

РУКОВОДЯЩИЙ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ

**ЭКСКАВАТОРЫ ОДНОКОВШОВЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ.  
РАБОЧЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ.  
РАСЧЕТ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ  
НА СТАТИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ**

**РД 22-158—86**

**УТВЕРЖДЕН:** Зам. генерального директора НПО «ВНИИстройдор-маш» к. т. н. **П. В. Панкрашкиным**

**ИСПОЛНИТЕЛИ:** **В. Б. Елизарова**, инж.; **Л. Б. Зарецкий**, к. т. н.;  
**В. Л. Лифшиц**, к. т. н.; **О. И. Грицевец**, инж.;  
**Ю. Д. Афанасьева**, инж.; **М. М. Гайцгори**, к. т. н.;  
**А. М. Крылов**, к. т. н.; **В. И. Колычева**, инж.;  
**Н. Н. Лукшо**, инж.; **А. С. Иоффе**, к. т. н.  
(НПО «ВНИИстройдормаш»)

## РУКОВОДЯЩИЙ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ

---

Экскаваторы одноковшовые  
гидравлические

РД 22-158-86

Рабочее оборудование

Расчёт металлоконструкций на  
статическую прочность

Введен впервые

---

Срок введения с 01.07.87 г.

Настоящий руководящий документ (РД) устанавливает порядок расчёта металлоконструкций рабочего оборудования на статическую прочность гидравлических экскаваторов с применением ЭВМ. При разработке РД использованы материалы исследований, проведенных во ВНИИстройдормаше.

## I. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАСЧЁТУ

I.1. Руководящий нормативный документ (РД) устанавливает метод расчёта и порядок подготовки исходных данных для расчёта на ЭВМ металлоконструкций рабочего оборудования гидравлических экскаваторов на статическую прочность.

Расчёт металлоконструкций стрелы и рукояти производится на ЭВМ по программе МЕСН, разработанной во ВНИИстройдормаше. По максимальным усилиям, полученным из расчёта на ЭВМ, производится расчёт пальцев, осей и сварных швов.

I.2. РД распространяется на металлоконструкции рабочего оборудования гидравлических экскаваторов, а именно: оборудование прямого копания; оборудование обратного копания с моноблочной стрелой, с составной стрелой и тягой, с составной стрелой без тяги, с составной стрелой и дополнительным

цилиндром раздвижения стрелы; телескопическое рабочее оборудование; погрузочное оборудование.

1.3. Расчётные формулы и примеры расчёта представлены в системе единиц СИ, а также кратных и дольных от них.

1.4. Для обеспечения прочности рассчитываемых элементов должно выполняться условие

$$\sigma \leq mR \quad (1.1)$$

где:  $\sigma$  - расчётное напряжение в проверяемом сечении стрелы или рукояти от нагрузок, определенных с коэффициентом перегрузки  $K$ , МПа;

$m$  - коэффициент условий работы;

$R$  - расчётное сопротивление материала, МПа.

Расчётные сопротивления проката для различных видов напряженных состояний следует определять по формулам и таблице Приложения 1а в соответствии со СНиП II-23-81 "Стальные конструкции". Для сталей, не представленных в Приложении 1а, расчётное сопротивление принимается равным меньшему из двух значений: 0,8 от предела текучести или 0,5 от предела прочности.

Коэффициенты перегрузки принимаются по таблице 1.1.

Таблица 1.1.

Нагрузка	Коэффициент перегрузки K
1. Собственный вес металлоконструкций	1,1
2. Вес грунта в ковше	1,2
3. Активные усилия в гидроцилиндрах рукояти и ковша	1,1
4. Реактивные усилия в гидроцилиндрах стрелы и рукояти	1,2
5. Момент механизма привода поворота	1,1

Значения коэффициентов условий работы  $m$  приведены в разделе по проверке прочности в таблице 6.1. В неоговоренных случаях принимается  $m = 1$ .

## 2. ПРИНЯТЫЕ ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- $D$  - диаметр поршня исполнительного гидроцилиндра, мм;
- $d$  - диаметр штока исполнительного гидроцилиндра, мм;
- $S$  - ход штока гидроцилиндра, мм;
- $L$  - длина гидроцилиндра, мм;
- $L_{min}$  - минимальная длина гидроцилиндра, мм;
- $L_{max}$  - максимальная длина гидроцилиндра, мм;
- $\delta$  - толщина стенки, см;
- $\rho$  - радиус загиба, см;
- $K_f$  - катет углового шва, мм;
- $r$  - радиус траектории зуба конуса по отношению к оси вращения экскаватора, м;
- $F$  - площадь сечения, см<sup>2</sup>;
- $S_x, S_y$  - статические моменты части сечения относительно осей  $x$  и  $y$ , см<sup>3</sup>;
- $W_x^B, W_x^H$  - момент сопротивления сечения при изгибе в плоскости схемы соответственно для верхней и нижней точек сечения, см<sup>3</sup>;
- $W_y$  - момент сопротивления сечения при изгибе из плоскости схемы, см<sup>3</sup>;
- $W_{кр}$  - момент сопротивления сечения при кручении, см<sup>3</sup>;
- $G$  - масса, кг;
- $m$  - коэффициент условий работы;
- $\gamma_m$  - коэффициент надёжности по материалу;
- $\alpha_A$  - угол между направлением усилия сопротивления грунта копанию и радиусом копания, градусы;
- $\psi$  - коэффициент сцепления экскаватора с грунтом;
- $\lambda_c$  - условная гибкость стенок;

- $\alpha_k$  - коэффициент концентрации напряжений;
- $P_{шв}$  - коэффициент перехода к напряжениям сварного шва;
- $P_o$  - усилие сопротивления грунта копанию, Н;
- $P_\delta$  - боковая сила, приложенная к зубу ковша, Н;
- $F_u$  - активное усилие в гидроцилиндре, Н;
- $R_{порш}$  - реактивное усилие в поршневой полости гидроцилиндра, соответствующее настройке реактивного клапана, Н;
- $R_{шток}$  - реактивное усилие в штоковой полости гидроцилиндра, соответствующее настройке реактивного клапана, Н;
- $N$  - продольная сила, Н;
- $Q_x, Q_y$  - поперечные силы в сечении, действующие в плоскостях, параллельных осям  $x$  и  $y$ , Н;
- $M_x, M_y$  - изгибающие моменты в сечении относительно осей  $x$  и  $y$ , Нсм;
- $M_{пов}$  - крутящий момент механизма поворота, приведенный к оси вращения экскаватора, Нм;
- $P_{max}$  - максимальное рабочее давление в гидросистеме экскаватора, МПа;
- $\sigma_{пр}$  - приведенные напряжения в расчётных сечениях, МПа;
- $\sigma_{изв}$  - нормальные напряжения изгиба в плоскости схемы (в плоскости копания), МПа;
- $\sigma_{изг}^k$  - нормальные напряжения изгиба из плоскости схемы (в плоскости поворота) от приложения нагрузки к крайнему зубу ковша, МПа;
- $\sigma_{изг}^\delta$  - нормальные напряжения изгиба из плоскости схемы от случайного включения механизма поворота при стопорении ковша, МПа;
- $\sigma_{p-c}$  - напряжения растяжения - сжатия, МПа;
- $\tau^k$  - касательные напряжения, обусловленные приложением нагрузки к крайнему зубу ковша, МПа;
- $\tau^\delta$  - касательные напряжения от случайного включения механизма поворота при стопорении ковша, МПа;
- $\sigma_x, \sigma_y$  - нормальные напряжения параллельные и перпендикулярные оси конструкции, МПа;

- $\tau$  - касательные напряжения при плоском напряженном состоянии, МПа;  
 $\tau_{xy}$  - среднее касательное напряжение МПа;  
 $\sigma_b$  - предел прочности металла, МПа;  
 $\sigma_T$  - предел текучести металла, МПа;  
 $R$  - расчётное сопротивление металла, МПа;  
 $R_y, R_s$  - расчётные сопротивления металла по пределу текучести соответственно сжатию, изгибу и сдвигу, МПа;  
 $R_u$  - расчётное сопротивление металла растяжению, сжатию, изгибу по временному сопротивлению, МПа;  
 $R_{шч}$  - расчётное сопротивление стыковых сварных соединений сжатию, растяжению, изгибу по временному сопротивлению, МПа;  
 $R_{шy}$  - расчётное сопротивление стыковых сварных соединений сжатию, растяжению и изгибу по пределу текучести, МПа;  
 $R_{шf}$  - расчётное сопротивление угловых швов срезу (условному) по металлу шва, МПа;  
 $R_{шz}$  - расчётное сопротивление угловых швов срезу (условному) по металлу границы сплавления, МПа.

### 3. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И ДОПУЩЕНИЯ

3.1. В расчете рабочего оборудования гидравлических экскаваторов на статическую прочность по программе МЕСН определяются максимальные приведенные напряжения в заданных сечениях элементов рабочего оборудования в момент стопорения - упора зуба ковша в непреодолимое препятствие.

3.2. Рабочее оборудование представлено в виде статически определимой расчётной схемы, элементы которой моделируются твердыми телами и сочленены шарнирами; гидроцилиндры представлены жесткими стержнями с шарнирами на концах. (Черт. 3.1).

Неопределенность в выборе направления реакции сопротивления грунта копания устраняется перебором вероятных направлений реакции на зубьях ковша с определенным шагом в диапазоне  $60^\circ - 120^\circ$  относительно радиуса копания.

Радиус копания - отрезок прямой, соединяющий острие зуба с шарниром крепления ковша к рукояти  $\tau_K$  (копание выдвижением гидроцилиндра ковша), с шарниром крепления рукояти к стреле  $\tau_P$  (копание выдвижением гидроцилиндра рукояти), или с шарниром крепления стрелы к поворотной платформе  $\tau_C$  (копание выдвижением гидроцилиндров стрелы), черт. 3.1.

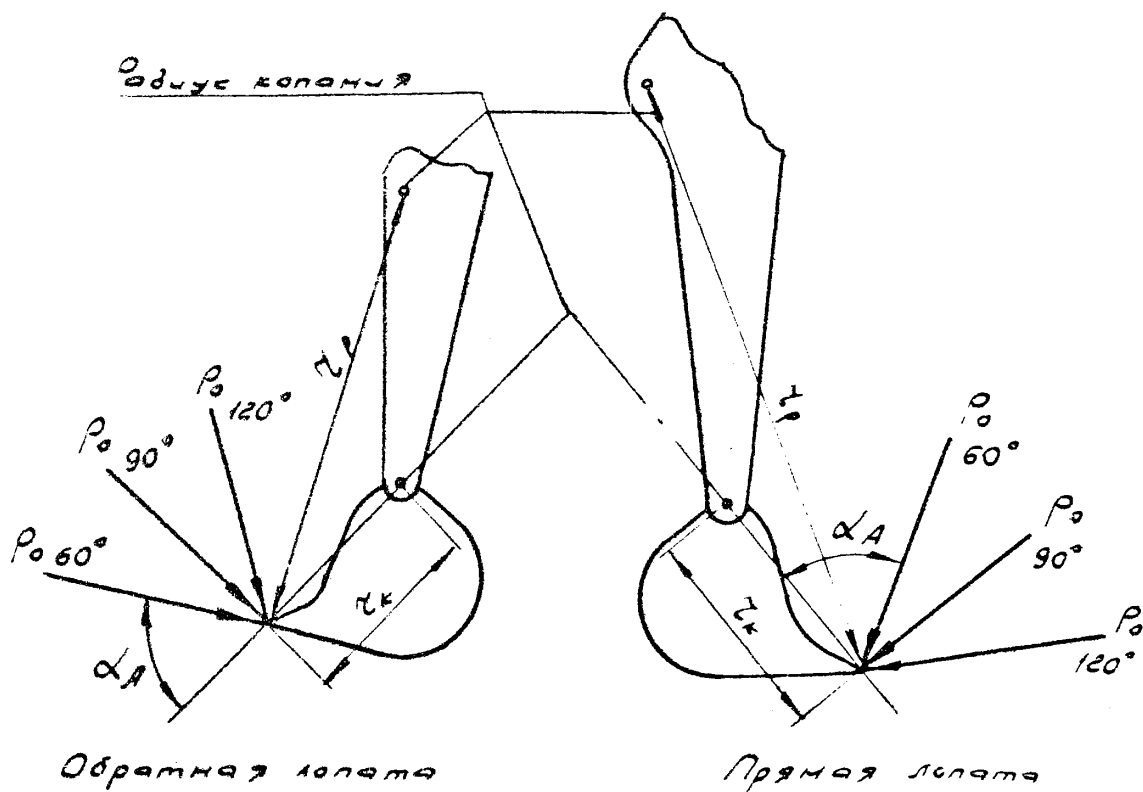
Направление силы реакции задается углом  $\alpha_A$ , который отсчитывается от продолжения радиуса копания для оборудования обратной лопаты по часовой стрелке. Для оборудования прямого копания угол  $\alpha_A$  также отсчитывается от радиуса копания по часовой стрелке только со стороны ковша (Черт. 3.2). В расчете диапазон изменения угла  $\alpha_A$  может быть пройден с любым шагом. Например, если шаг принят  $15^\circ$ , то в каждом расчётном положении рабочего оборудования, вычисления будут проведены для  $\alpha_A = 60^\circ; 75^\circ; 90^\circ; 105^\circ; 120^\circ$ .

3.3. Расчётное положение рабочего оборудования определяется значениями длин трех гидроцилиндров: стрелы, рукояти и ковша. При расчете производится последовательный перебор всевозможных сочетаний этих длин, каждая из которых изменяется с определенным заданным шагом. Для каждого сочетания длин цилиндров вычисляется положение рабочего оборудования. Таким образом, расчётные положения распределяются по всей рабочей

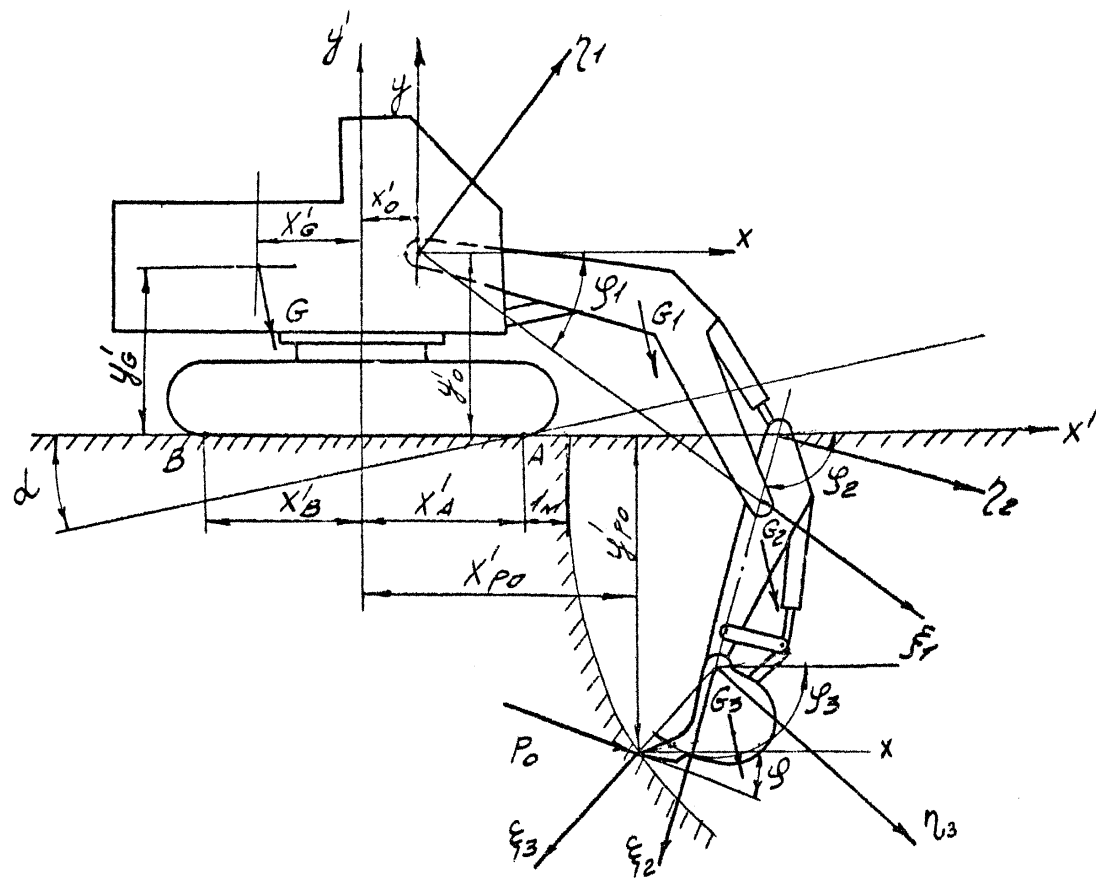




Черт.3.1. Рабочее оборудование экскаватора.



Черт. 3.2.



Черм. 3.3.

PD 22-158-86 чмр. 9

зоне машины с произвольной густотой и расчёт на статическую прочность рабочего оборудования выполняется для каждого положения и каждого направления силы сопротивления копанью. Для всех видов рабочего оборудования экскаватора зона забоя по оси  $X$  ограничивается расстоянием в  $1\text{ м}$  от ближайшей опорной точки экскаватора до края забоя (Черт. 3.3), а по оси  $Y$  ничем не ограничивается.

#### 4. РАСЧЕТНЫЕ НАГРУЗКИ И ОГРАНИЧЕНИЯ

4.1. Расчетными нагрузками при расчете металлоконструкций рабочего оборудования на статическую прочность являются: собственный вес металлоконструкций и гидроцилиндров, вес грунта в ковше, максимальная сила сопротивления грунта копанью, максимальный момент на механизме поворота, приведенный к оси вращения экскаватора.

Усилие на зубьях ковша определяется в каждом положении рабочего оборудования для трёх видов копания: выдвиганием гидроцилиндра ковша, выдвиганием гидроцилиндра рукояти и выдвиганием гидроцилиндров стрелы при учете пяти типов ограничений максимального усилия на зубьях ковша: по настройке предохранительного клапана в гидросистеме – по максимальному рабочему усилию; по настройке предохранительных клапанов реактивного давления в поршневой и штоковой полостях цилиндров стрелы и рукояти; по устойчивости экскаватора; по проскальзыванию экскаватора.

4.2. Вес металлоконструкций принимается по чертежам рабочего оборудования и прикладывается в центре тяжести каждого элемента рабочего оборудования. Изменение центра тяжести гидроцилиндров при выдвигании штоков в расчете не учитывается.

4.3. Вес грунта в ковше учитывается в зависимости от положения ковша в забое. (Черт. 4.1). Положение ковша определяется углом  $\beta$  между горизонталью и прямой, соединяющей шарнир ковш-рукоять с концом зуба. Для оборудования обратная лопата при  $\beta$  лежащем в диапазоне  $80^\circ$ – $30^\circ$  наполнение ковша

принимается  $0,7 q_k$ , при  $\beta$  от  $+30^\circ$  до  $-30^\circ$  наполнение ковша равно геометрической ёмкости ковша  $q_k$ . Для прямой лопаты в диапазоне угла  $\beta$  от  $0^\circ$  до  $30^\circ$  наполнение  $0,7 q_k$ , при угле  $\beta$  от  $30^\circ$  до  $80^\circ$  наполнение  $q_k$ . Грунт в ковше принимается 3-ей категории с плотностью  $1900 \text{ кг/м}^3$  при коэффициенте разрыхления  $K_p = 1,25$ .

При полностью заполненном ковше масса грунта в ковше

$$G_{гр.} = q_k \frac{1900}{1,25} = q_k \cdot 1520 \text{ кг} \quad (4.1)$$

$q_k$  - геометрическая ёмкость ковша,  $\text{м}^3$ .

Вес грунта прикладывается в центре тяжести ковша.

#### 4.4. Определение силы сопротивления копанию.

В каждом расчётном положении рабочего оборудования сила сопротивления копанию  $P_0$  вычисляется для каждого из трёх способов копания (ковшом, рукоятью, стрелой) и каждого из принятых направлений силы сопротивления, задаваемых углом  $\alpha_A$ .

