются по формулам (1.5).

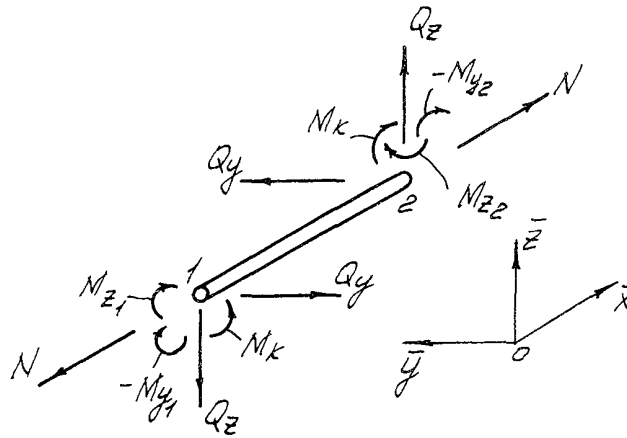
Примеры подсчета напряжений в конечных элементах стержневого типа для случая положения рабочего оборудования вдоль хода

Пример № 1

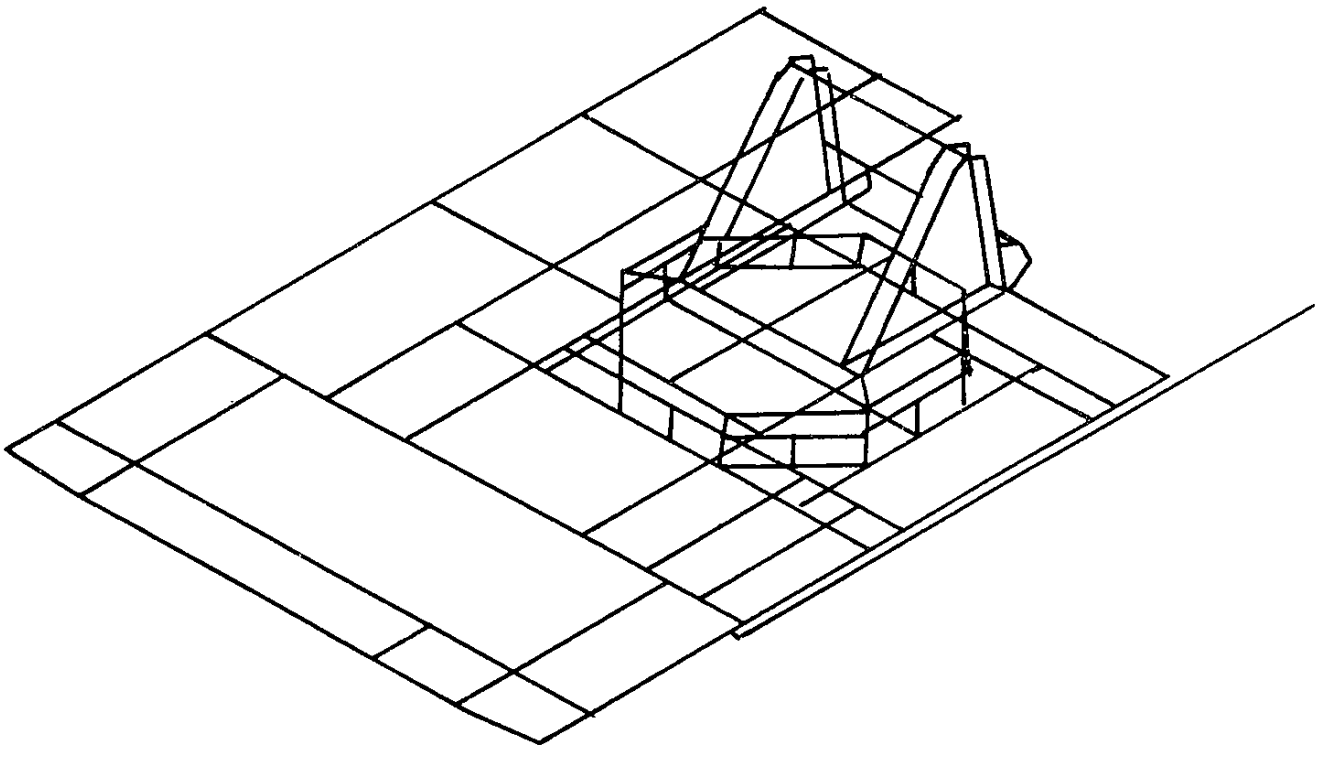
Платформа поворотная, стержень 16-25.