При заданном  $\alpha_A$  определяются:

$P_{0(1)}$  - величина усилия копания, которой соответствует максимальное усилие в рабочем цилиндре, определяемое настройкой предохранительного клапана гидросистемы;

$P_{0(2)}$  и  $P_{0(3)}$  - величины усилия копания, которым соответствуют максимальные реактивные усилия в запёртых цилиндрах, определяемые настройкой клапанов реактивного давления. Например, при копании выдвижением цилиндра ковша  $P_{0(1)}$  определяется максимальным рабочим усилием в этом цилиндре, а  $P_{0(2)}$  и  $P_{0(3)}$  - максимальными реактивными усилиями соответственно в цилиндрах подъёма стрелы и поворота рукояти;

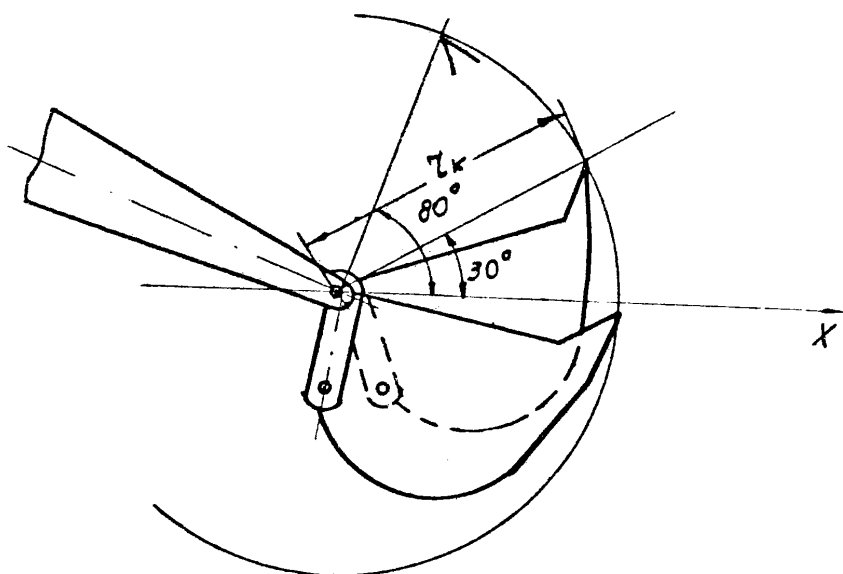
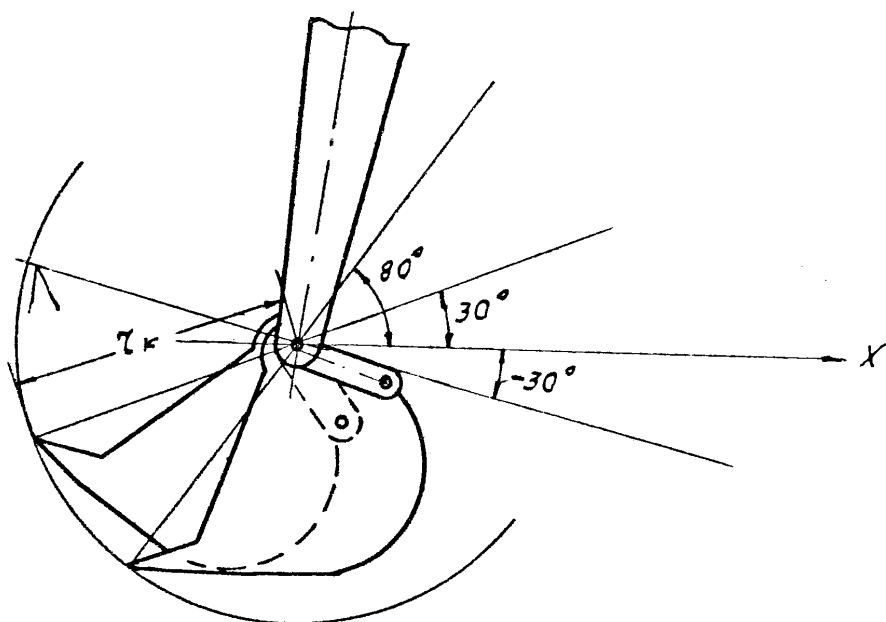
$P_{0(4)}$  - максимальная величина усилия копания, обеспечиваемая условием устойчивости машины;

$P_{0(5)}$  - максимальная величина усилия копания, при которой отсутствует проскальзывание машины.

В качестве расчётного значения силы сопротивления копанию при данном  $\alpha_A$  принимается значение

$P_0 = \min(P_{0(1)}, P_{0(2)}, P_{0(3)}, P_{0(4)}, P_{0(5)})$ ,  
которое удовлетворяет всем наложенным ограничениям. Расчётные

Стр. 12 РД 22-158-86



Черт. 4.1. Положение ковша в заднее

формулы для вычисления величин  $P_0(I) - P_0(5)$  приведены в Приложении 6.

4.5. Определение усилий в рабочих цилиндрах ковша, рукояти и стрелы, ограниченной настройкой предохранительного клапана.

В принятой расчётной схеме цилиндр представлен стержнем с шарнирами по концам. Исходя из величины максимального давления в системе, задаваемого настройкой предохранительного клапана системы определяется максимальное усилие в рабочем цилиндре (положительное при копании выдвиганием штока и отрицательное при копании втягиванием). Затем из уравнений статического равновесия рабочего оборудования определяется величина усилия на зубьях ковша  $P_0(I)$ . Определение  $P_0(I)$  осуществляется как результат трёх независимых решений: от весов элементов, от единичной силы горизонтальной составляющей силы копания и от единичной силы вертикальной составляющей силы копания. Величина  $P_0(I)$  при этом представляет собой модуль усилия копания, т.е.  $P_0(I) \geq 0$ . Если результат вычисления  $P_0(I)$  не удовлетворяет этому условию, то копание с положительным усилием в этом направлении невозможно (Приложение 6).

4.6. Ограничение по настройке предохранительных клапанов реактивного давления.

Если при копании выдвиганием цилиндра ковша цилиндры стрелы и рукояти заперты, в их полостях установлены предохранительные клапаны реактивного давления по обе стороны поршня. Настройкой этих клапанов определяются максимальные усилия сжатия и растяжения запертых цилиндров.

При расчёте задаются два предельных усилия – положительное.  $N_{i\max}$ , отвечающее сжатию цилиндра, и отрицательное  $N_{i\min}$ , ограничивающее усилие растяжения. Максимальная сила копания вычисляется дважды для каждого из запертых цилиндров, по  $N_{i\max}$  и по  $N_{i\min}$ . Значение  $P_0(2)$ , получившееся отрицательным, отбрасывается, положительное значение определяет максимальную силу копания в данном направлении, допускаемую настройкой клапанов рассматриваемого цилиндра. Так как запертых цилиндров два (цилиндр стрелы и цилиндр рукояти), то из двух полученных значений  $P_0(2)$  и  $P_0(3)$  выбирается меньшее, как

удовлетворяющее настройке всех предохранительных клапанов реактивного давления. Такой же расчёт производится для копания цилиндром рукояти и цилиндрами стрелы.

#### 4.7. Ограничение по устойчивости экскаватора.

Потеря устойчивости при копании состоит в "вывешивании" одной из крайних точек А или В опорного контура (Черт. 3.3). Из равенства опрокидывающего и удерживающего моментов вокруг точек А и В определяется максимальное по условиям устойчивости усилие сопротивления копанию  $P_0(4)$  (Приложение 6).

#### 4.8. Ограничение по проскальзыванию.

Горизонтальная составляющая  $P_0(5)$  не должна превышать веса машины, умноженного на коэффициент сцепления  $\psi$  :

$$P_0(5) = \frac{(G + \sum_{i=1}^m G_i) \cdot \psi}{|\cos \varphi|} \quad (4.3)$$

Как было указано выше, из всех подсчитанных значений  $P_0$  выбирается наименьшее, которое удовлетворяет всем наложенным ограничениям. Это значение  $P_0$  и принимается в качестве расчётного.

#### 4.9. Определение бокового усилия на ковше, возникающего при включении механизма поворота.

Если во время копания произошло включение механизма поворота, на ковше будет действовать боковое усилие  $P_0$ . Величина этого усилия определяется по максимальному моменту двигателя поворота.

$$P_0 = \frac{M_{пов. max} \cdot i_{пов} \cdot \eta}{r} \quad , \quad Н \quad (4.2)$$

$M_{пов. max}$  — максимальный момент двигателя поворота, Нм;

$i$  — передаточное отношение от двигателя поворота до оси вращения экскаватора;

$r$  — расстояние от зубьев ковша до оси вращения экскаватора, м;

$\eta$  — к.п.д. передачи.

Значение силы  $P_0$  зависит от положения ковша в забое и достигает при наибольшем приближении ковша к опорам экскаватора.

В программе МЕСН  $P_0$  вычисляется для каждого расчётного положения.



## 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В СЕЧЕНИЯХ ЭЛЕМЕНТОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

5.1. По расчётному значению  $P_0$  для каждого расчётного положения рабочего оборудования во всех шарнирах определяются усилия и их направления в общей системе координат.

5.2. Для заданных расчётных сечений рабочего оборудования вычисляются усилия растяжения-сжатия; изгибающий момент в плоскости схемы (плоскости копания), изгибающий момент из плоскости схемы (в плоскости поворота) и крутящий момент. Изгибающий момент в плоскости поворота рабочего оборудования и крутящий момент возникают вследствие того, что усилие  $P_0$  может быть приложено не в плоскости рабочего оборудования, а в параллельной плоскости. Кроме того, такие же моменты в сечениях рабочего оборудования возникают от усилия  $P_0$ , приложенного к зубу ковша перпендикулярно к плоскости рабочего оборудования. Это усилие возникает, когда в момент стопорения ковша происходит случайное включение механизма поворота. Формулы для вычисления усилий и моментов приведены в Приложении 6.

5.3. Для заданных расчётных сечений рабочего оборудования по программе или каким-либо другим способом должны быть вычислены следующие геометрические характеристики: площадь, моменты инерции относительно двух осей, моменты сопротивления для верхней и нижней точек сечения, момент сопротивления для боковых стенок, момент сопротивления при кручении.

5.4. По усилиям и моментам в расчётных сечениях рабочего оборудования вычисляются следующие виды напряжений:

$\sigma_{p-c}$  - напряжения растяжения-сжатия;

$\sigma_{изв}$  - нормальные напряжения при изгибе в плоскости схемы для верхней и нижней точек сечения;

$\sigma_{изг}$  - нормальные напряжения при изгибе из плоскости схемы (в плоскости поворота) от приложения нагрузки к крайнему зубу;

$\sigma_{изг}$  - нормальные напряжения при изгибе из плоскости схемы от случайного включения механизма поворота при стопорении ковша;

$\tau^k$  - касательные напряжения от приложения нагрузки к крайнему зубу ковша;

$\tau^\delta$  - касательные напряжения от случайного включения механизма поворота при стопорении ковша.

При подсчёте приведенных напряжений в сечении нормальные напряжения при изгибе из плоскости схемы (в плоскости поворота) складываются из двух видов напряжений - от приложения нагрузки к крайнему зубу  $\sigma_{изг}^k$  и от случайного включения механизма поворота  $\sigma_{изг}^\delta$

$$\sigma_{изг} = \sigma_{изг}^k + \sigma_{изг}^\delta \quad (5.1)$$

Касательные напряжения в сечении также складываются из двух - касательные напряжения от приложения нагрузки к крайнему зубу ковша  $\tau^k$  и от случайного включения механизма поворота  $\tau^\delta$

$$\tau = \tau^k + \tau^\delta \quad (5.2)$$

5.5. Участок стрелы или рукояти, выполненный в виде вилки, рассматривается, как состоящий из двух параллельных балок (Черт. 5.1). Расчёт напряжений в сечениях этих балок проводится независимо. Предварительно нагрузки, действующие в концевом шарнире участка, приводятся к концам каждой балки.

В сечениях балок ( $X$  - горизонтальная ось сечения балки,  $Y$  - вертикальная) действуют следующие моменты и силы

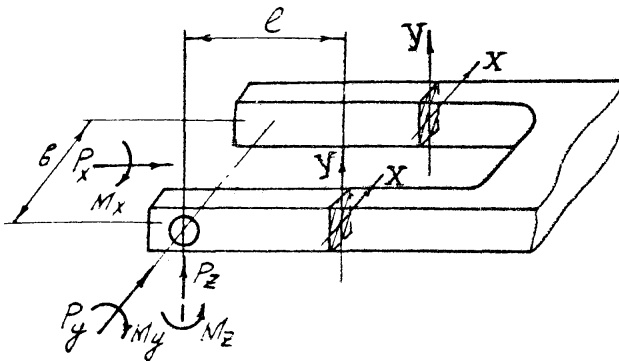
$$M_X = \frac{M_y}{2} + \frac{P_z \cdot \ell}{2} \pm \frac{M_x}{8} \cdot \ell \quad (5.3)$$

$$M_Y = \frac{P_y \cdot \ell}{2} \quad (5.4)$$

$$N = \frac{P_x}{2} \pm \frac{M_z}{8} \quad (5.5)$$

Напряжения в расчётном сечении балки (максимальное)

$$\sigma = \frac{1}{W_x} \left[ \left( \frac{M_y}{2} + \frac{P_z \cdot l}{2} \right) + \left| \frac{M_x \cdot l}{b} \right| \right] + \frac{1}{W_y} \cdot \frac{P_y \cdot l}{2} + \frac{1}{F} \left( \frac{|P_x|}{2} + \frac{|M_z|}{b} \right) \quad (5.6)$$



Черт. 5.1

## 6. ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ

6.1. Расчёт на прочность элементов рабочего оборудования экскаваторов следует проводить по формулам

$$\sigma_x \leq m R_y, \quad \sigma_y \leq m R_y \quad (6.1)$$

$$\tau \leq m R_s \quad (6.2)$$

$$\sigma_{np} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \leq 1,15 m \cdot R_y \quad (6.3)$$

$$\tau_{xy} \leq m R_s, \quad (6.4)$$

где:  $m$  - коэффициент условий работы (таблица 6.1)

$\sigma_x$  - нормальные напряжения параллельные оси конструкции;

$\sigma_y$  - нормальные напряжения, перпендикулярные оси конструкции, возникающие в местах передачи усилий на металлоконструкцию рабочего оборудования (шарниры крепления гидроцилиндров к стреле и рукояти, шарнир крепления стрелы к рукояти и тяги к рукояти), в остальных местах металлоконструкций рабочего оборудования  $\sigma_y = 0$ ;

$\tau$  - касательные напряжения в сечениях элементов рабочего оборудования;

$\tau_{xy}$  - среднее касательное напряжение в сечении.

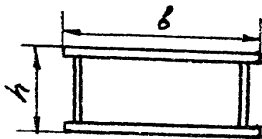
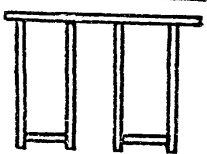
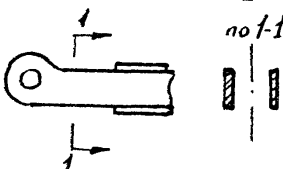
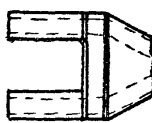
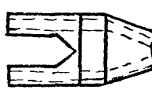
Напряжения  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  следует определять в одной и той же точке стенки балки и принимать в формуле (6.3) каждое со своим знаком.

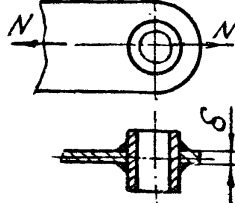
6.2. Для конструкций коробчатого сечения (черт. 6.1 а-г) нормальные напряжения, параллельные оси конструкции определяются по формуле:

$$\sigma_x = \frac{N}{F} \pm \frac{M_x}{y_x} \cdot y \pm \frac{M_y}{y_y} \cdot x \quad (6.5)$$

Таблица 6.1

Коэффициенты условий работы  $m$ 

№ п/п	Наименование элемента конструкции	Схема элемента конструкции	
1.	Элементы с малым поперечным сечением: листы, трубы, гнутые профили со стенками толщиной до 4 мм, равнобокие уголки до $\angle 63 \times 6$ , неравнобокие уголки до $\angle 90 \times 56 \times 6$ , швеллеры до № 8		
2.	Болты диаметром до 12 мм		0,85
3.	Оси и пальцы, соединяющие элементы металлических конструкций		0,85
4.	Элементы коробчатых конструкций с соотношением сторон $b/h$		0,9
5.	Элементы, состоящие из двух элементов коробчатого сечения соединенных в одной плоскости листом		0,9
6.	Элементы из двух отдельных пластин		0,85
7.	Элементы внутренних углов влоков, выполненные без скосов		0,35
8.	То же со скосами		0,9

№ п/п	Наименование элемента конструкции	Схема элемента конструкции	
9.	Сечения, включающие швы и основной металл, например, расчет сварных швов приварки втулки		0,9

где:  $N, M_x, M_y$  — абсолютные значения соответственно продольной силы и изгибающих моментов;

$F, I_x, I_y$  — соответственно площадь и моменты инерции относительно главных осей  $X$  и  $Y$  поперечного сечения с учетом имеющихся отверстий;

$X, Y$  — координаты рассматриваемой точки сечения относительно его главных осей.

Касательные напряжения  $\tau$  для конструкций коробчатого сечения определяются по формулам:

в наружных стенках, параллельных оси  $X$

$$\tau = \frac{Q_x S_y}{I_y \sum \delta} + \frac{M_x}{2 a_y a_x \delta} \quad (6.6)$$

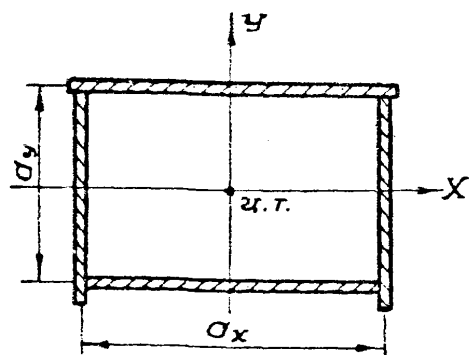
в наружных стенках, параллельных оси  $Y$

$$\tau = \frac{Q_y S_x}{I_x \sum \delta} + \frac{M_y}{2 a_x a_y \delta} \quad (6.7)$$

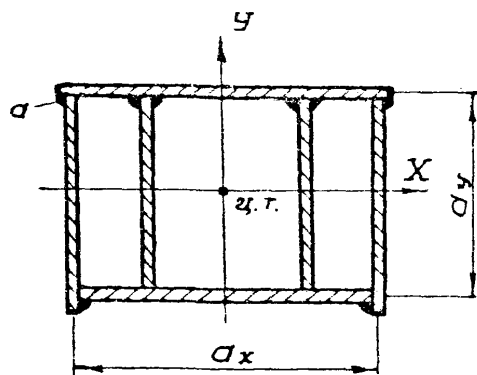
В формулах (6.6), (6.7) обозначено

$Q_x, Q_y$  — поперечные силы в сечении, действующие в плоскостях, параллельных соответственно осям  $X$  и  $Y$

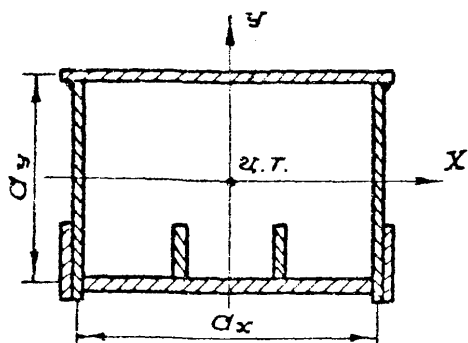
- $M_k$  - крутящий момент в сечении;
- $\sum \delta$  - суммарная толщина стенок, параллельных  
рассчитываемой стенке;
- $\delta$  - толщина рассматриваемой стенки;
- $S_x, S_y$  - статические моменты части сечения  
относительно осей соответственно  $X$  и  $Y$ ,  
с учетом имеющихся отверстий;
- $a_x, a_y$  - размеры коробчатой части сечения по  
осям стенок, (черт. 6.1).