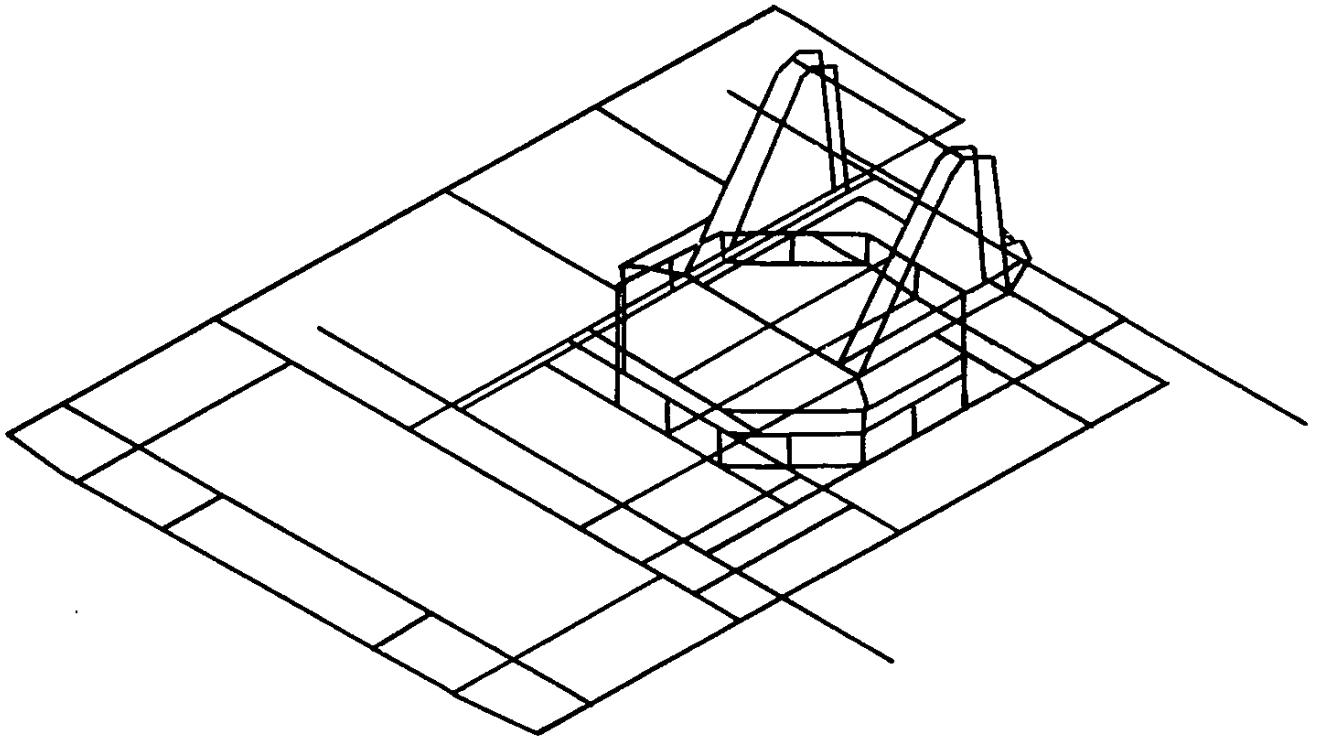

Черт.П.2.7

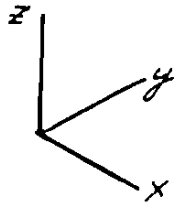



Черт.П.2.8

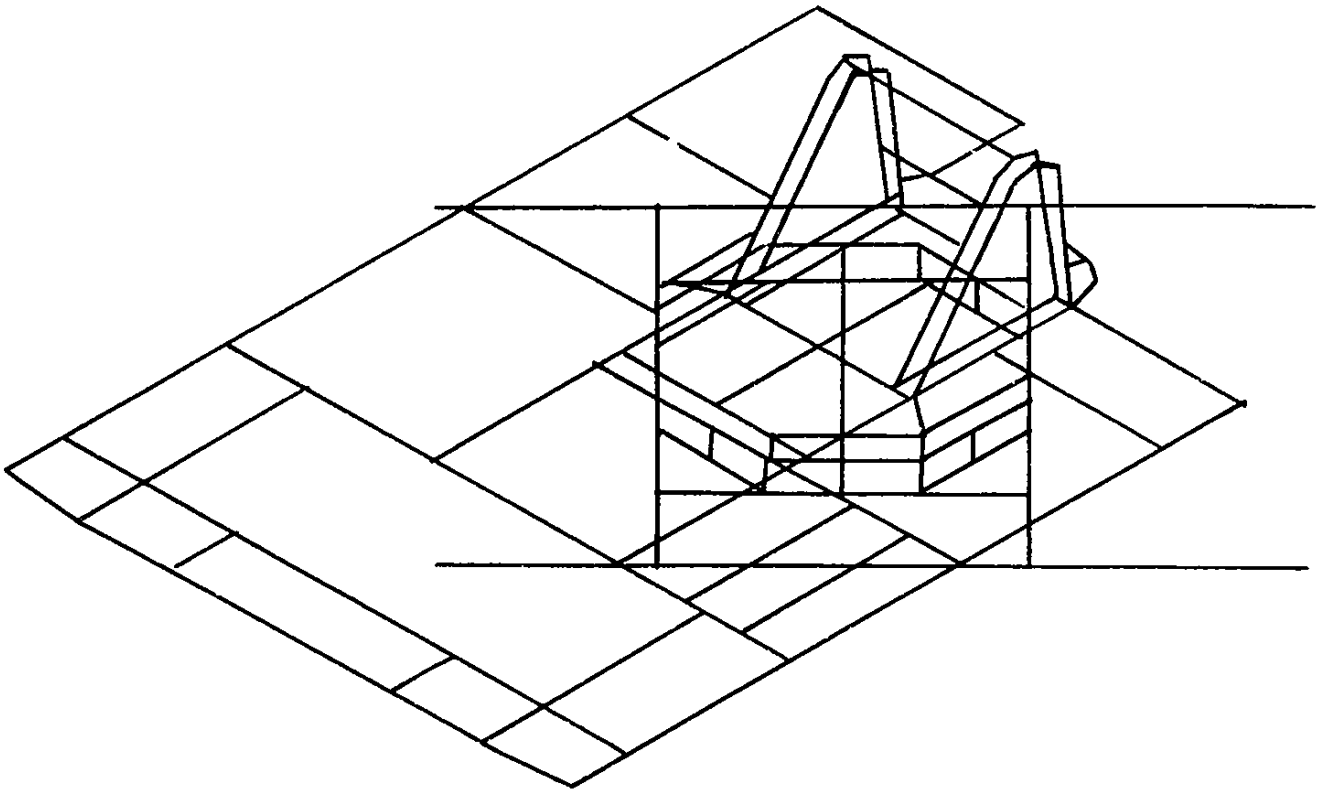


Черт. П.2.9.

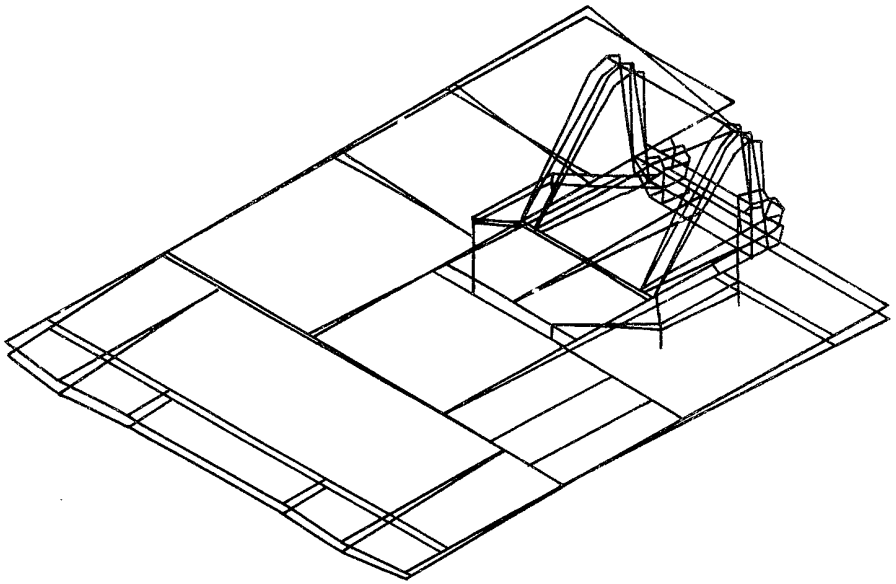


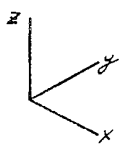



Черт. П.210.