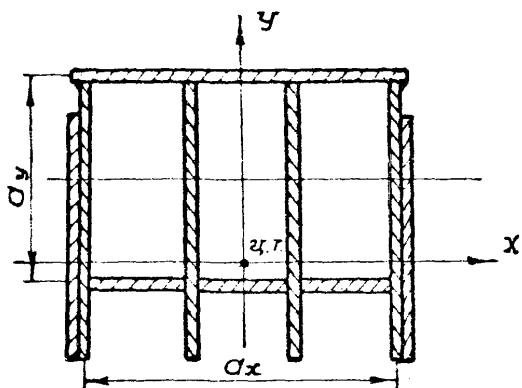
a)



б)



в)

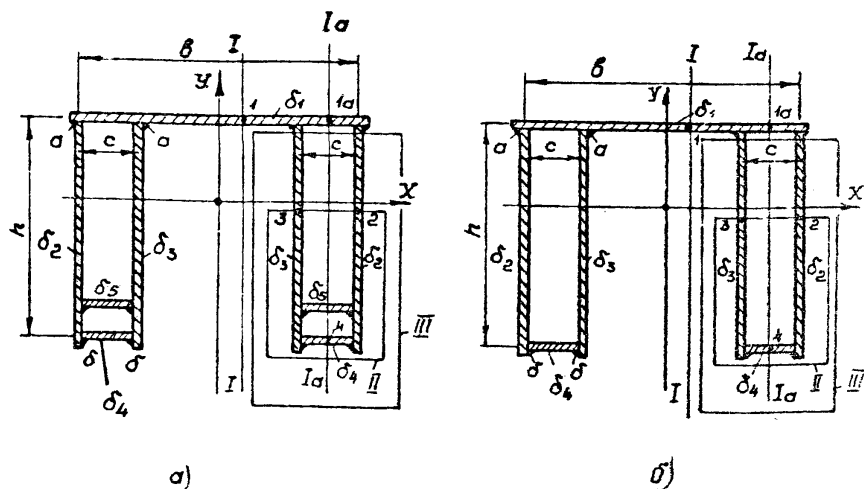


г)

Черт. 6.1. Типы коробчатых сечений



6.3. Для конструкций с сечением, выполненным из двух элементов коробчатого сечения, соединенных в одной плоскости листом (черт. 6.2), нормальные напряжения параллельные оси конструкции определяются по формуле (6.5)



Черт. 6.2. Типы двойных коробчатых сечений

Касательные напряжения  $\tau$  для конструкций такого сечения определяются по формулам:

В точке I

$$\tau_1 = \frac{Q_x \cdot S_y}{J_y \cdot \delta_1^2} + \frac{Q_y \cdot S_x}{J_x \cdot \delta_1^2} \quad (6.8)$$

В точке I<sub>а</sub>

$$\tau_{1a} = \frac{Q_x \cdot S_y}{J_y \cdot \delta_1^2} + \frac{Q_y \cdot S_x}{J_x \cdot \delta_1^2} + \frac{M_k}{4h\delta_1^2} \quad (6.9)$$

В точке 2

$$\tau_2 = \frac{Q_x \cdot S_y}{y_y (\delta_2^2 + \delta_3^2)} + \frac{Q_y \cdot S_x}{y_x (\delta_2^2 + \delta_3^2)} + \frac{M_k}{4hc\delta_2^2} \quad (6.10)$$

В точке 3

$$\tau_3 = \frac{Q_x \cdot S_y}{y_y (\delta_2^2 + \delta_3^2)} + \frac{Q_y \cdot S_x}{y_x (\delta_2^2 + \delta_3^2)} + \frac{M_k}{4hc\delta_3^2} \quad (6.11)$$

В точке 4

$$\tau_4 = \frac{M_k}{4hc\delta_4^2} \quad (6.12)$$

В формулах (6.8) - (6.12)

$h, c$  - размеры сечения по осям стенок  
(черт. 6.2)

$\delta_1^2 \dots \delta_4^2$  - толщина стенок элементов сечения  
(черт. 6.2)

Остальные обозначения те же, что и в п. 6.2.

Для сечений по черт. 6.2 центром приведения для боковой силы является не центр тяжести сечения, а центр изгиба, который будет лежать "выше" горизонтального листа. При определении крутящего момента боковая сила умножается на плечо до центра изгиба. Определение координат центра изгиба для рассматриваемых сечений приведено в Приложении 7.

Статические моменты вычисляются по формулам:

$$S_x = \sum_i F_i \cdot \bar{y}_i \quad (6.13)$$

$$S_y = \sum_i F_i \cdot \bar{x}_i \quad (6.14)$$

В формулах (6.I3), (6.I4)

$F_i$  - площадь  $i$ -го элемента поперечного сечения (листового элемента), с учётом имеющихся отверстий;  
 $X, Y$  - координаты центра тяжести  $i$ -го элемента поперечного сечения.

При вычислении  $S_X$ ,  $S_Y$  для (6.8) суммирование распространяется на часть поперечного сечения, лежащую по одну сторону от прямой I-I.

При вычислении  $S_X$ ,  $S_Y$  для (6.9) суммирование распространяется на часть поперечного сечения, лежащую по одну сторону от прямой Ia-Ia.

При вычислении  $S_X$ ,  $S_Y$  для формул (6.I0), (6.II) суммирование распространяется на часть поперечного сечения, обозначенную цифрой II.

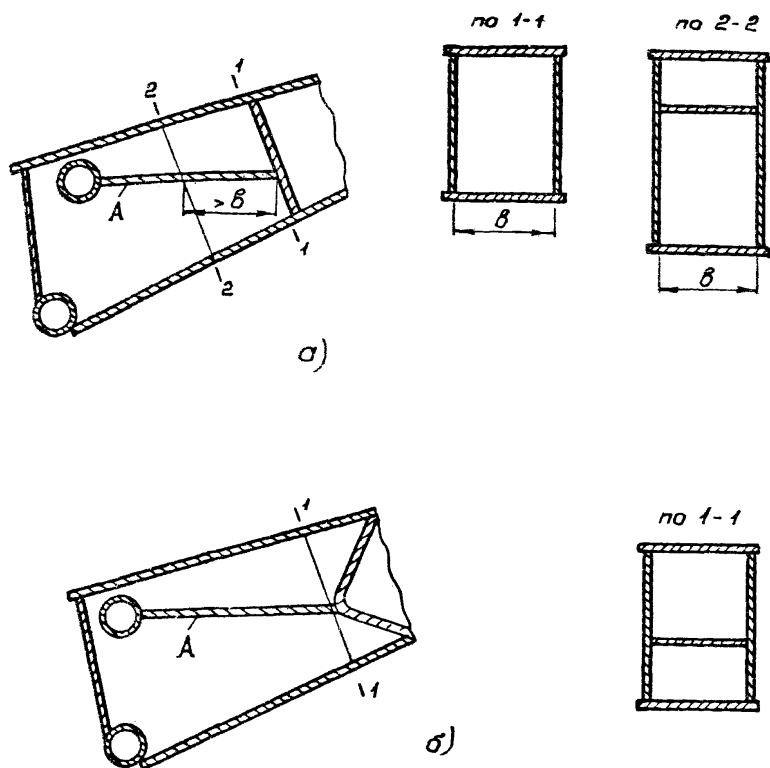
При расчете сечений рассматриваемого типа принимается  $m = 0,9$ .

6.4. При вычислении геометрических характеристик поперечных сечений необходимо учитывать лишь элементы, прикрепление которых обеспечивает восприятие усилий, действующих в элементе параллельно продольной оси конструкции. Остальные элементы разрешается включать в поперечное сечение лишь на расстоянии от конца, превышающем ширину элемента (рис. 6.3).

6.5. Коробчатые сечения стрел и рукоятей необходимо проверять на участие в работе всей ширины полки коробчатого сечения. Если расстояние между стенками коробчатой конструкции (черт. 6.4) превышает величину

$$b_p = 1,4 \cdot \sigma_n \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}},$$

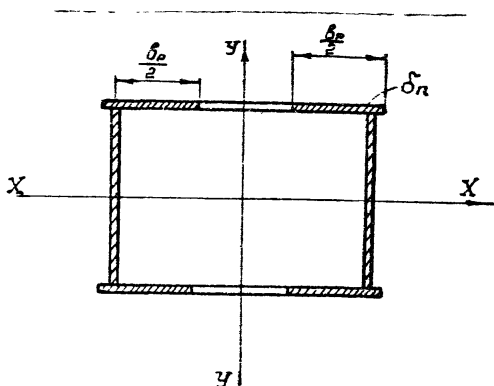
то при проверке прочности часть сечения не учитывается (расчётное сечение показано на черт. 6.4).



Черт. 6.3. Расчетные сечения при определении геометрических характеристик сечения

а) элемент, к которому прикреплено ребро А, не обеспечивает восприятие усилий, действующих в ребре.

б) элемент, к которому прикреплено ребро А, обеспечивает восприятие этих усилий.



Черт. 6.4. Расчетное сечение (заштриховано)

6.6. При проверке прочности по формулам (6.3), (6.4) напряжения  $\sigma_x$  определяются по формуле (6.5). Средние касательные напряжения  $\tau_{xy}$  вычисляются по формулам:

- для коробчатого сечения (черт. 6.1), в наружных стенках, параллельных оси X

$$\tau_{xy} = \frac{Q_x}{a_y \Sigma \delta^2} \pm \frac{M_k}{2 a_y a_x \cdot \delta^2} \quad (6.15)$$

в наружных стенках, параллельных оси Y

$$\tau_{xy} = \frac{Q_y}{a_x \Sigma \delta^2} \pm \frac{M_k}{2 a_x a_y \cdot \delta^2} \quad (6.16)$$

- для двойных коробчатых сечений (черт. 6.2)  
в точке I

$$\tau_{xy} = \frac{Q_x}{b \delta_1^2 + 2h(\delta_2^2 + \delta_3^2)} \quad (6.17)$$

в точке 1а

$$\tau_{xy} = \frac{Q_x}{8\delta_1 + 2h(\delta_2^2 + \delta_3^2)} \pm \frac{M_K}{4hc\delta_1} \quad (6.18)$$

в точке 2

$$\tau_{xy} = \frac{Q_y}{2h(\delta_2^2 + \delta_3^2)} \pm \frac{M_K}{4hc\delta_2^2} \quad (6.19)$$

в точке 3

$$\tau_{xy} = \frac{Q_y}{2h(\delta_2^2 + \delta_3^2)} \pm \frac{M_K}{4hc\delta_4} \quad (6.20)$$

в точке 4 - по формуле (6.12).

При определении  $\tau_{xy}$  следует учитывать ослабление сечений отверстиями.

6.7. Значения напряжений  $\tilde{\sigma}_y$  в стенках в зоне приложения местных нагрузок при наличии отверстия (черт. 6.5а точка 1) определяются по формуле:

$$\tilde{\sigma}_y = \frac{2P}{\pi r c^2} \cdot \cos \alpha, \quad (6.21)$$

где  $P$  - сила, передающаяся на стенку;

$r$  - радиус отверстия;

$\delta$  - толщина стенки, воспринимающей нагрузку  $P$ .

6.8. В местах приложения местной нагрузки к поясу <sup>черт. 6.5б</sup> (при отсутствии ребер жесткости) напряжения  $\tilde{\sigma}_y$  в стенке допускается определять по формуле:

$$\tilde{\sigma}_y = \frac{P \cos \alpha}{l_y \delta^2} + \frac{6M}{l_y^2 \delta^2}; \quad M = P \cdot \sin \alpha \cdot h, \quad (6.22)$$

где  $P$  и  $M$  — сила и изгибающий момент, приходится на одну стенку, приведенные к центру прикрепления элемента, передающего местную нагрузку (точка 2 на черт. 6.5);

$l_y$  — условная длина распределения нагрузки; зависящая от условия опирания;

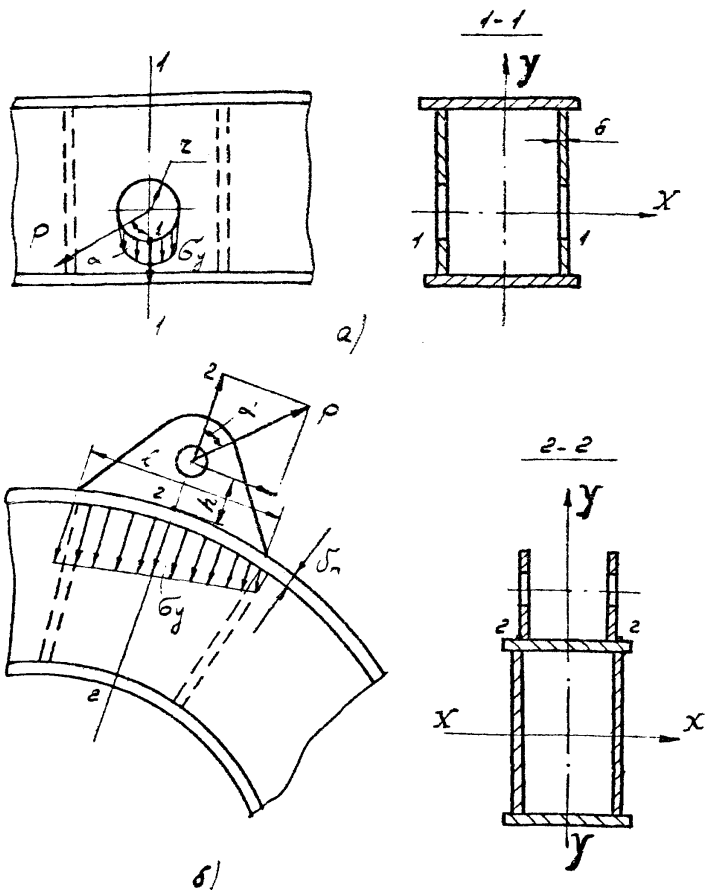
$\delta$  — толщина стенки;

$h$  — расстояние от точки приложения силы до точки 2.

Для случая опирания по черт. 6.5.

$$l_y = l + 2\delta_n \quad (6.23)$$

В (6.23) обозначения по черт. 6.5.



Черт. 6.5.

Конструкции, в которых возникают местные напряжения

6.9. При проверке прочности поясов конструкций, имеющих криволинейное очертание (черт. 6.6), в расчете вместо ширины пояса  $b$  учитывается эффективная ширина пояса  $b_0 = K_n \cdot b$ , где  $K_n$  определяется по формулам (6.24)

$$K_n = \begin{cases} 1 - \frac{\varphi}{2\varphi_0} \left( 2 - \frac{\varphi}{2\varphi_0} \right) (1 - K_{no}) & \text{при } \varphi < 2\varphi_0 \\ K_{no} & \text{при } \varphi \geq 2\varphi_0 \end{cases} \quad (6.24)$$

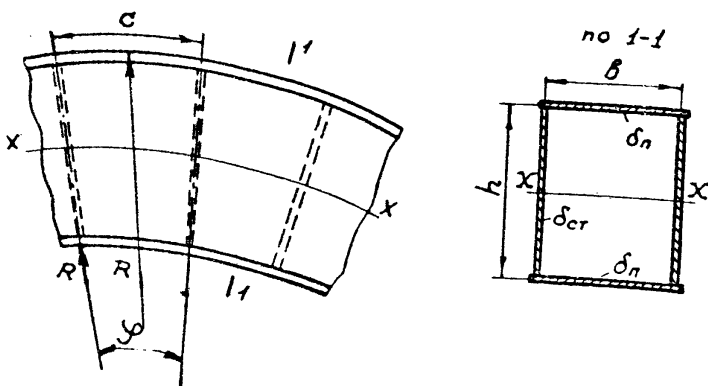
$$\varphi_0 = 0,8 \sqrt{T(T+35)} \quad (\varphi \text{ и } \varphi_0 - \text{в градусах})$$

$$T = \frac{b^2}{4R\delta_n}; \quad \varphi - \text{угол между соседними ребрами}$$

$$\text{при } T > 2,4 \quad K_{no} = \frac{1 + n\lambda}{\lambda(1 + 2n\lambda)};$$

$$\text{где } n = \frac{h}{b} \left( \frac{\delta_n}{\delta_{ст}} \right)^3; \quad \lambda = 1,285 \sqrt{T}$$

при  $T \leq 2,4$   $K_{no}$  определяется по табл. 6.2



Черт. 6.6. Схема криволинейного элемента



Таблица 6.2

n	T									
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4
	K <sub>no</sub>									
0	I	0,99	0,96	0,92	0,87	0,82	0,77	0,67	0,59	0,53
0,5	I	0,98	0,91	0,82	0,73	0,64	0,57	0,46	0,36	0,34
I	I	0,97	0,88	0,78	0,68	0,59	0,52	0,41	0,35	0,31
2	I	0,96	0,86	0,74	0,63	0,54	0,47	0,38	0,32	0,28
∞	I	0,95	0,82	0,68	0,57	0,48	0,41	0,33	0,28	0,25

После определения эффективной ширины пояса  $b_e$  ее сравнивают с расчетной шириной пояса  $b_p$ , определенной в п. 6.5. Из этих двух величин в расчет принимается меньшая.

6.10. Устойчивость стенок конструкций не требуется проверять, если при выполнении условий (6.1)-(6.4) условная гибкость стенок

$$\lambda_c = \frac{h_i}{\delta_i} \sqrt{\frac{R_y}{E}},$$

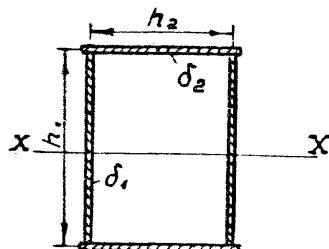
где:  $h_i$  и  $\delta_i$  - соответственно высота и толщина рассматриваемой стенки (черт. 6.7) ( $i = 1, 2$ )

не превышает значений:

3,2 - при отсутствии местных напряжений

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

Если это условие не выполняется, следует провести расчет устойчивости стенок в соответствии с рекомендациями СНиП П-23-81 пункты 7.4; 7.6.



Черт. 6.7. Сечение при проверке устойчивости стенки

6.II. Устойчивость сжатых поясов изгибаемых элементов коробчатого сечения проверяется по формуле:

$$\sigma \leq \tilde{\sigma}_n, \quad (6.25)$$

где:  $\sigma$  - расчётное напряжение в поясе;

$\tilde{\sigma}_n$  - напряжение, характеризующее несущую способность пояса.

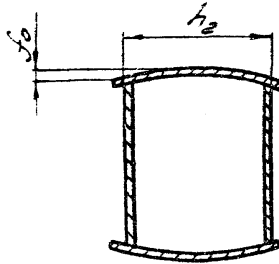
$$\tilde{\sigma}_n = R_y \frac{7,22 \cdot \gamma_F / \lambda_c^2}{A + \sqrt{A^2 - 14,44 \gamma_F / \lambda_c^2}} \quad (6.26)$$

$$\gamma_F = \frac{\tilde{\sigma}_F}{R_y} \quad (6.27)$$

$\tilde{\sigma}_F$  - предел пропорциональности.

$$A = \gamma_F + (3,61 + 4,5 f_c / c^2) / \lambda_c^2 \quad (6.28)$$

$f_0$  - начальная выпуклость пояса по черт. 6.8



Черт. 6.8

$f_0$  выбирается из технических требований на изделие, при  
отсутствии технических требований принимается  $\frac{f_0}{h_2} = \frac{1}{200}$

Для сталей с пределом текучести до 450 МПа  $\gamma_p = 0,95$

## 7. РАСЧЕТ СВАРНЫХ ШВОВ

7.1. Расчёт сварных стыковых соединений на центральное растяжение или сжатие следует производить по формуле.

$$\frac{N}{t l_{sw}} \leq m R_{sw}, \quad (7.1)$$

где  $t$  - наименьшая толщина соединяемых элементов;  
 $l_{sw}$  - расчетная длина шва, равная его полной длине, уменьшенной на  $2t$  или полной его длине в случае вывода концов шва за пределы стыка;  
 $N$  - полное усилие, воспринимаемое соединением.

При использовании сварочных материалов, рекомендуемых СНиП "Стальные конструкции" (Приложение 3), полном проваре соединяемых элементов и физическом контроле качества швов расчет стыкового соединения выполнять не требуется.

Сварные соединения с угловыми швами при действии продольной и поперечной сил следует рассчитывать на (условный) срез по двум сечениям (черт. 7.1):

- по металлу шва (сечение 1)

$$\tau_f = \frac{N}{\beta_f K_f l_{sw}} = \frac{N_n}{\beta_f K_f} \leq R_{sw} m_{sw} m \quad (7.2)$$

- по металлу границы сплавления (сечение 2)

$$\tau_z = \frac{N}{\beta_z K_f l_{sw}} = \frac{N_n}{\beta_z K_f} \leq R_{wz} m_{wz} m \quad (7.3)$$

В (7.2), (7.3)  $l_{sw}$  - расчетная длина шва, принимаемая меньше его полной длины на 10 мм;

$K_f$  - катет углового шва;

$\beta_f, \beta_z$  - для сталей с  $\sigma_T \leq 580$  МПа принимаются по указанию СНиП (приложение 5)  
для стали с  $\sigma_T > 580$  МПа

$$\beta_f = 0,7, \quad \beta_z = 1,0$$

$m_{wf}, m_{wz}$  - коэффициенты условий работы шва, равные I во всех случаях, кроме конструкций, предназначенных для работы в холодных климатических районах с минимальной температурой ниже  $-40^\circ\text{C}$  (не менее I-го дня в году) по ГОСТ 16350-80 "Климат СССР".  
Для этих конструкций  $m_{wf} = m_{wz} = 0,85$ ;

$N$  - усилие, воспринимаемое швом;

$N_l$  - усилие на единицу длины шва;

$R_{wf}, R_{wz}$  - расчетные сопротивления срезу металла шва и металла границы сплавления (Приложение 4).