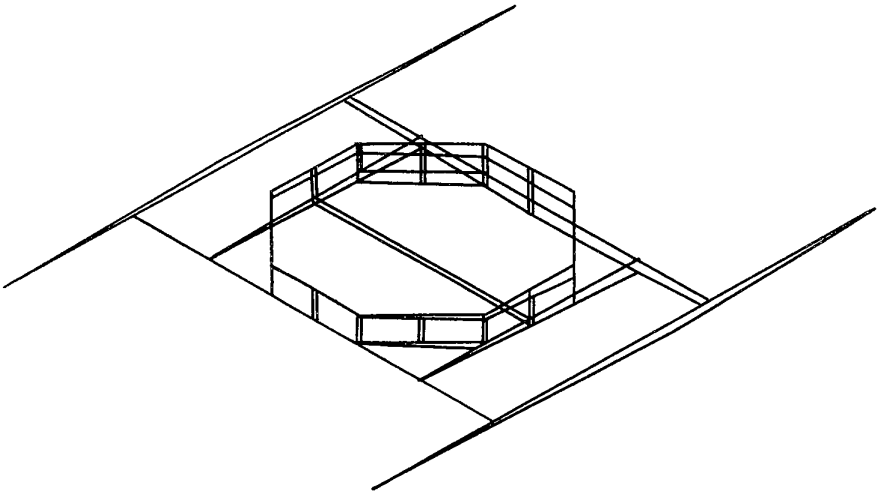
Черт. П. 2. 11.

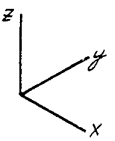





Поворотная платформа
деформированная схема

Черт. П.212.






Ходовая рама
деформированная схема
Черт. П21.3

$N$ = I2,83 кН; $Q_y$ = 8,26 кН; $Q_z$ = 5,78 кН;
$M_{y_1}$ = 49,32 кн м; $M_{yz}$ = 55,08 кн м
$M_{z_1}$ = 0,753 кн м; $M_{z_2}$ = -0,072 кн м
$M_к$ = -5,7I кН м; $M_{кА}$ = -5,7I кн м

$$\sigma_{р\text{-}с} = \frac{N}{F} = \frac{I2,83}{0,0I2I} = I,06 \text{ МПа},$$

где $F$ - площадь сечения, $м^2$

$$\tau_{Qy} = \frac{Q_y}{t_п h_п} = \frac{8,26}{0,02 \cdot 0,I05} = 3,9 \text{ МПа}$$

$$\tau_{Qz} = \frac{Q_z}{t_c h_c} = \frac{5,78}{0,0I \cdot 0,3} = I,9 \text{ МПа},$$

где $h_п, t_п, h_c, t_c$ - высота и толщина полки и боковой стенки соответственно, м

$$\sigma_y = \frac{M_{y_1}}{W_y} = \frac{49,32}{0,00I03} = 4,78 \text{ МПа}$$

$$\sigma_z = \frac{M_{z_1}}{W_z} = \frac{0,753}{0,00034} = 2,2 \text{ МПа}$$

$$\tau_{кр.} = \frac{M_к}{W_к} = \frac{5,7I4}{0,0006I} = -9,3 \text{ МПа},$$

где $W_y, W_z, W_к$ - моменты сопротивления изгибу и кручению соответственно, $м^3$

$\sigma$ = I,06 + 47,8 + 2,2 = 5I МПа
$\tau$ = 3,9 + I,9 + 9,3 = I4,I МПа
$\sigma_{пр} = \sqrt{5I^2 + 3 \cdot I4,I^2} = 56,5$ МПа

Пример № 2

Платформа поворотная, стержень 56-83

$N$ = -98 кН; $Q_y$ = -32,6 кН; $Q_z$ = -98,96 кН;
$M_{y_1}$ = 24,I кН м; $M_{y_2}$ = 4,009 кН м;
$M_{z_1}$ = -II,02 кН м; $M_{z_2}$ = -4,4 кН м;