Для угловых швов, размеры которых устанавливаются в соответствии с расчетом, в элементах из стали  $\sigma_T < 285$  МПа следует принимать такие (соответствующие указаниям СНиП Приложение 3) электроды или сварочную проволоку, для которых выполняется условие  $I, I R_{wz} < R_{wf} \leq R_{wz} \frac{\beta_z}{\beta_f}$ . В элементах из стали с  $\sigma_T > 285$  МПа должны применяться электродные материалы, для которых выполняется условие

$$R_{wz} < R_{wf} \leq R_{wz} \frac{\beta_z}{\beta_f}$$

Для коэффициента условий работы  $m$  при расчете сварных соединений следует принимать те же значения, что и при расчете элементов, соединяемых сварным соединением.

7.2. При проверке швов, соединяющих пояса и стенки коробчатых сечений (черт. 6.1) усилие на единицу длины  $N_n = \frac{N}{l_{ш}}$  определяется по формуле:

$$N_n = \frac{Q_x S_y}{y_y c_y} + \frac{Q_y S_x}{y_x c_x} + \frac{M_k}{2a_x a_y}, \quad (7.4)$$

где  $Q_x, Q_y, S_y, S_x, y_x, y_y, M_k, a_x, a_y$

имеют тот же смысл, что и в (6.6), (6.7);

$C_x, C_y$  - количество швов, воспринимающих усилие при изгибе относительно осей соответственно  $X$  и  $Y$ .

Например, при расчете шва "а" (черт. 6.1б) принимается

$$C_x = 6, C_y = 2.$$

7.3. В двойном коробчатом сечении (черт. 6.2) усилия на единицу длины шва определяются по формулам:

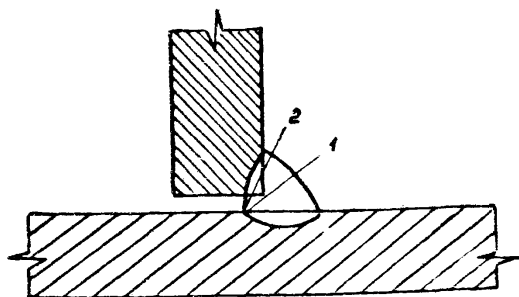
- для швов "а" (черт. 6.2)

$$N_n = \frac{Q_x S_y}{2 y_y} + \frac{Q_y S_x}{4 y_x} + \frac{M_k}{4 h c} \quad (7.5)$$

- для швов "б" (черт. 6.2)

$$N_n = \frac{M_k}{4 h c} \quad (7.6)$$

В (7.5)  $S_x, S_y$  - статические моменты части сечения III относительно осей  $X$  и  $Y$ .



Черт. 7.1. Схема расчетных сечений сварного соединения с угловыми швами

1 - сечение по металлу шва;

2 - сечение по металлу границы сплавления

7.4. Прочность поясных швов, воспринимающих кроме напряжений от изгиба конструкции также и местные напряжения (например, в месте приложения сосредоточенной силы, на криволинейном участке и др.), проверяется по формулам:

$$\tau_{zf} = \sqrt{\tau_f^2 + \tau_{fM}^2} \leq R_{шf} m_{шf} m \quad (7.7)$$

$$\tau_{zz} = \sqrt{\tau_z^2 + \tau_{zM}^2} \leq R_{шz} m_{шz} m, \quad (7.8)$$

где  $\tau_{fM}$ ,  $\tau_{zM}$  - напряжения от местной нагрузки.

В местах приложения местной нагрузки к поясу при отсутствии ребер жесткости (см. п. 6.6) напряжения  $\tau_f$ ,  $\tau_z$  определяются по (7.2), (7.3), где  $N_n$  находится по формуле:

$$N_n = \sigma_y \delta^2, \quad (7.9)$$

где  $\sigma_y$ ,  $\delta^2$  принимаются по п. 6.7.

7.5. Если пояс балки имеет криволинейные участки (черт. 7.2), то местные напряжения  $\tau_{fM}$ ,  $\tau_{zM}$  определяются по формуле

$$\tau_M = \tilde{\sigma}_m \cdot \Pi_{ш\psi}, \quad (7.10)$$

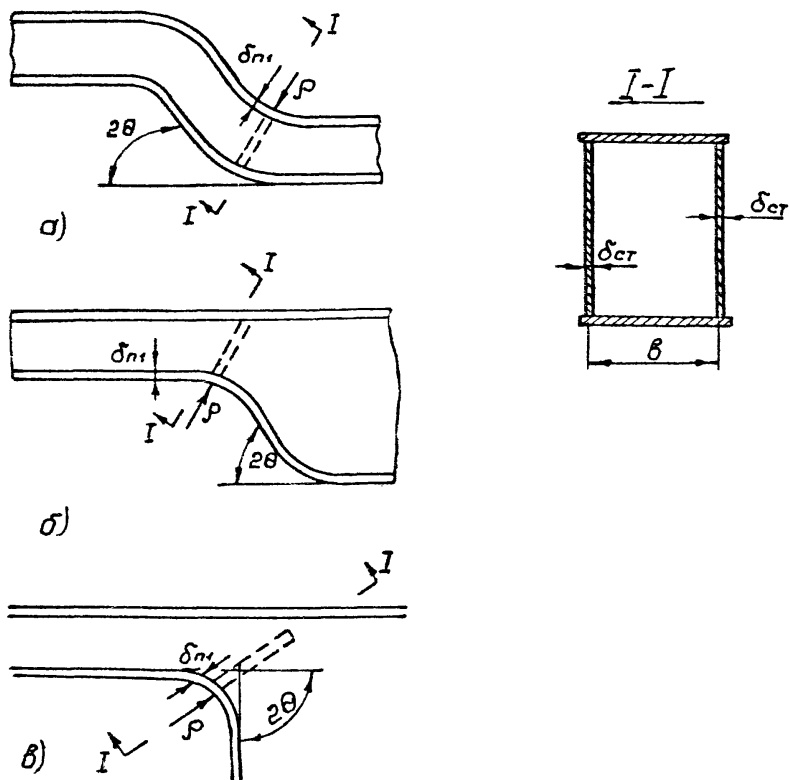
где  $\tilde{\sigma}_m = \tilde{\sigma} \alpha_K$  - максимальное напряжение в поясе;

$\tilde{\sigma}$  - нормальные напряжения в переходном сечении (сечение перехода прямолинейного участка балки в криволинейный);

$\alpha_K$  - коэффициент концентрации напряжений;

$\Pi_{ш\psi}$  - коэффициент перехода к напряжениям сварного шва.

Для балок коробчатого сечения величина  $\alpha_K$  определяется по таблицам 7.1 и 7.2 в зависимости от радиуса загиба  $\rho$  (черт. 7.2), толщины стенки  $\delta_{ст}$  и ширины сечения "в".



Черт. 7.2. Схемы балок с криволинейными участками поясов



Коэффициент  $n_{шв}$  определяется по формулам:

- для швов приварки пояса к стенке

$$n_{шв} = \frac{\delta_{п1}}{2n\rho} \cdot \frac{1}{C_{ш}\beta K_{ш}} \quad (7.11)$$

- для швов приварки диафрагмы

$$n_{шв} = \frac{\delta_{п3}}{10,9} \cdot \frac{1}{C_{ш}\beta K_{ш}} \cdot \frac{1}{f} \quad (7.12)$$

В (7.11)

$$n = \frac{1,285}{\sqrt{\rho \delta_{п1}}} \quad (7.13)$$

$C_{ш}$  - число швов, соединяющих пояс со стенкой  
( $C_{ш} = 1$  при односторонней,  $C_{ш} = 2$  при  
двусторонней приварке угловыми швами);

$\beta = \beta_f$  при определении  $\tau_{fM}$  и  $\beta = \beta_z$  при  
определении  $\tau_{zM}$ .

Величина  $f$  в  $\text{см}^2$  определяется по таблице 7.3 в зависи-  
мости от величины  $\theta$  ( $2\theta$  - угол загиба, черт. 7.2) и  $\rho$ .



Продолжение таблицы 7.1.

$\delta,$	$\delta_{\sigma},$	$\rho, \text{CM}$					
CM	CM	2	5	8	11	14	17
$\alpha_K$							
40	0,4		7,45	5,80	4,90	4,45	4,10
	0,6		6,59	5,12	4,32	3,92	3,61
	0,8		6,10	4,72	3,98	3,62	3,34
	1,0		5,79	4,47	3,76	3,42	3,15
	1,2		5,57	4,28	3,60	3,27	3,01
50	0,4			6,72	5,70	5,12	4,72
	0,6			5,86	4,97	4,46	4,12
	0,8			5,38	4,55	4,09	3,77
	1,0			5,05	4,28	3,83	3,54
	1,2			4,83	4,08	3,66	3,37
60	0,4			7,65	6,46	5,82	5,40
	0,6			6,60	5,58	5,03	4,41
	0,8			6,03	5,08	4,57	4,01
	1,0			5,65	4,75	4,28	3,75
	1,2			5,38	4,52	4,07	3,56
70	0,4			8,18	7,05	6,36	5,80
	0,6			7,06	6,07	5,48	5,00
	0,8			6,43	5,53	4,99	4,55
	1,0			6,02	5,17	4,66	4,25
	1,2			5,74	4,92	4,43	4,04

Таблица 7.2.

Коэффициент  $\alpha_K$  для коробчатого сечения  
с диафрагмой

$2b,$	$\delta_{cr},$	$\rho, \text{cm}$					
cm	cm	2	5	8	11	14	17
$\alpha_K$							
10	0	2,61	1,90	1,66	1,55	1,47	1,41
	0	2,76	1,93	1,66	1,54	1,45	1,39
	0,8	2,86	1,95	1,66	1,53	1,44	1,37
	1,0	2,94	1,96	1,66	1,52	1,42	1,36
	1,2	3,01	1,96	1,65	1,51	1,41	1,34
20	0,4	2,50	1,93	1,73	1,62	1,54	1,48
	0,6	2,67	1,99	1,76	1,63	1,54	1,47
	0,8	2,79	2,02	1,77	1,63	1,54	1,47
	1,0	2,90	2,05	1,76	1,63	1,53	1,46
	1,2	2,99	2,07	1,78	1,63	1,52	1,44
30	0,4	2,31	1,86	1,68	1,59	1,53	1,48
	0,6	2,46	1,92	1,71	1,60	1,53	1,48
	0,8	2,57	1,95	1,72	1,61	1,53	1,47
	1,0	2,67	1,98	1,74	1,61	1,53	1,47
	1,2	2,75	2,01	1,74	1,61	1,53	1,46

Продолжение таблицы 7.2.

2b, cm	$\delta_{\sigma},$ cm	$\rho, \text{ cm}$					
		2	5	8	11	14	17
$\alpha_k$							
40	0,4	2,33	1,90	1,72	1,63	1,56	1,53
	0,6	2,49	1,97	1,76	1,65	1,58	1,54
	0,8	2,61	2,02	1,78	1,67	1,58	1,54
	1,0	2,72	2,05	1,80	1,68	1,58	1,54
	1,2	2,81	2,07	1,81	1,68	1,58	1,54
50	0,4	2,25	1,85	1,70	1,61	1,55	1,50
	0,6	2,39	1,91	1,74	1,63	1,56	1,51
	0,8	2,51	1,96	1,76	1,65	1,57	1,51
	1,0	2,61	2,00	1,78	1,66	1,57	1,51
	1,2	2,70	2,03	1,80	1,67	1,58	1,51
60	0,4	2,15	1,80	1,66	1,58	1,54	1,50
	0,6	2,28	1,86	1,69	1,60	1,55	1,51
	0,8	2,39	1,90	1,72	1,62	1,56	1,51
	1,0	2,48	1,94	1,74	1,63	1,57	1,51
	1,2	2,57	1,97	1,75	1,63	1,57	1,51
70	0,4	2,05	1,75	1,63	1,56	1,54	1,50
	0,6	2,76	2,30	2,12	2,01	1,97	1,38
	0,8	2,90	2,37	2,15	2,03	1,98	1,39
	1,0	3,02	2,42	2,18	2,05	1,99	1,39
	1,2	3,13	2,46	2,21	2,06	2,00	1,40

Таблица 7.3.

Значения коэффициента  $f$ 

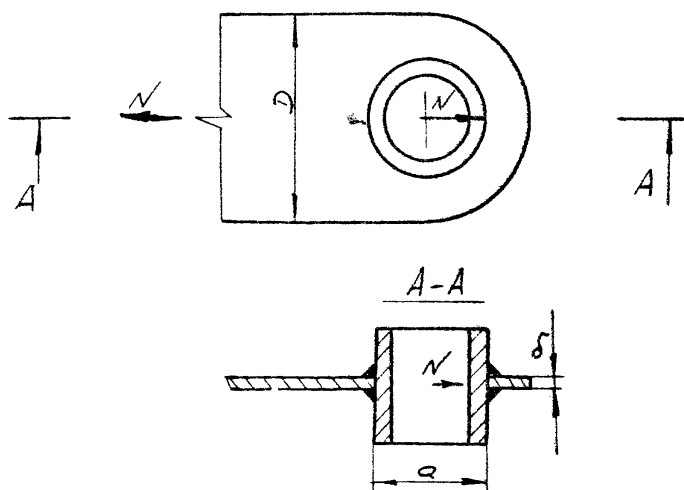
$\theta$	$\rho, \text{ см}$					
	2	5	8	11	14	17
	$f, \text{ см}^2$					
$15^\circ$	0,100	0,283	0,674	1,11	1,72	2,35
$22,5^\circ$	0,043	0,152	0,348	0,652	1,04	1,43
$30^\circ$ и $45^\circ$	0,022	0,050	0,130	0,239	0,413	0,565

7.6. При расчете сварных соединений необходимо учитывать возможность разрушения по сечению, проходящему частично по сварке и частично по основному металлу. В таких случаях проверку прочности следует проводить дважды: по сечению сварных швов и по сечению минимальной площади, включающему некоторую площадь сварных швов и некоторую площадь основного металла. В последнем случае входящая в расчетное сечение площадь сварных швов берется с соответствующим коэффициентом  $K_{св} = \frac{R_{св}}{R}$ , где

$R_{св}, R$  — расчетные сопротивления, соответственно, шва и основного металла, а площадь основного металла берется по её фактической величине. Вычисленные напряжения сравниваются с расчетными сопротивлениями для основного металла. При проверке сечения, включающего швы и основной металл,  $m = 0,9$ .

Пример: расчет сварных швов приварки втулки (черт. 7.3) проводится по сечению А-А (помимо расчета на срез кольцевых сварных швов). Расчетная площадь в этом случае определяется по формуле

$$F = \pi d \beta K_w K_{св} + \delta (L - d) \quad (7.14)$$



Черт. 7.3. Сварные швы приварки  
втулки

## 8. РАСЧЕТ ШВОВ ПОД КРЕПЛЕНИЯМИ ПРОУШИН

8.1. Проушины приварены к стенке коробчатой конструкции (черт. 8.1, 8.2) угловыми швами.

Расчёт швов производится по формулам (7.1), (7.2), где максимальные напряжения  $\tau_f$  равны

$$\tau_f = \sqrt{\tau_{fT}^2 + (\tau_{fQ} + \tau_{fM})^2} \quad (8.1)$$

где  $\tau_{fT}$ ,  $\tau_{fQ}$  и  $\tau_{fM}$  — напряжения металла шва соответственно от усилий  $T$ ,  $Q$  и  $M$ , полученных в результате приведения нагрузки в проушине  $P$  к центру тяжести швов  $O$ .

$$\tau_{fT} = \frac{T}{\beta_{f1} K_{f1} l_{w1} + \beta_{f2} K_{f2} l_{w2}} \quad (8.2)$$

$$\tau_{fQ} = \frac{Q}{\beta_{f1} K_{f1} l_{w1} + \beta_{f2} K_{f2} l_{w2}} \quad (8.3)$$

в шве 1

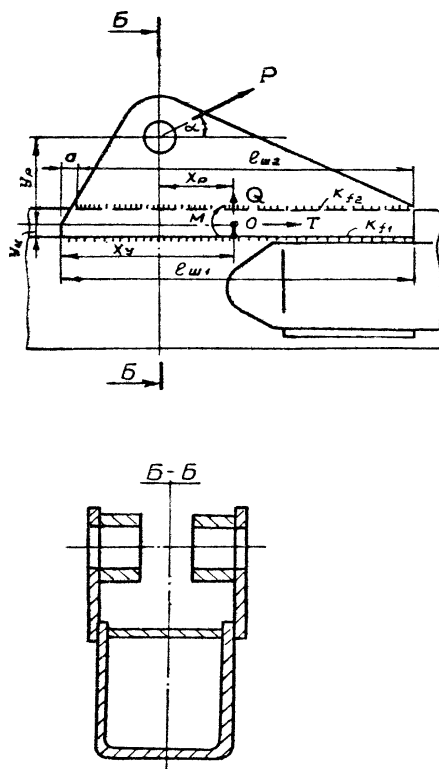
$$\tau_{fM} = \frac{M}{y_f} \cdot \frac{l_{w1}}{2} \quad (8.4)$$

в шве 2

$$\tau_{fM} = \frac{M}{y_f} \cdot \frac{l_{w2}}{2} \quad (8.5)$$







Черт. 8.2. Несимметричная пружина

В формулах (8.4), (8.5)  $y_f$  - момент инерции швов относительно их центра тяжести, определяемый по формуле

$$y_f = \beta_{f1} \frac{K_{f1} \cdot l_{w1}^3}{12} + \beta_{f2} \frac{K_{f2} \cdot l_{w2}^3}{12} \quad (8.6)$$

Центр тяжести швов определяется по формуле

$$x_{y.t.} = \frac{0,5 l_{w1}^2 K_{f1} + K_{f2} l_{w2} (0,5 l_{w2} + a)}{K_{f1} l_{w1} + K_{f2} l_{w2}} \quad (8.7)$$

В формулах (8.2)-(8.7) символами  $\beta_{f1}, \beta_{f2}$  обозначены коэффициенты  $\beta_f$  соответственно для швов I и 2, аналогично  $K_{f1}, K_{f2}$  - катет  $K_f$  для швов I и 2.

Напряжения  $\tau_z$  определяются по формулам, полученным из (8.1)-(8.7) заменой индекса  $f$  на индекс  $z$ .

Приведение силы  $P$  к точке  $O$  осуществляется по формулам

$$\begin{aligned} T &= P \cdot \cos \alpha \\ Q &= P \cdot \sin \alpha \\ M &= P(\pm y_p \cos \alpha \pm x_p \sin \alpha) \end{aligned} \quad (8.8)$$

Знаки в формуле для вычисления  $M$  берутся в соответствии с направлением действия моментов от составляющих силы  $P$  относительно точки  $O$ .

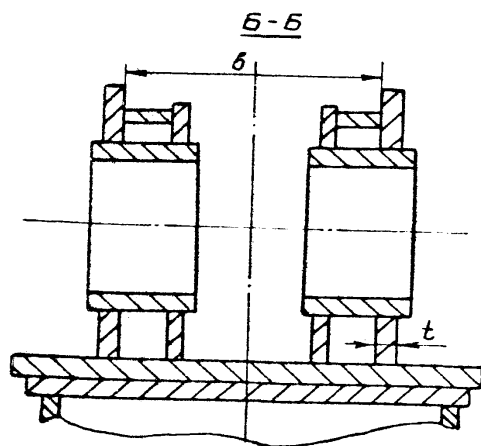
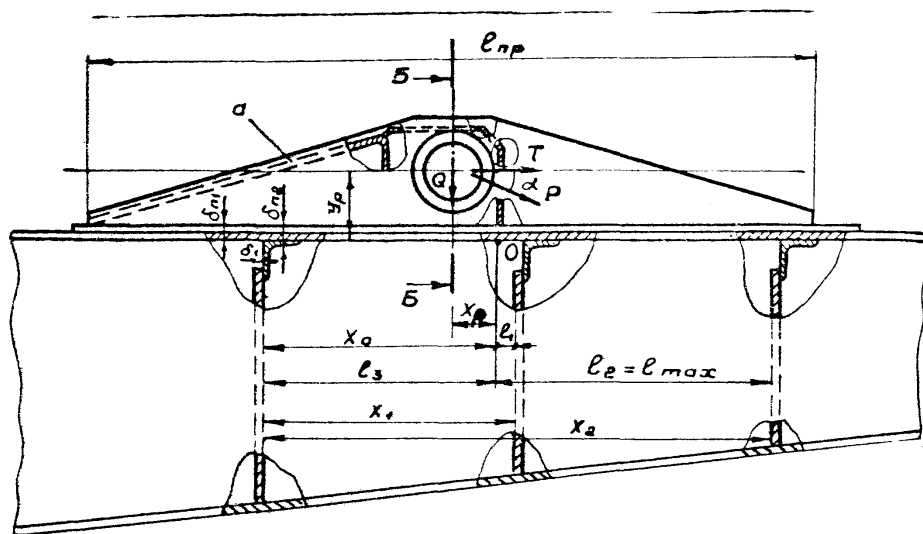
8.2. Проушина приварена к поясу коробчатой конструкции, подкрепленному несколькими ребрами (черт. 8.3, 8.4, 8.5).