$M_к$ = 8,33 кН м; $M_{кд}$ = 0,18 кН м

$$\sigma_{р-с} = -\frac{98}{0,0136} = -7,2 \text{ МПа}$$

$$\tau_{Qy} = -\frac{32,6}{0,02 \cdot 0,12} = -13,5 \text{ МПа}$$

$$\tau_{Qz} = -\frac{98,96}{0,02 \quad 0,28} = -17,6 \text{ МПа}$$

$$\sigma_y = \frac{24,1}{0,0008} = 30,1 \text{ МПа}$$

$$\sigma_z = -\frac{11,02}{0,000515} = -21,4 \text{ МПа}$$

$$\tau_{кр.} = \frac{8,33}{0,00063} = 132,3 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{пр.} = \sqrt{58,7^2 + 3 \cdot 163,4^2} = 289 \text{ МПа}$$

Пример № 3

рама ходовая, стержень 31-44

$N$ = 13,55 кН; $Q_y$ = -0,63 кН; $Q_z$ = 44,5 кН;

$M_{y_1}$ = -62,35 кН м; $M_{yz}$ = -44,29 кН м; $M_{z_1}$ = -12,79 кН м

$M_{z_2}$ = 12,53 кН м; $M_к$ = 9,9 кН м; $M_{кд}$ = 9,9 кН м

$$\sigma_{р-с} = \frac{13,55}{0,0118} = 1,14 \text{ МПа}$$

$$\tau_{Qy} = -\frac{0,63}{0,013 \cdot 0,18} = -0,27 \text{ МПа}$$

$$\tau_{Qz} = \frac{44,5}{0,013 \cdot 0,3} = 11,4 \text{ МПа}$$

$$\sigma_y = -\frac{62,35}{0,00095} = -65,6 \text{ МПа}$$

$$\sigma_z = -\frac{12,79}{0,00069} = -18,5 \text{ МПа}$$

$$\tau_{кр.} = \frac{9,9}{0,00115} = 8,6 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{пр.} = \sqrt{85^2 + 3 \cdot 20,27^2} = 92 \text{ МПа}$$

Вычисленные напряжения соответствуют условиям (1.1).

На черт. П.2.12, П.2.13 представлены деформированные схемы поворотной платформы и ходовой рамы при копании вдоль хода экскаватора.

Приложение 3
Справочное

## Пример расчетной схемы поворотной платформы канатного экскаватора.

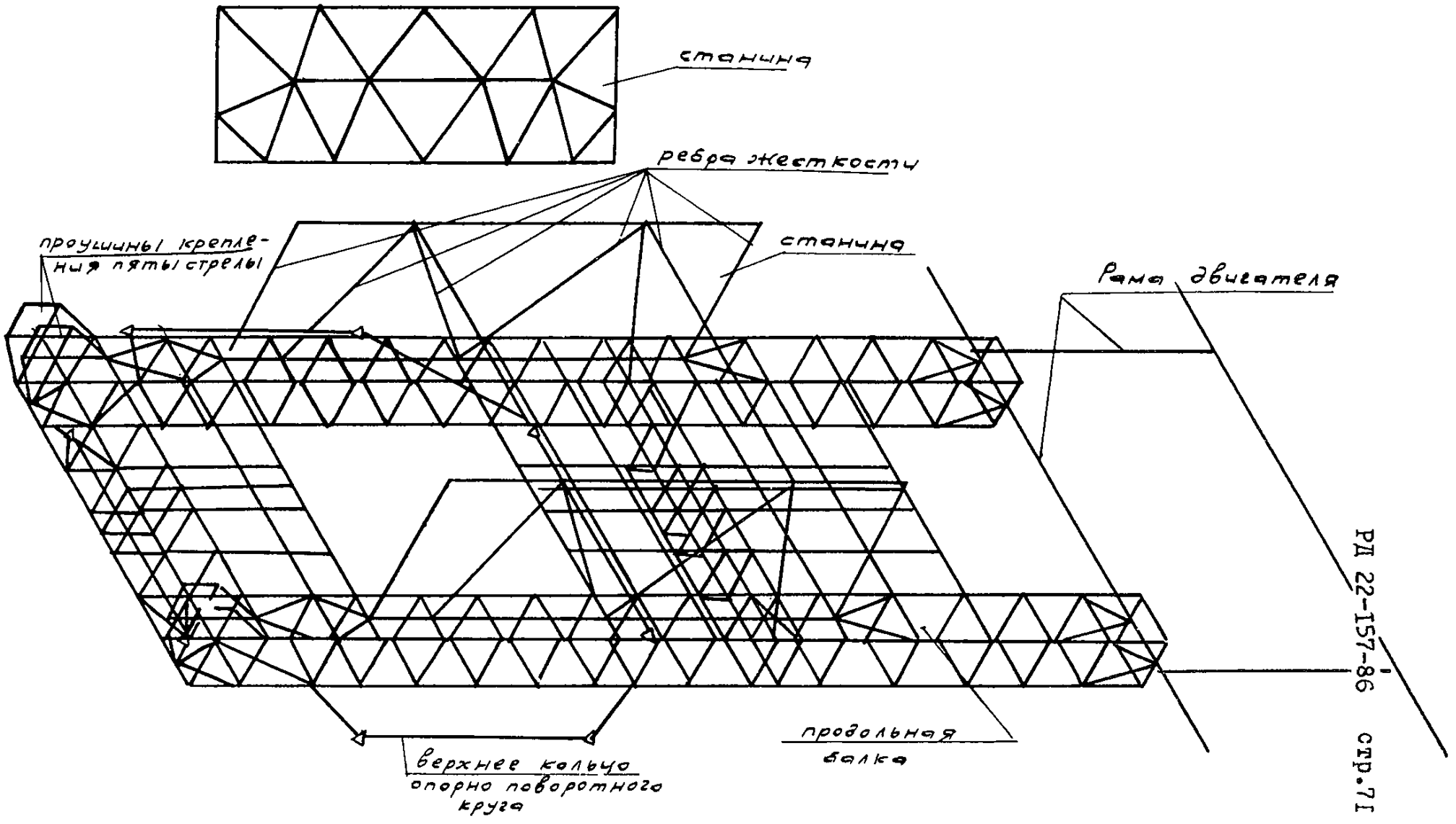
На черт. П.3.1 дана типовая расчетная схема поворотной платформы канатного экскаватора 5-й размерной группы. Расчетная схема представляет собой пространственную систему, состоящую из пластин соответствующей толщины и из стержней с соответствующими жесткостными характеристиками.