8.2.1. При приварке проушины к поясу стыковыми швами расчёт производится по (7.1), и по формуле

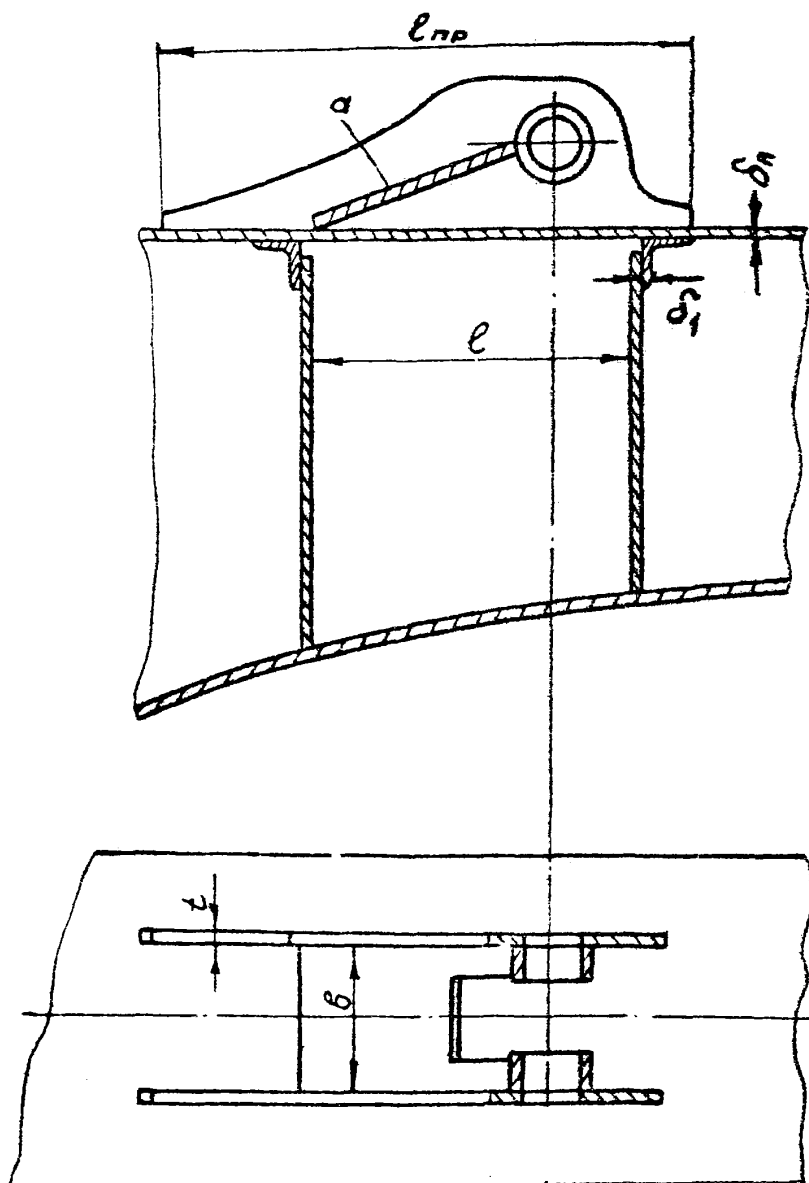
$$\tau_s \leq m R_{ws} \quad (8.9)$$

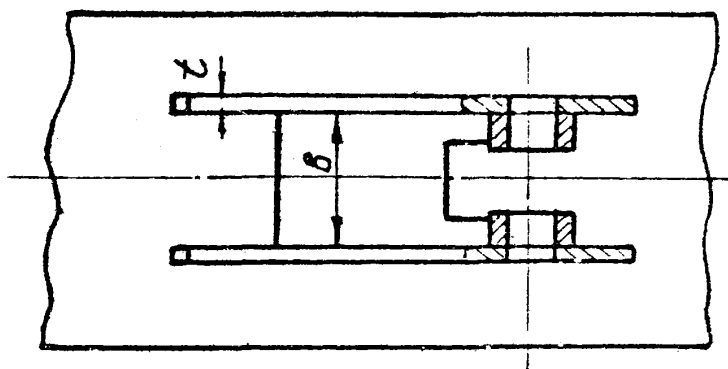
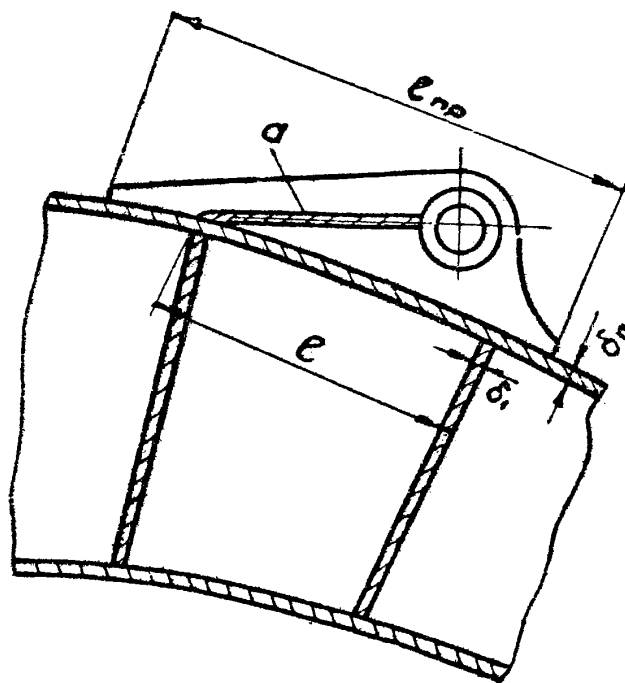
При расчёте по (7.1)  $N$  определяется по формуле:

$$N = \frac{P \cdot \sin \alpha}{n} + \frac{M \cdot l_{max}}{\sum_{i=1}^n l_i^2}, \quad (8.10)$$



Черт. 8.3.





Черт. 8.5.

где  $n$  - число ребер;  
 $\ell_{i'}$  - расстояние от центра размещения ребер до  $i'$ -го ребра  
 $\ell_{max}$  - максимальное расстояние от центра размещения ребер до крайнего ребра

При двух ребрах (черт. 8.4, 8.5) формула (8.10) принимает вид

$$N = \frac{P \cdot \sin \alpha}{2} + \frac{M}{\ell}, \quad (8.10a)$$

где  $\ell$  - расстояние между ребрами.

Координата центра размещения ребер определяется по формуле (черт. 8.3)

$$\chi_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \chi_{i'}}{n} \quad (8.11)$$

Расчетные длины швов в (7.1) определяются по формулам:

- при конструкции подкрепления по черт. 8.3, 8.4

$$\ell_{ш} = \delta_1^r + \delta_{n_1}^r + \delta_{n_2}^r \quad (8.12)$$

- при конструкции подкрепления по черт. 8.5

$$\ell_{ш} = \delta_1^r + 2 \delta_n^r, \quad (8.13)$$

где  $\delta_1^r$  - толщина ребра (или другого элемента, подкрепляющего пояс и расположенного перпендикулярно его плоскости);

$\delta_{n_1}^r, \delta_{n_2}^r$  - суммарные толщины элементов пояса.

В качестве толщины элемента  $t$  в (7.1) принимается толщина проушины

При расчете по (8.9)  $\tau$  определяется по формуле:

$$\tau = \frac{T}{t \cdot \ell_{ш}}, \quad (8.14)$$

где  $\ell_{ш} = \ell_{np} - t$  (черт. 8.3, 8.4, 8.5) (8.14a)

При отсутствии ребра  $a$  (черт. 8.3, 8.4, 8.5)  $T$  определяется по (8.8). При наличии ребра  $a$

$$T = P \cos \alpha \frac{\ell_{np} - t}{\ell_{np} + \frac{b}{2} - t} \quad (8.15)$$

8.2.2. При приварке проушин угловыми швами расчет производится по формулам (7.2), (7.3), где максимальные напряжения  $\tau_f$  равны

$$\tau_f = \sqrt{\tau_{fT}^2 + \tau_{fN}^2} \quad (8.16)$$

Напряжения  $\tau_{fT}$  равны

$$\tau_{fT} = \frac{T}{2\beta_f K_f \ell_{ш}} \quad (8.17)$$

где  $\ell_{ш} = \ell_{np} - I$  ( $\ell_{ш}, \ell_{np}$  в см),  $T$  определяется по указаниям п. 8.2.1.

Напряжения  $\tau_{fN}$  равны

$$\tau_{fN} = \frac{N}{2\beta_f K_f \ell_{ш}} \quad (8.18)$$

где  $N$  определяется по (8.10) (8.10а),  
 $\ell_{ш}$  - по (8.12) (8.13).

Напряжения  $\tau_z$  определяются по формулам, полученным из (8.16) - (8.18) заменой индекса  $f$  на индекс  $z$ .

8.3. Проушина приварена к поясу коробчатой конструкции, подкрепленной ребрами в одной точке (черт. 8.6, 8.7).

8.3.1. При приварке проушины к поясу стыковыми швами проверка швов над ребром производится по (7.1), (8.9), а на конце, наиболее удаленном от ребра (точка "а" на черт. 8.6, 8.7) - по формулам (8.9) и

$$\sigma_s \leq m R_{шy} \quad (8.19)$$



Для расчета швов сила  $P$  по (8.8) приводится к точке  $O$  (черт. 8.6, 8.7, на которых величины, относящиеся к разным проушинам, условно обозначены одинаковыми символами  $P, \alpha, \chi_p, \gamma_p, a, b$  и др.).

Величина  $N$  при расчете швов над ребром определяется по формуле:

$$N = Q \pm \frac{3}{2} \cdot \frac{M(b^2 - a^2)}{a^3 + b^3}, \quad (8.20)$$

где  $a, b$  — соответственно наименьшее и наибольшее расстояния от края ребра (черт. 8.6, 8.7) до точки  $O$ .

Длина шва  $l_{ш}$  в (7.1) определяется по (8.12), (8.13). Если от действия момента  $M$  в шве в точке "а" возникают напряжения того же знака, что и от силы  $Q$ , в (8.20) принимается знак  $-$ , в других случаях — знак  $+$ .

При проверке швов по (8.9)  $\tau_s$  определяется по (8.14).

При проверке швов в наиболее удаленной точке проушины (точка "а" на черт. 8.6, 8.7) по (8.19)  $\sigma_s$  определяется по формуле

$$\sigma_s = 4,2 \frac{M}{t} \cdot \frac{b}{a^3 + b^3} \quad (8.21)$$

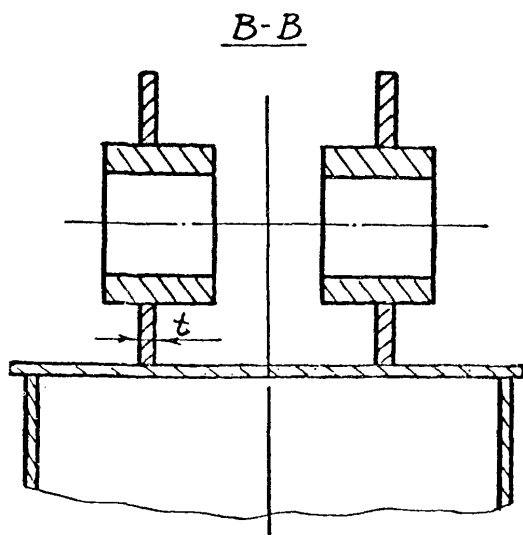
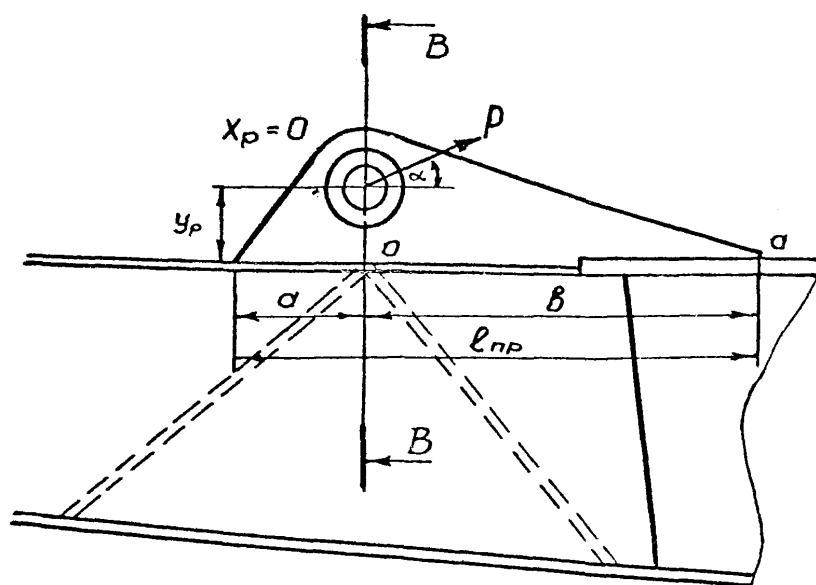
Напряжения  $\tau_s$  в этой точке при проверке по (8.9) определяются по (8.14).

8.3.2. При приварке проушины к поясу угловыми швами расчет производится по формулам (7.2), (7.3).

При проверке шва над ребром напряжения  $\tau_f$  определяются по (8.16) — (8.18), где  $N$  определяется по (8.20).

При проверке шва в наиболее удаленной точке (точка "а" на черт. 8.6, 8.7)  $\tau_f$  определяется по (8.16), где  $\tau_{fT}$  находится по (8.17), а  $\tau_{fN}$  — по формуле

$$\tau_{fN} = 2,1 \frac{M}{\beta_f K_f} \cdot \frac{b}{a^3 + b^3} \quad (8.22)$$



Черт. 8.6.

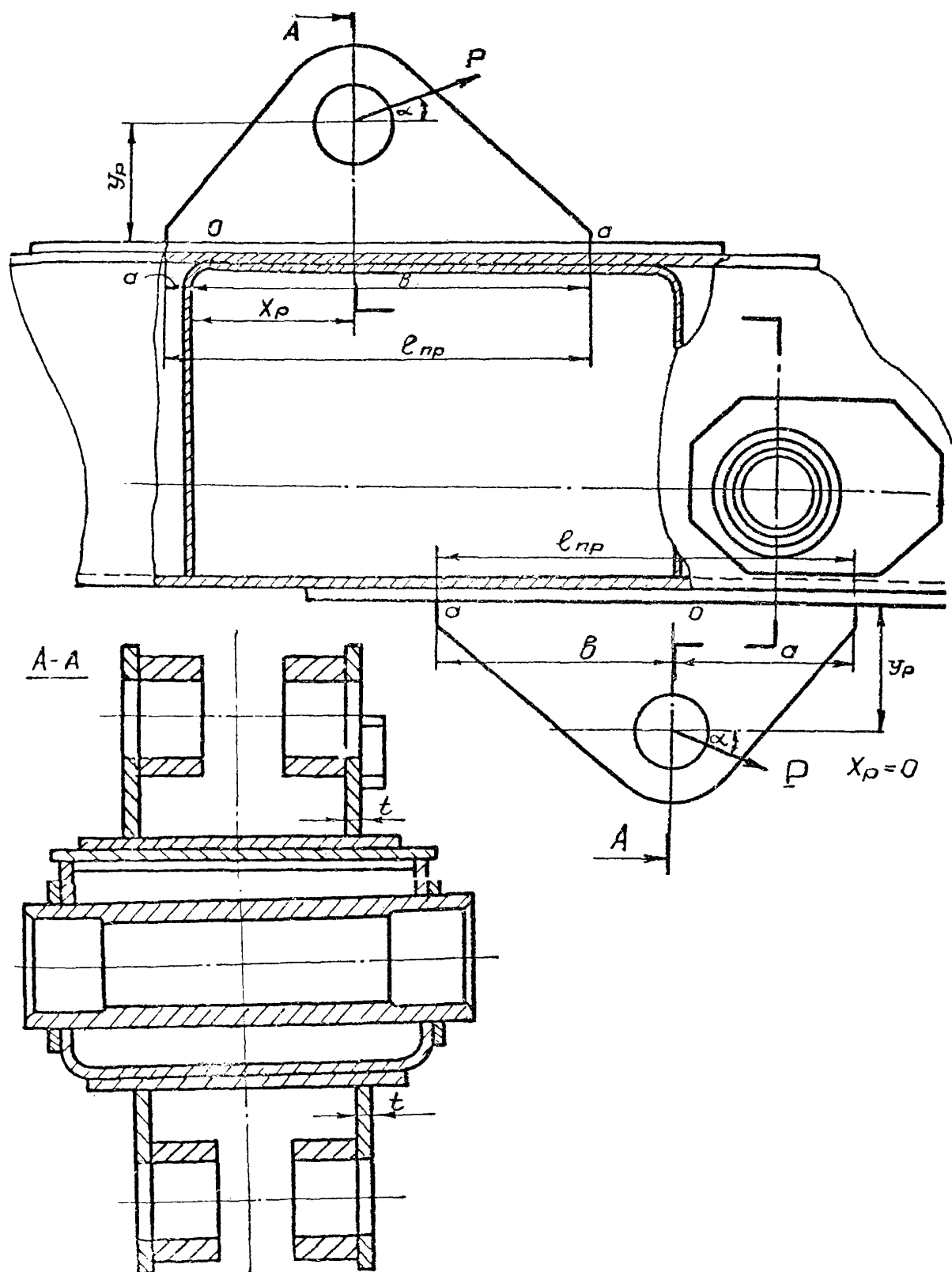


Рис. 8.7.

Напряжения  $\tau_z$  определяются по формулам, полученным из формул для определения  $\tau_f$  заменой индекса  $f$  на индекс  $z$

8.4. Проушина приварена к поясу, не подкрепленному ребрами (черт. 8.8).

8.4.1. При приварке проушины к поясу стыковыми швами проверка швов производится в крайней точке (точка  $a''$ , черт. 8.8) по формулам (8.9) и (8.19).

Для расчета сила  $P$  приводится к середине проушины (точка  $o''$ , черт. 8.8) по (8.8).

Напряжения  $\sigma_s$  при проверке по (8.19) определяются по формуле:

$$\sigma_s = \frac{1,4}{t \ell_w} \cdot \left( Q + \frac{6M}{\ell_{np}} \right), \quad (8.23)$$

где  $\ell_w$  определяется по (8.14а)  
напряжения  $\tau_s$  при проверке по (8.9) определяются по (8.14).

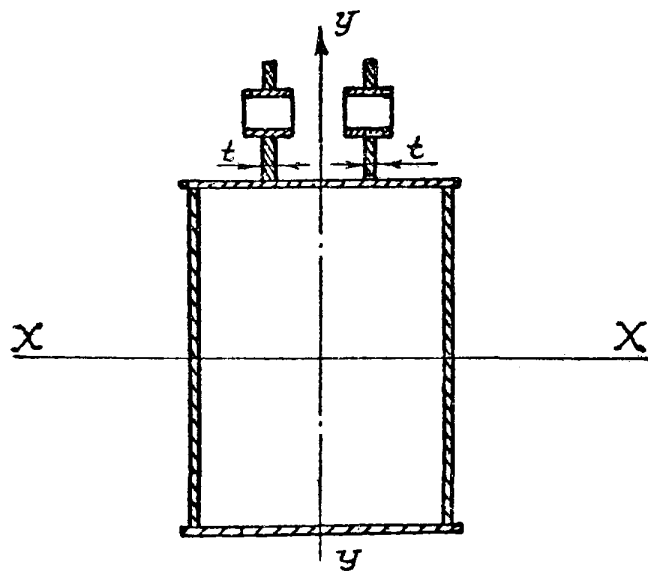
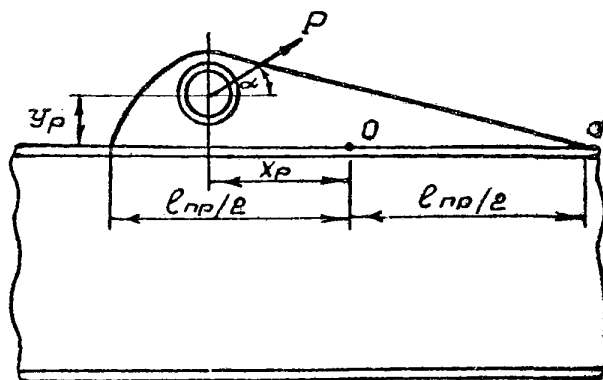
8.4.2. При приварке проушины угловыми швами их проверка производится по (7.2), (7.3). Напряжения  $\tau_f$  определяются по (8.16), где  $\tau_{fT}$  находятся по (8.17), а  $\tau_{fN}$  - по формуле:

$$\tau_{fN} = \frac{0,7}{\beta_f \cdot K_f \cdot \ell_w} \cdot \left( Q + \frac{6M}{\ell_w} \right), \quad (8.24)$$

где  $\ell_w = \ell_{np} - I$  ( $\ell_w, \ell_{np}$  в см)

Напряжения  $\tau_z$  определяются по формулам, полученным из формул для определения  $\tau_f$  заменой индекса  $f$  на индекс  $z$

8.5. При расчётах по формулам раздела 8 следует применять коэффициент условий работы  $M = 0,9$ .



Черт. 8.8.

## 9. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЁТА

9.1. В соответствии с инструкцией к программе МЕСН подготавливаются исходные данные для расчета прочности стрелы и рукояти на ЭВМ: массы и координаты центра масс всех звеньев рабочего оборудования; координаты всех шарниров рабочего оборудования; емкость ковша и половина ширины ковша; момент механизма поворота; масса экскаватора без рабочего оборудования, координаты центра масс; координаты границ опорного контура; коэффициент сцепления с грунтом; минимальные и максимальные длины цилиндров стрелы, рукояти и ковша и число шагов разбиения хода цилиндров; максимальные активные усилия в цилиндрах стрелы, рукояти, ковша; максимальные реактивные усилия в штоковой и поршневой полостях цилиндров стрелы и рукояти; значения коэффициентов перегрузки.

9.2. По чертежам рабочего оборудования выбираются расчетные сечения на стреле и рукояти. Максимальное число сечений одновременно включаемых в расчет, — 20. Сечения следует назначать в тех местах, где передается усилие, имеются концентраторы напряжений в вилках и проушинах.

9.3. Выбранные для расчета сечения следует проверить на участие в работе всей ширины полки коробчатого сечения согласно пункту 6.5.

Кроме того, для поясов конструкции, имеющих криволинейное очертание (черт. 6.6), следует определить эффективную ширину пояса согласно пункту 6.9. Из этих двух величин в расчет принимается меньшая ширина полки и в случае необходимости расчетное сечение должно быть ослаблено отверстием в соответствии с черт. 6.4.

9.4. Геометрические характеристики сечений подсчитываются с учетом пункта 6.4 (черт. 6.3).

9.5. Результатом расчета по программе МЕСН являются максимальные значения приведенных напряжений в расчетных сечениях и максимальные значения усилий во всех шарнирах рабочего оборудования. Результаты расчета представлены в протоколе в двух таблицах.

9.5.1. Таблица "напряжения в расчетных сечениях".

№ сеч	Элемент рабочего оборудования	Длины гидроцилиндров, м			Координаты конца зубо, м		Дят. гидроцилиндр	Дят. отгра. ниче. ние	Сила резиния			Напряжения, МПа				
		ковша	рук.	стр.	X	Y			$\Psi$	$\Delta a$	$P$	Изгиб в плоск.	Растяжение - сжатие	Изгиб из плоск.	Кручение	Приведенный
1	стр.	2,550	2,550	3,000	6,470	-0,726	рук.	проеск.	89	70	281	118,55	19,92	36,48	9,04	175,65
7	рук.	2,550	2,550	2,400	3,526	-3,751	рук.	рук.	51	110	256	190,59	-4,29	45,86	52,54	293,23

Для каждого расчетного сечения в таблице представлено максимальное значение приведенного напряжения, полученное в результате выборки из всех расчетных положений рабочего оборудования. В таблице приведены также длины цилиндров ковша, рукояти, стрелы; координаты зуба ковша, относительно оси поворотной платформы и уровня стойки; значение и направление усилия на зубьях ковша, т.е. все геометрические и силовые параметры, характеризующие положение рабочего оборудования при возникновении максимального приведенного напряжения. Кроме того, в таблице даны значения составляющих максимального приведенного напряжения: изгиб в плоскости и из плоскости рабочего оборудования, растяжение-сжатие и кручение.

#### 9.5.2. Таблица "усилия в шарнирах".

№ шарн.	Длины гидроцилиндров, м			Координата конца зуба, м		Акт. гидроцилиндр	Акт. ограничение	Сила резания			Максимальное усилие, кН	Направление усилия, относительно оси X, градус
	ковша	рук.	стр.	X	Y			$\psi$ градус	$\Delta\alpha$ градус	$P_0$ кН		
1	2,550	2,550	3,000	7,346	2,367	ковш.	стр.	79	110	149	1379,37	250
8	2,850	2,550	2,700	4,733	-1,679	рук.	рук.	56	110	305	904,22	208

В таблице для всех шарниров приведены максимальные значения и направления усилий, а также положение рабочего оборудования, значение и направление усилия на зубьях ковша, ограничения.

9.6. Для каждого расчетного сечения по таблице 6.1. определяется коэффициент условий работы

9.7. Из Приложения 1а выбирается расчетное сопротивление металла по пределу текучести и проверяется прочность каждого сечения по формуле 6.3.

9.8. Для сечений, где действуют только нормальные напряжения, параллельные оси элемента, в левую часть формулы 6.3 подставляется значение приведенного напряжения из таблицы протокола расчета.

9.9. В сечениях, проходящих через шарниры, возникают нормальные напряжения  $\sigma_y$ , перпендикулярные оси элемента.

В левую часть формулы 6.3. подставляются следующие значения: 1) нормальные напряжения  $\sigma_x$ , параллельные оси элемента, равные сумме трех напряжений из таблицы протокола-изгиба в плоскости, растяжения-сжатия и изгиба из плоскости; 2) нормальные напряжения  $\sigma_y$ , перпендикулярные оси элемента, которые подсчитываются по формулам 6.21, 6.22; 3) напряжения кручения из таблицы протокола расчета.

9.10. Сварные швы металлоконструкций стрелы и рукояти проверяются в соответствии с разделом 7 по максимальным усилиям, значения которых берутся из таблицы "усилия в шарнирах" протокола расчета.

9.11. Сварные швы проушин крепления цилиндров к стреле и рукояти должны проверяться по формулам раздела 8.



ПРИЛОЖЕНИЕ I  
Обязательное

## Расчётные сопротивления проката

Напряженное состояние		Условное обозначение	Расчётные сопротивления проката
Растяжение, сжатие и изгиб	По пределу текучести	$R_y$	$R_y = \sigma_T / \gamma_m$
	По временному сопротивлению	$R_u$	$R_u = \sigma_b / \gamma_m$
Сдвиг		$R_s$	$R_s = 0,58 \sigma_T / \gamma_m$
$\gamma_m$ — коэффициент надёжности по материалу, определяемый по Приложению 2.			

Нормативные и расчётные сопротивления проката

Марка стали	ГОСТ или ТУ	Вид проката	Толщина* проката, мм	Нормативное сопротив- ление <sup>ЖЖ</sup> , МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )		Расчётное сопротивление <sup>ЖЖ</sup> МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	
				Предел текучести	Временное сопротивле- ние	По пределу текучести	По временному сопротивлению
1	2	3	4	5	6	7	8
ВСт3сп5-I	ТУ-I4-I-3023-80	Лист	4-I0	245(25)	365(37)	240(2450)	355(3600)
ВСт3Гпс5-I	"	"	"	"	"	"	"
ВСт3сп5-I	ТУ-I4-I-3023-80	"	II-20	235(24)	365(37)	230(2350)	355(3600)
ВСт3Гпс5-I	"	"	"	"	"	"	"
ВСт3сп5-I	ТУ-I4-I-3023-80	Фасон	4-I0	255(26)	380(39)	250(2550)	370(3750)
ВСт3Гпс5-I	"	"	"	"	"	"	"
ВСт3сп5-I	ТУ-I4-I-3023-80	"	II-20	245(25)	370(38)	240(2450)	360(3650)
ВСт3Гпс5-I	"	"	"	"	"	"	"
ВСт3сп5-I	ТУ-I4-I-3023-80	"	2I-30	235(24)	365(37)	230(2350)	355(3600)
ВСт3Гпс5-I	"	"	"	"	"	"	"
ВСт3сп5	ГОСТ 380-71 <sup>Ж</sup>	Лист	4-20	235(24)	370(38)	225(2300)	350(3550)
ВСт3Гпс5	"	"	"	"	"	"	"
ВСт3сп	ГОСТ 380-71 <sup>Ж</sup>	Лист	2I-40	225(23)	370(38)	215(2200)	350(3550)
ВСт3ГПС	"	"	"	"	"	"	"

1	2	3	4	5	6	7	8
ВСт3сп5	ГОСТ 380-71*	Фасон	4-20	245(25)	370(38)	235(2400)	350(3550)
ВСт3Гпс5	"	"	"	"	"	"	"
ВСт3сп	ГОСТ 380-71*	"	2I-40	225(23)	370(38)	2I5(2200)	350(3550)
ВСт3Гпс	"	"	"	"	"	"	"
О9Г2Ср.І	ТУ14-І-3023-80	Лист	4-10	345(35)	490(50)	335(3400)	480(4900)
О9Г2Ср.І	ТУ14-І-3023-80	Фасон	4-10	345(35)	490(50)	335(3400)	480(4900)
О9Г2Ср.І	ТУ14-І-3023-80	Лист	II-20	325(33)	470(48)	3I5(3200)	460(4700)
О9Г2Ср.І	ТУ14-І-3023-80	Фасон	II-20	325(33)	470(48)	3I5(3200)	460(4700)
О9Г2Ср.І	ТУ14-І-3023-80	"	2I-30	305(3I)	460(47)	300(3050)	450(4600)
О9Г2С	ГОСТ 19282-73	Лист	2I-32	305(3I)	460(47)	290(2950)	440(4500)
О9Г2С	ГОСТ 19282-73	Лист	4-9	345(35)	490(50)	330(3350)	465(4750)
О9Г2С	ГОСТ 19282-73	"	10-20	325(33)	470(48)	310(3150)	450(4600)
О9Г2С	ГОСТ 1928I-73	Фасон	4-9	345(35)	490(50)	330(3350)	465(4750)
О9Г2С	ГОСТ 1928I-73	"	10-20	325(33)	470(48)	310(3150)	450(4600)
О9Г2С	ГОСТ 1928I-73	"	2I-32	305(3I)	460(47)	290(2950)	440(4500)
О9Г2С	ТУ14-3-500-76	Труба	8-15	265(27)	470(48)	250(2550)	450(4600)
10Г2СІ	ГОСТ 19282-73	Лист	4	355(36)	490(50)	340(3450)	465(4750)
10Г2СІ	ГОСТ 1928I-73	Фасон	4	355(36)	490(50)	340(3450)	465(4750)
10Г2СІ	ГОСТ 19282-73	Лист	5-9	345(35)	490(50)	330(3350)	465(4750)
10Г2СІ	ГОСТ 1928I-73	Фасон	5-9	345(35)	490(50)	330(3350)	465(4750)
10Г2СІ	ГОСТ 19282-73	Лист	10-20	335(34)	480(49)	320(3250)	455(4650)

1	2	3	4	5	6	7	8
10Г2С1	ГОСТ 19281-73	Фасон	10-20	335(34)	480(49)	320(3250)	455(4650)
10Г2С1	ГОСТ 19282-73	Лист	21-32	325(33)	470(48)	310(3150)	450(4600)
10Г2С1	ГОСТ 19281-73	Фасон	21-32	325(33)	470(48)	310(3150)	450(4600)
10Г2С1 термоупр.	ГОСТ 19282-73	"	10-40	390(40)	530(54)	355(3600)	480(4900)
10ХСНД	ГОСТ 19281-73	Фасон	4-15	390(40)	530(54)	355(3600)	480(4900)
10ХСНД	ГОСТ 19282-73	Лист	4-32	390(40)	530(54)	355(3600)	480(4900)
10ХСНД	ГОСТ 19282-73	"	33-40	390(40)	510(52)	355(3600)	465(4750)
15ХСНД	ГОСТ 19282-73	Лист	4-32	345(35)	490(50)	330(3350)	465(4750)
15ХСНД	ГОСТ 19281-73	Фасон	4-9	345(35)	490(50)	330(3350)	465(4750)
15ХСНД	ГОСТ 19281-73	"	10-32	325(33)	470(48)	310(3150)	450(4600)
14Г2АФ	ГОСТ 19282-73	Лист	4-50	390(40)	540(55)	370(3750)	515(5250)
15Г2АФДис	ГОСТ 19282-73	"	4-32	390(40)	540(55)	355(3600)	490(5000)
15Г2С2 термоупроч- енная	ГОСТ 19282-73	Лист	10-32	440(45)	590(60)	400(4100)	535(5450)
16Г2АФ	ТУ14-3-567-76	"	6-9	440(45)	590(60)	400(4100)	535(5450)
16Г2АФ	ТУ14-3-829-79	"	16-40	350(35,5)	410(42)	320(3250)	375(3800)
16Г2АФ	ГОСТ 19282-73	"	4-32	440(45)	590(60)	400(4100)	535(5450)
16Г2АФ	ГОСТ 19282-73	"	33-50	410(42)	570(58)	375(3800)	520(5300)
18Г2АФпс	ГОСТ 19282-73	"	4-32	440(45)	590(60)	400(4100)	535(5450)
14Х2ГМРБ	ТУ14-1-1156-74	Лист	10-50	585(60)	690(70)	510(5200)	600(6100)

1	2	3	4	5	6	7	8
I2XН2МЭАЮ	ТУ14-I-I772-76	Лист	I6-40	585(60)	690(70)	510(5200)	600(6100)
I4X2ГМ	ТУ14-I-2659-79	Лист	I0-30	585(60)	690(70)	510(5200)	600(6100)
I4XГМНЦ	ТУ14-I-2659-79	Лист	3-30	690(70)	785(80)	600(6100)	680(6950)

ПРИМЕЧАНИЯ: \* За толщину фасонного проката следует принимать толщину полки.

✖ За нормативные сопротивления приняты минимальные значения предела текучести и временного сопротивления, приводимые в государственных стандартах или технических условиях, МПа ( $\text{кгс/мм}^2$ ). В тех случаях, когда эти значения в государственных стандартах или технических условиях приведены только в одной системе ( $\text{кгс/мм}^2$ ), нормативные сопротивления, МПа, вычислены умножением соответствующих величин на множитель 9,80665 и округлением до 5 МПа.

✖ Значения расчётных сопротивлений получены делением нормативных сопротивлений, МПа, на коэффициенты надёжности по материалу, определяемые в соответствии с таблицей 2 приложения и округлением до 5 МПа, значения расчётных сопротивлений,  $\text{кгс/см}^2$ , получены путём деления расчётных сопротивлений, МПа, на коэффициент 0,0980665.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2  
Справочное

Коэффициенты надёжности по материалу проката и труб

Государственный стандарт или техническое условие на сталь	Коэффициент надёжности по материалу
ТУ I4-I-3023-80	I,025
ГОСТ 380-71 <sup>ж</sup> , ГОСТ I928I-73 и ГОСТ I9282-73 /с пределом теку- чести до 380 МПа (39 кгс/мм <sup>2</sup> )/, ТУ I4-3-500-76	I,05
ГОСТ I928I-73 и ГОСТ I9282-73 /с пределом текучести свыше 380 МПа (39 кгс/мм <sup>2</sup> )/ <sup>I</sup> , ТУ I4-3-567-76, ТУ I4-3-829-79	I, I
<sup>I</sup> Для стали марки I4Г2А <sup>ж</sup>	I,05

ПРИЛОЖЕНИЕ 3  
Справочное

Материалы для сварки, соответствующие маркам стали

Марки стали	Материалы для сварки		
	п о д ф л ю с о м	в углекислом газе (по ГОСТ 8050-76)	покрытыми электродами
	М а р к и		Тип электро- дов (по ГОСТ9467-75)
	Флюсов (по ГОСТ 9087-81)	Сварочной проволоки (по ГОСТ 2246-70*)	
ВСт3сп, ВСт3пс, ВСт3Гпс	АН-348-А	Св-08А, Св-08А	342А, 346А
09Г2С, 10Г2СГ, 15ХСНД, 10ХСНД	АН-47, АН-43, АН-348-А <sup>1</sup>	Св-08Г2С, Св-08Г2СЦ	346А, 350А
18Г2АФпс, 16Г2АФ, 15Г2АФДпс, 14Г2АФ	АН-47, АН-17М, АН-348-А <sup>1</sup>	Св-08ХМ <sup>3</sup> , Св-10НМ4	Св-08Г2С, Св-08Г2СЦ, Св-08ХГСМА, Св-10ХГ2СМА
			350А, 360

1. Применение флюса АН-348-А требует проведения дополнительного контроля механических свойств металла шва при сварке соединений элементов всех толщин для конструкций, работающих при температурах до  $-40^{\circ}\text{C}$ .

2. При соответствующем технико-экономическом обосновании для сварки конструкций разрешается использовать сварочные материалы (проволоки, флюсы, защитные газы), не указанные в настоящей таблице. При этом механические свойства металла шва, выполняемого с их применением, должны быть не ниже свойств, обеспечиваемых применением материалов согласно настоящего Приложения.

3. Применять только в сочетании с флюсом АН-47.

Примечания: 1. Флюс марки АН-47 поставляется по ТУ 14-1-1353-75, марки АН-43 - по ТУ 14-1-753-73, марки АН-17М - по 4МТУ 1-1017-70.

Нормативные и расчётные сопротивления металла  
швов сварных соединений с угловыми швами

Сварочные материалы		$R_{ш}$ МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	$R_{шf}$ МПа (кгс/см <sup>2</sup> )
Тип электрода по ГОСТ 9467-75	Марка проволоки		
342, 342А,	Св-08, Св-08А,	410(4200)	180(1850)
346, 346А,	Св-08ГА,	450(4600)	200(2050)
350, 350А	Св-10ГА, Св-08Г2С, Св-08Г2СЦ, ШП-АН8, ШП-АНЗ	490(5000)	215(2200)
360	Св-08Г2С*, Св-08Г2СЦ*, Св-10НМА, Св-10Г2	590(6000)	240(2450)
370	Св-10ХГ2СМА, Св-08ХН2ГМ0	685(7000)	280(2850)
385	—	835(8500)	340(3450)

\* Только для швов с катетом  $K_f \leq 8$  мм в конструкциях из стали с пределом текучести 440 МПа (4500 кгс/см<sup>2</sup>) и более

Расчётное сопротивление металла границы сплавления определяется исходя из нормативного сопротивления основного металла по временному сопротивлению

$$R_{шz} = 0,45 R_u \quad (\text{Приложение I})$$



ПРИЛОЖЕНИЕ 5  
СправочноеЗначения коэффициентов  $\beta_f$ ,  $\beta_z$ .

Вид сварки при диаметре сварочной проволоки $d$ , мм	Положение шва	Коэффициент	Значения коэффициентов $\beta_f$ и $\beta_z$ при катетах швов, мм			
			3-8	9-12	14-16	18 и более
Автоматическая при $d = 3-5$ мм	В лодочку	$\beta_f$	1,1			0,7
		$\beta_z$	1,15			1,0
	Нижнее	$\beta_f$	1,1	0,9		0,7
		$\beta_z$	1,15	1,05		1,0
Автоматическая и полуавтоматическая при $d = 1,4-2$	В лодочку	$\beta_f$	0,9		0,8	0,7
		$\beta_z$	1,05		1,0	
	Нижнее	$\beta_f$	0,9	0,8		0,7
		$\beta_z$	1,05		1,0	
Ручная; полуавтоматическая проволокой сплошного сечения при $d < 1,4$ или порошковой проволокой	В лодочку, нижнее, горизонтальное, вертикальное, потолочное	$\beta_f$		0,7		
		$\beta_z$			1,0	

Примечание. Значения коэффициентов соответствуют нормальным режимам сварки.