Стержнями на схеме моделируются: рама силовой установки, опорно-поворотный круг, валы лебедок и уголки, проложенные между листами станин лебедок. Остальные металлоконструкции моделируются треугольными и прямоугольными пластинами.

В схеме учтены верхний и нижний листы поворотной платформы.

Продольные балки представлены пластинчатыми схемами, так как при стержневом моделировании не учитываются концентрации напряжений, возникающие в верхних полках продольных балок (см. пункт 3.7)

Для предотвращения возникновения нереальных деформаций в узлах стыковки прдольных балок с рамой двигателя введены дополнительные стержни с жесткостными характеристиками такими же, как у поперечной балки рамы силовой установки (см. пункт 3.8)


станина
ребра жесткости
проушины крепления пяты стрелы
станина
Рама двигателя
продольная балка
верхнее кольцо опорно поворотного круга

Черт. П.3.1.

## ЛИТЕРАТУРА

I. Волков Д.П. Динамика и прочность одноковшовых экскаваторов. М., Машиностроение, 1965

2. Зенкевич О., Чанг И. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред. М., Недра, 1976

3. Панкратов С.А., Ряхин В.А. Основы расчета и проектирования металлических конструкций строительных и дорожных машин. М., Машиностроение, 1967.

4. Ряхин В.А. Металлические конструкции строительных и дорожных машин. М., Машиностроение. 1972.

5. Ряхин В.А., Тотолин П.Е. Экспериментальное исследование поворотной платформы и нижней рамы карьерного экскаватора. "Строительное и дорожное машиностроение", 1958, № 8

6. Разработка методики расчета и оптимального проектирования ходовых рам и поворотных платформ башенных кранов. Отчет о НИР. ВНИИстройдормаш. Лифшиц В.Л. № г.р. 74015660, инв. № 38051, М, 1974

7. СНиП II-23-81. Стальные конструкции. Нормы проектирования. М., Стройиздат, Машиностроение, 1982

8. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. М., Физматиздат, 1963

9. ОСТ 92-8767-76. Системы стержневые металлоконструкций агрегатов специального назначения. 1977

Подписано в печать 21.07.87 Формат 60×90 1/16
Печать офсетная Усл. печ. л. 4,5 Уч.-изд. л. 3,02
Тираж 400 Изд. № 273-87 Зак. 962

ЦНИИТЭстроймаш, 119146, Москва, Г-146, 2-я Фрунзенская, 8
Отдел опытного полиграфического производства
111141, Москва, 2-й проезд Перова поля, 5

gost.e-ecolog.ru