I. Определение силы сопротивления копанию  $P_0$ .

На схеме экскаватора (черт. 3.3) показана общая система координат  $X, Y$  и локальные системы координат  $\xi_i, \eta_i$ , связанные с каждым элементом рабочего оборудования.  $K$  - номер звена, к которому приложено усилие копания;  $\xi_{KR}, \eta_{KR}$  - координаты точки приложения усилия в  $K$ -ой локальной системе координат;  $P_0$  - неизвестное абсолютное значение усилия копания;  $\varphi$  - заданный угол между направлением усилия копания и осью  $X$ .

Уравнения статического равновесия рабочего оборудования, имеющего  $m$  звеньев, имеют вид:

$$\sum_{j \in \eta_i} b_{ij} \cdot X_j = -F_{ix}; \quad \sum_{j \in \eta_i} b_{ij} \cdot Y_j = -F_{iy}; \quad (i=1, \dots, m) \quad (I)$$

$$\sum_{j \in \eta_i} b_{ij} (a_{ij} X_j - b_{ij} Y_j) = -M_i,$$

где:  $X_j, Y_j$  - составляющие усилия в  $j$ -м шарнире по осям общей системы координат;  
 $\eta_i$  - совокупность номеров шарниров, принадлежащих  $i$ -му элементу;

$a_{ij}$  и  $b_{ij}$  - плечи  $X_j$  и  $Y_j$  относительно  $i$ -го шарнира;  
 $b_{ij}$  - множитель, равный +1 или -1, учитывающий тот факт, что усилие в данном шарнире входит в уравнение двух сочленяемых тел, причём с противоположными знаками.

Правые части в уравнениях (I) представляют внешние силы (вес элементов, и усилие копания) и их моменты. В матричной форме система уравнений имеет следующий вид:

$$[A] \{X\} = \{F\}, \quad (2)$$

где  $\{X\}$  - вектор с компонентами  $X_y, Y_y, \dots, X_n, Y_n$   
 (  $n$  - число шарниров), а в векторе правых  
 частей явным образом выделим усилие копания:

$$\{F_p\} = \{F_{1x}, F_{1y}, \dots, F_{Kx} + P_0 \cos \varphi, F_{Ky} + P_0 \sin \varphi, \dots, F_{mx}, F_{my}, \\ M_1, \dots, M_K - \eta_K P_0 \cos \varphi + \xi_K \cdot P_0 \cdot \sin \varphi, \dots, M_m\} \quad (3)$$

Усилие копания представим как сумму:

$$\{F_p\} = \{F\} + P_0 \cos \varphi \{Y\} + P_0 \sin \varphi \{J\} \quad (4)$$

Составляющая  $(2K-1)$  вектора  $\{Y\}$  равна единице, составляющая  $(2m+K)$  равна  $-\eta_K P_0$ , все остальные равны нулю. Аналогично составляющая  $2K$  вектора  $\{J\}$  равна  $1$ , составляющая  $(2m+K)$  равна  $\xi_K P_0$ , все остальные равны нулю. Таким образом система (2) приобретает вид

$$[A]\{X\} = -\{F\} - P_0 \cos \varphi \{Y\} - P_0 \sin \varphi \{J\} \quad (5)$$

В силу линейности системы её решение может быть представлено в виде

$$\{X\} = \{X^F\} + P_0 \cos \varphi \{X^Y\} + P_0 \sin \varphi \{X^J\} \quad (6)$$

Здесь  $\{X^F\}$ ,  $\{X^Y\}$  и  $\{X^J\}$  - соответственно решения систем

$$[A]\{X\} = -\{F\}, [A]\{X\} = -\{Y\}, \quad (7) \\ [A]\{X\} = -\{J\}$$

причём  $\{X^F\}$  - вектор усилий в шарнирах от постоянно действующих нагрузок;  $\{X^Y\}$  и  $\{X^J\}$  - соответственно реакции в шарнирах от горизонтальной и вертикальной единичных сил, приложенных к зубу ковша. Все три решения вычисляются сразу.

С учётом ограничения по усилию в рабочем цилиндре величина  $P_{0(1)}$  определяется следующим образом.

Нормальное усилие в цилиндре:

$$N_i = X_i \cos \varphi + Y_i \sin \varphi, \quad (8)$$

где  $i$  - номер начального шарнира этого цилиндра.

Максимальное по абсолютной величине значение этого усилия обозначим  $N_{io}$ .

Подставим в формулу (8)  $N_i = N_{io}$  и заменим  $X_i$  и  $Y_i$  их выражениями согласно (6). Получим зависимость относительно  $P_{o(I)}$

$$P_{o(I)} = \frac{N_{io} - (X_i^F \cos \varphi_i + Y_i^F \sin \varphi_i)}{(X_i^F \cos \varphi_i + Y_i^F \sin \varphi_i) \cos \varphi + (X_i^F \cos \varphi_i + Y_i^F \sin \varphi_i) \sin \varphi} \quad (9)$$

Величина  $P_{o(I)}$  представляет собой модуль усилия копания, т.е.

$P_{o(I)} \geq 0$ . Если результат вычисления по формуле (9) не удовлетворяет этому условию, то копание с положительным усилием в этом направлении невозможно.

## 2. Определение силы сопротивления копанию $P_{o(4)}$ с учётом ограничения по устойчивости.

Потеря устойчивости при копании состоит в "вывешивании" одной из крайних точек А или В опорного контура (черт. 3.3). При вывешивании точки В уравниваются момент  $M_{GA}$  веса машины относительно опоры А и момент  $M_{PA}$ , создаваемый усилием копания.

При этом

$$M_{GA} = [G(X_A' - X_G') + \sum_{i=1}^m G_i(X_A' - X_o' - \xi_{icg} \cos \varphi_i + \eta_{icg} \sin \varphi_i)] \cos \alpha - [G \cdot y_G' + \sum_{i=1}^m G_i(y_o' + y_i' + \xi_{icg} \sin \varphi_i + \eta_{icg} \cos \varphi_i)] \sin \alpha \quad (10)$$

$$M_{PA} = -P_o \cos \varphi (y_{p_c}' + y_o') + P_o \sin \varphi (x_{p_o}' - x_A' + x_o') \quad (11)$$

Здесь и далее штрихом обозначены координаты, отнесенные к осям, связанным с машиной (черт. 3.3): ось  $y'$  совпадает, например, с осью поворотной платформы, ось  $x'$  проведена на уровне стоянки;

$X'_G, Y'_G, X'_A, X'_B$  - координаты центра тяжести экскаватора и точек А, В;  $X'_O, Y'_O$  - координаты пяти стрелы,  $X'_{po}, Y'_{po}$  - координаты точки приложения силы копания (т.е. координаты острия зуба), вычисляемые одновременно с вычислением положения механизма;  
 $\xi_{icG}, \eta_{icG}, G_i$  - локальные координаты центра массы  $i$ -го звена рабочего оборудования и его масса;  $G$  - масса экскаватора без рабочего оборудования.

$\varphi_i$  - угол между осью  $\xi$   $i$ -го звена рабочего оборудования и осью  $X$ , проведенной через начало локальных координат этого звена;

$\varphi$  - угол между усилием  $P_0$  и осью  $X$ , проведенной через зуб ковш (черт 3.3).

$\alpha$  - угол продольного уклона поверхности стоянки экскаватора.

$$P_{0(4)} = \frac{M_{GB}}{(y'_{po} + y'_c) \cos \varphi - (x'_{po} - x'_A + x'_O) \sin \varphi} \quad (12)$$

При вывешивании опоры А уравниваются моменты

$$M_{GB} = [G(x'_B - x'_G) + \sum_{i=1}^m G_i (x'_B - x'_O - x'_i - \xi_{icG} \cos \varphi_i + \eta_{icG} \sin \varphi_i)] \cos \alpha - [G y'_G + \sum_{i=1}^m G_i (y'_O + y'_i + \xi_{icG} \sin \varphi_i + \eta_{icG} \cos \varphi_i)] \sin \alpha \quad (13)$$

$$M_{PB} = -P_0 \cos \varphi (y'_{po} + y'_O) + P_0 \sin \varphi (x'_{po} - x'_B + x'_O) \quad (14)$$

откуда

$$P_{0(4)} = \frac{M_{GB}}{(y'_{po} + y'_c) \cos \varphi - (x'_{po} - x'_B + x'_O) \sin \varphi} \quad (15)$$

Если какое-либо из значений  $P_{0(4)}$  оказывается отрицательным, то оно исключается из рассмотрения. В расчет принимается наименьшее по абсолютной величине положительное значение  $P_{0(4)}$ .

### 3. Определение усилий и моментов в сечениях рабочего оборудования.

Положение сечения, для которого вычисляется напряжение, задаётся номером  $K$  тела, координатами  $\xi_{st}, \eta_{st}$  центра инерции сечения в локальной системе координат, связанной с телом, и углом  $\varphi_{st}$  между осью  $\xi$  и нормалью к плоскости сечения (черт. П6.1). Вычисления ведутся по следующим формулам.

Нормальное усилие в сечении

$$N_{st} = \sum'_{j \in \mathcal{U}_K} \sigma_{kj} [X_j \cos(\varphi_K + \varphi_{st}) - Y_j \sin(\varphi_K + \varphi_{st})] \quad (I6)$$

Изгибающий момент в плоскости схемы

$$M_{st1} = \sum'_{j \in \mathcal{U}_K} \sigma_{kj} \{ [X_j(\xi_{st}^e - \xi_{kj}^e) - Y_j(\eta_{st} - \eta_{kj})] \sin \varphi_K + \\ + [X_j(\eta_{st} - \eta_{kj}) - Y_j(\xi_{st}^e - \xi_{kj}^e)] \cos \varphi_K \} \quad (I7)$$

Изгибающий момент в плоскости, перпендикулярной к плоскости схемы

$$M_{st2} = \frac{b P_0}{2} [\cos(\varphi_K + \varphi_{st} - \varphi)] \quad (I8)$$

Крутящий момент

$$M_{st3} = \frac{b P_0}{2} [\sin(\varphi_K + \varphi_{st} - \varphi)], \quad (I9)$$

где  $\varphi_K$  — угол между осью  $\xi_K$  и осью  $X$ ;

$\xi_{kj}^e, \eta_{kj}^e$  — координаты  $j$ -го шарнира в локальной системе координат  $K$ -го звена.

Штрих у знака суммы показывает, что суммирование производится только по шарнирам, лежащим слева от сечения, т.е. по тем шарнирам, для которых

$$(\xi_{kj}^e - \xi_{st}^e) \cos \varphi_{st} + (\eta_{kj} - \eta_{st}) \sin \varphi_{st} < 0 \quad (20)$$

Вычисляются также напряжения от изгиба и кручения, вызванные усилием, приложенным к зубу ковша перпендикулярно к плоскости рабочего оборудования. Это усилие  $P_\delta$  определяется моментом привода поворота  $M_{пов. max}$

$$P_\delta = \frac{M_{пов. max}}{|X_{p0} + X_o'|} \quad (21)$$

Изгибающий момент в плоскости, перпендикулярной к плоскости схемы

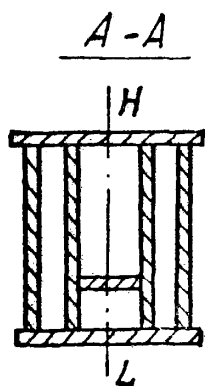
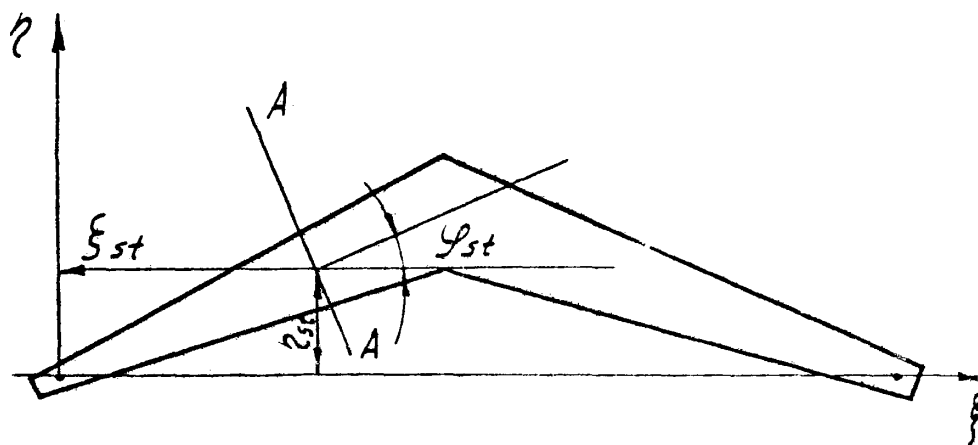
$$M'_{st_2} = P_\delta [(X_{p0} - X_{st}) \cdot \cos(\varphi_K - \varphi_{st}) + (y_{p0} - y_{st}) \cdot \sin(\varphi_K + \varphi_{st})] \quad (22)$$

Крутящий момент

$$M'_{st_3} = P_\delta [(X_{p0} - X_{st}) \cdot \sin(\varphi_K + \varphi_{st}) - (y_{p0} - y_{st}) \cdot \cos(\varphi_K + \varphi_{st})] \quad (23)$$

Здесь  $X_{st}$  и  $y_{st}$  - координаты центра инерции сечения в общей системе координат.

Срп. 78 РД 22-158-86



Черм. П. 6. 1.



## ПРИЛОЖЕНИЕ 7

## Справочное

Определение центра изгиба двойного  
коробчатого сечения

Для сечения, выполненного из двух элементов коробчатого сечения, соединенных одним плоским листом (черт. 6.2.6) центром приведения для боковой силы является центр изгиба. Обозначим центр изгиба точкой  $O$ , он расположен "выше" горизонтального листа. Обозначим расстояние от точки  $O$  до горизонтального листа -  $e$ . Обозначим касательные напряжения в местах сечения с толщиной  $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$  соответственно  $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ , результирующие силы от касательных напряжений соответственно  $N_1, N_2, N_3, N_4$ . Через  $Q$  обозначим силу, параллельную оси  $X$  и приложенную в точке  $O$  (центре изгиба).

$$\tau_2 \cong \tau_3 \cong \frac{\left[ \frac{\delta_4 c (b-c)}{2} + \delta_2 \cdot \frac{b}{2} \cdot y + \delta_3 \left( \frac{b}{2} - c \right) y \right] Q}{y_y (\delta_2 + \delta_3)} \quad (1)$$

$$N_2 = \delta_2 \int_0^h \tau_2 dy \quad ; \quad N_3 = \delta_3 \int_0^h \tau_3 dy \quad (2)$$

$$\int_0^h \tau_2 dy = \int_0^h \tau_3 dy = \frac{[\delta_4 c (b-c) h + 0,5 (\delta_2 \cdot b + \delta_3 \cdot b - 2 \delta_3 \cdot c) h^2] Q}{2 y_y (\delta_2 + \delta_3)} \quad (3)$$

Очевидно, что  $N_1 = \delta_1 \int_0^b \tau_1 dx = Q$  (4)

$$\sum M_o(N_i) = 0, \quad \text{отсюда} \quad N_2 \cdot b + N_3 (b - 2c) = N_1 \cdot e = Q \cdot e \quad (5)$$

$$e = (\delta_2 \cdot b + \delta_3 b - 2 \delta_3 c) \cdot \left[ \frac{\delta_4 c (b-c) h + 0,5 (\delta_2 \cdot b + \delta_3 \cdot b - 2 \delta_3 \cdot c) \cdot h^2}{2 y_y (\delta_2 + \delta_3)} \right] \quad (6)$$

Вводим обозначение  $b - 2c = a$  (таким образом  $a$  - это расстояние между внутренними стенками двух коробчатых сечений)

$$e = \frac{(\delta_2^2 \cdot b + \delta_3^2 \cdot a) [\delta_4^2 (b^2 - a^2) \cdot h + 2 (\delta_2^2 \cdot b + \delta_3^2 \cdot a) h^2]}{8 J_y (\delta_2^2 + \delta_3^2)} = \quad (7)$$

$$= \frac{\delta_4^2 (b^2 - a^2) (\delta_2^2 \cdot b + \delta_3^2 \cdot a) h + 2 (\delta_2^2 \cdot b + \delta_3^2 \cdot a)^2 h^2}{8 J_y (\delta_2^2 + \delta_3^2)}$$

Для сечения по черт. 6.2а применять ту же формулу, но в ней вместо  $\delta_4^2$  подставлять  $\delta_4^2 + \delta_5^2$ .

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬНОГО, ДОРОЖНОГО И КОММУНАЛЬНОГО  
МАШИНОСТРОЕНИЯ СССР

Приложение 8  
ОБЯЗАТЕЛЬНОЕ

Н П О В Н И С Т Р О Я Д О Р М А И

УТВЕРЖДЕМ

589.0241150.20100-04 31 01-лу

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЯ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН

САТР - КОНСТРУКЦИЯ

ПОДСИСТЕМА «МЕХАНИЗМ»

ПРОГРАММА РАСЧЕТА РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ  
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ НА ПРОЧНОСТЬ

НЕСИ1

ОПИСАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ

589.0241150.20100-04 31 01

ЛИСТОВ 35

А Н Н О Т А Ц И Я

ОПИСЫВАЕТСЯ ПРОГРАММА МЕСНІ, ПРЕДНАЗНАЧЕННАЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО И СТАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА МЕХАНИЗМОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ - ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЛОПАТЫ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО И ГРЕЙФЕРНОГО РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ.

ПРИВОДЯТСЯ СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ И ВХОДНЫХ ДАННЫХ. ОПИСЫВАЕТСЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ. ДАТА ВЫДАЧИ НАСТОЯЩЕЙ ВЕРСИИ ДОКУМЕНТА - 22.VII-87 Г.

## С О Д Е Р Ж А Н И Е

1. НАЗНАЧЕНИЕ ПРОГРАММЫ . . . . .	84
2. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ . . . . .	85
3. ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ . . . . .	85
4. ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ . . . . .	100
4.1. ОПИСАНИЕ ВХОДНЫХ ДАННЫХ . . . . .	100
4.2. ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ . . . . .	100
5. ИНСТРУКЦИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ. . . . .	102
5.1. ЗАПУСК ПРОГРАММЫ В ОС. . . . .	102
5.2. ЭКСПЛУАТАЦИЯ В СВИ. . . . .	102
5.3. СООБЩЕНИЯ ОБ ОШИБКАХ . . . . .	105
6. СОСТАВ И СТРУКТУРА ПРОГРАММЫ. . . . .	106
6.1. СОСТАВ ПОСТАВКИ ПРОГРАММЫ МЕСН1 . . . . .	108

## 1. НАЗНАЧЕНИЕ ПРОГРАММЫ

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ И СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МЕХАНИЗМОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ - ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЛОПАТЫ, ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО И ГРЕЙФЕРНОГО РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ, МЕХАНИЗМ РАССМАТРИВАЕТСЯ КАК ПЛОСКИЙ И СОСТОЯЩИЙ ИЗ ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННЫХ ЗВЕНЬЕВ. РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТСЯ ДЛЯ ВСЕВОЗМОЖНЫХ ЗАДАННЫХ СОЧЕТАНИЙ ДЛИН ГИДРОЦИЛИНДРОВ, ВЫЧИСЛЯЮТСЯ МАКСИМАЛЬНОЕ РЕАЛИЗУЕМОЕ УСИЛИЕ КОПАНИЯ, РЕАКЦИИ В ШАРНИРАХ И НАПРЯЖЕНИЯ В РАСЧЕТНЫХ СЕЧЕНИЯХ.

### ОГРАНИЧЕНИЯ:

МАКСИМАЛЬНОЕ ЧИСЛО ЗВЕНЬЕВ МЕХАНИЗМА	28
МАКСИМАЛЬНОЕ ЧИСЛО ИЗМЕНЯЕМЫХ ЗВЕНЬЕВ (ГИДРОЦИЛИНДРОВ)	3
МАКСИМАЛЬНОЕ ЧИСЛО РАСЧЕТНЫХ СЕЧЕНИЙ	28

## 2. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ

ПРОГРАММА НАПИСАНА НА ЯЗЫКЕ ФОРТРАН И ПРЕДНАЗНАЧЕНА ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ЕС ЭВМ. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРОГРАММЫ ВОЗМОЖНА ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ОС ЕС (НАЧИНАЯ С ВЕРСИИ 4.1 И ВЫШЕ) ИЛИ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ПОДСИСТЕМЫ ДИАЛОГОВОЙ ОБРАБОТКИ (ПДО) СИСТЕМЫ ВИРТУАЛЬНЫХ МАШИН (СВМ).

В НАСТОЯЩЕЙ РЕДАКЦИИ СИСТЕМНЫЕ ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ПДО НЕ ИСПОЛЗУЮТСЯ, И ДЛЯ ЕЕ ПЕРЕВОДА В ДРУГУЮ СРЕДУ ДОСТАТОЧНО ПЕРЕТРАНСЛЯЦИИ.

## 3. ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ

МЕХАНИЗМ РАССМАТРИВАЕТСЯ КАК ПЛОСКАЯ КОНСТРУКЦИЯ ИЗ  $M$  НЕДЕФОРМИРУЕМЫХ ТЕЛ (ЗВЕНЬЕВ), СОЧЛЕНЕННЫХ  $N$  ВРАЩАТЕЛЬНЫМИ КИНЕМАТИЧЕСКИМИ ПАРАМИ (ШАРНИРАМИ), ПРИЧЕМ  $3M \geq 2N$ . НЕКОТОРЫЕ ИЗ ЗВЕНЬЕВ (ГИДРОЦИЛИНДРЫ) ИМЕЮТ ИЗМЕНЯЕМУЮ ДЛИНУ. ЕСЛИ ДЛИНЫ ГИДРОЦИЛИНДРОВ ЗАДАНЫ, ТО МЕХАНИЗМ ИМЕЕТ ОДНОЗНАЧНО ОПРЕДЕЛЯЕМУЮ КОНФИГУРАЦИЮ И ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЮ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМУЮ КОНСТРУКЦИЮ.

РАСЧЕТ МЕХАНИЗМА СВОДИТСЯ К АВТОМАТИЧЕСКОМУ ПЕРЕБОРУ ВСЕВОЗМОЖНЫХ СОЧЕТАНИЙ ДЛИН ГИДРОЦИЛИНДРОВ ИЗ РАБОЧИХ ДИАПАЗОНОВ, ПРОХОДИМЫХ С ЗАДАНЫМ ШАГОМ, И ВЫЧИСЛЕНИЮ ПОЛОЖЕНИЯ МЕХАНИЗМА ПРИ КАЖДОМ СОЧЕТАНИИ. ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ МЕХАНИЗМ «РАЗЫМКАЕТСЯ» В ШАРНИРАХ С НОМЕРАМИ ОТ  $M+1$  ДО  $N$ , ЧТО ПРЕВРАЩАЕТ ЕГО В СТРУКТУРУ ТИПА ДЕРЕВА. ДАЛЕЕ

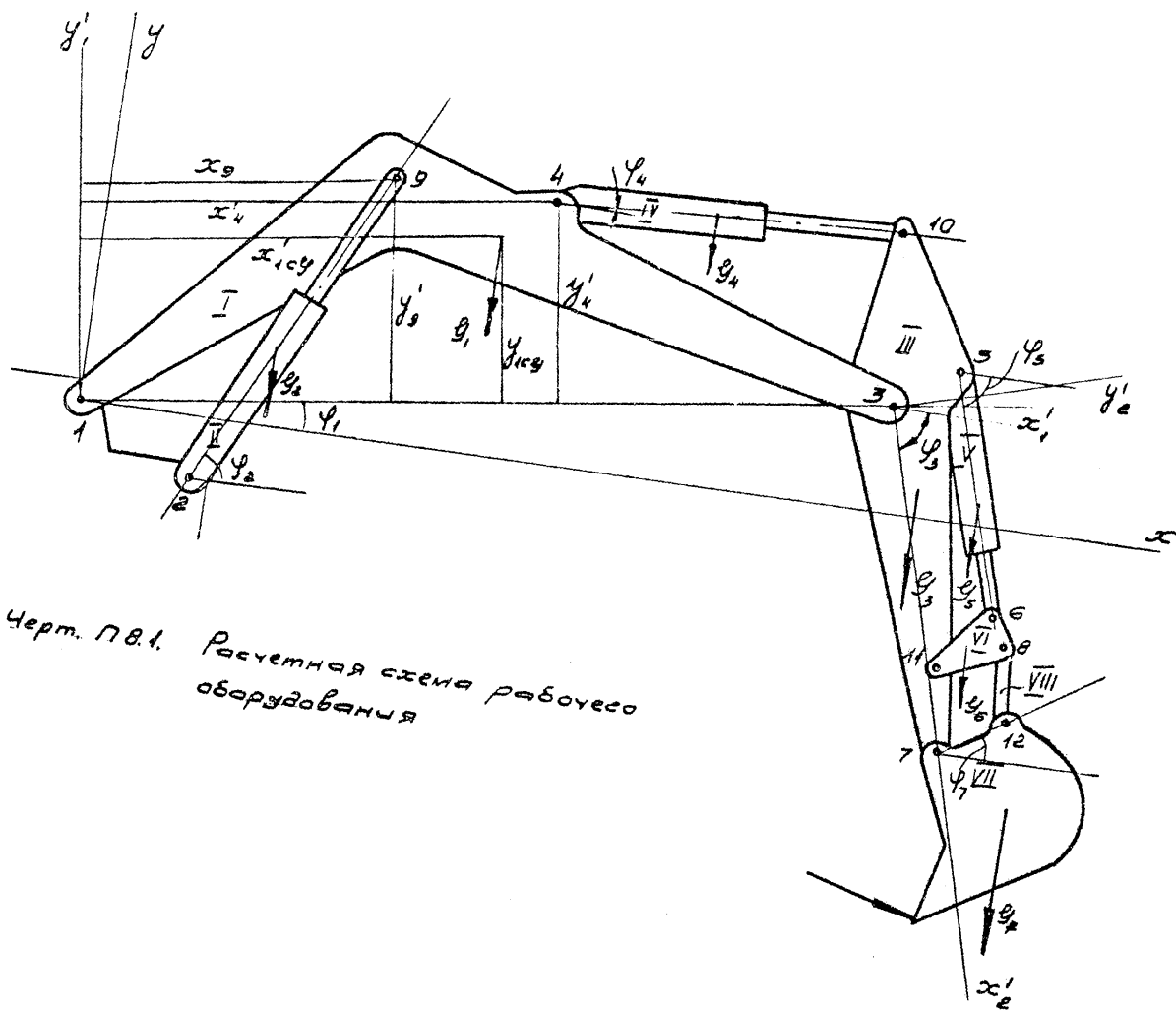
формируется функция, выражающая зависимость суммы квадратов расстояний между разомкнутыми точками от углового положения звеньев. Минимизация этой функции, т.е. сведение к нулю расстояний между разомкнутыми шарнирами, определяет положение механизма при заданных длинах гидроцилиндров. Для каждого вычисленного положения проводится статический расчет на единичные нагрузки, приложенные к концу зуба, и на нагрузки от собственного веса. На основании результатов этого расчета определяется максимальное усилие копания, которое может быть реализовано в заданном направлении исходя из заданного максимального давления в гидросистеме, настройки предохранительных клапанов, устойчивости экскаватора при копании. Рассматривается несколько возможных направлений усилия копания, которые отсчитываются от направления радиуса копания, т.е. прямой, проведенной из конца режущей кромки в шарнир ковша (при копании ковшом) или шарнир рукояти (при копании рукоятью). По найденному усилию копания вычисляются реакции в шарнирах механизма и далее — напряжения в расчетных сечениях. Подробное описание алгоритма см. в работе [1].

Подготовка исходных данных для расчета выполняется следующим образом:

- на чертеже механизма в произвольной последовательности числами от 1 до "n" нумеруются его звенья (черт.рв.1)

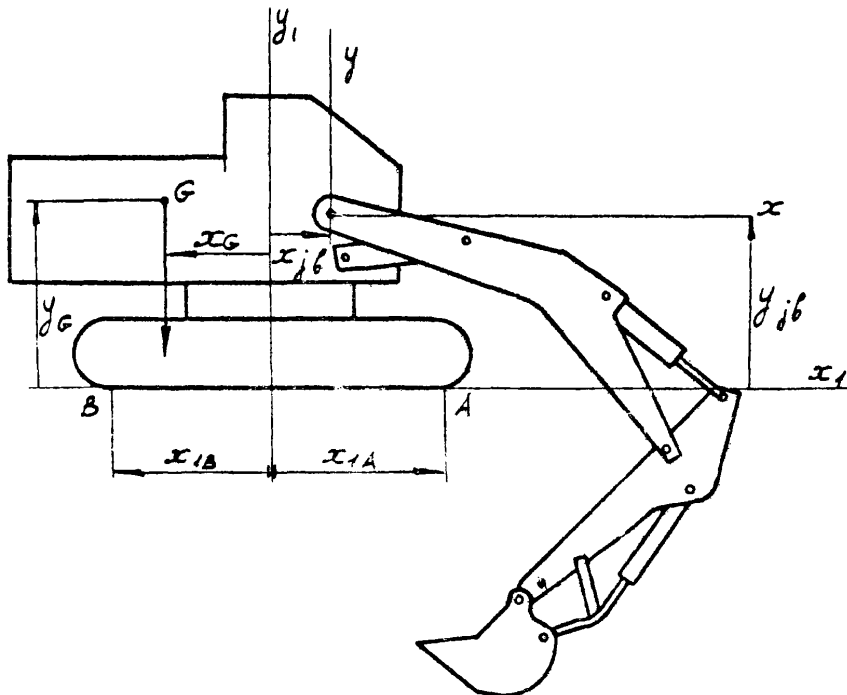
- на каждом звене выбирается шарнир, именуемый начальным. Ему присваивается номер, совпадающий с номером звена. В качестве начального шарнира звена, примыкающего к неподвижному основанию, выбирается опорный шарнир. Для ковша начальным является шарнир его крепления к рукояти, для рукояти —



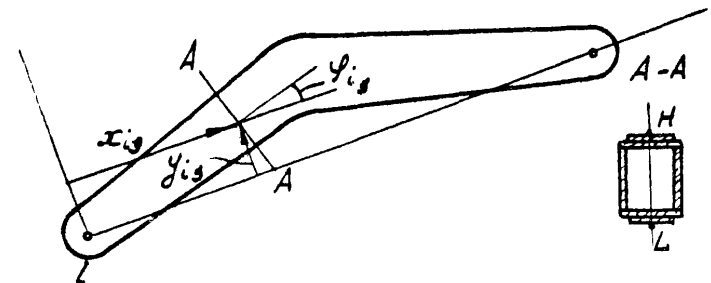


Черт. П.В.1. Расчетная схема рабочего оборудования

РА22-158-86 стр. 97

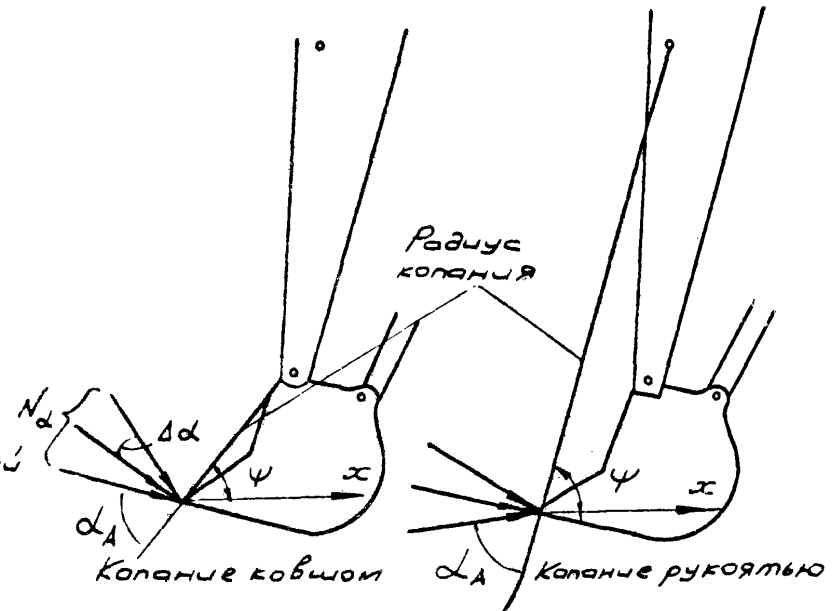


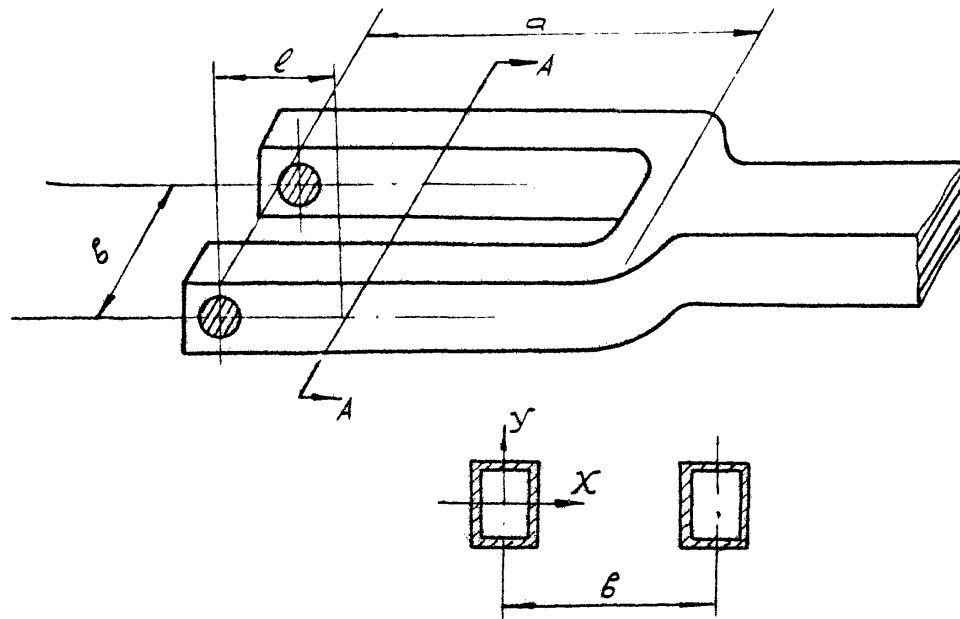
Черт. П8.2. Координаты опорных точек и центра масс машины



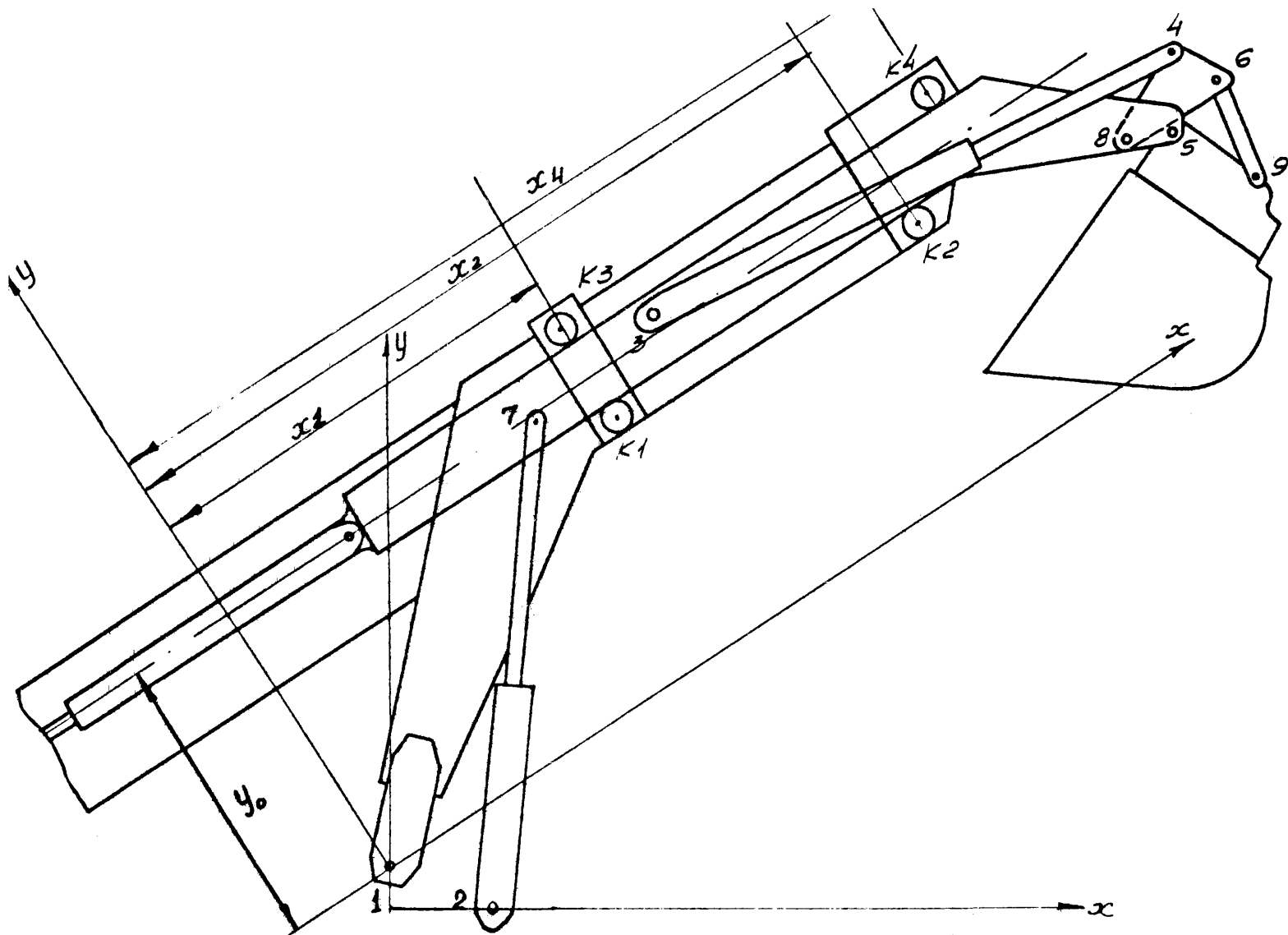
Черт. П.8.3 Координаты сечения

Черт. П8.4. Задание направлений усилия копания





Черт 178.3а. Вилка на конце элемента



Черт. П 8.5. Расчетная схема рабочего оборудования с телескопической стрелой

ШАРНИР КРЕПЛЕНИЯ РУКОЯТИ К СТУПЕ. ПРИ РАСЧЕТЕ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НАРУЖНАЯ И ВНУТРЕННЯЯ СТРЕЛЫ РАССМАТРИВАЮТСЯ КАК ЕДИНОЕ ЗВЕНО.

- ПРОЧИЕ ШАРНИРЫ НУМЕРУЮТСЯ ПРОИЗВОЛЬНЫМ ОБРАЗОМ ОТ "М" + 1' ДО "N'.

- ЧИСЛО ЗВЕНЬЕВ "M" И ЧИСЛО ШАРНИРОВ "N" ДОЛЖНЫ УДОВЛЕТВОРЯТЬ УСЛОВИЮ  $M + N = 2N'$ . ПРИ ЭТОМ НЕОБХОДИМО ИМЕТЬ В ВИДУ, ЧТО КОНСТРУКТИВНО ШАРНИРЫ МОГУТ БЫТЬ СОВМЕЩЕНЫ. В ЭТОМ СЛУЧАЕ КАЖДОМУ ИЗ СОВМЕЩЕННЫХ ШАРНИРОВ ПРИСВАИВАЕТСЯ ОТДЕЛЬНЫЙ НОМЕР.

- ВВОДИТСЯ ОБЩАЯ ДЕКАРТОВА ПРАВАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ "X" "Y". НАЧАЛО КОТОРОЙ РЕКОМЕНДУЕТСЯ ВЫБИРАТЬ В ШАРНИРЕ ПЯТИ СТРЕЛЫ.

- ДЛЯ КАЖДОГО ЗВЕНА ВВОДИТСЯ СОБСТВЕННАЯ ДЕКАРТОВА ПРАВАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ "X<sub>L</sub>" "Y<sub>L</sub>". НАЧАЛО ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЕЛАТЕЛЬНО (НО НЕ ОБЯЗАТЕЛЬНО) ВЫБИРАТЬ В НАЧАЛЬНОМ ШАРНИРЕ. ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ (ПО ЧЕРТЕЖУ ИЛИ РАСЧЕТОМ) КООРДИНАТЫ ВСЕХ ШАРНИРОВ, ДЕЛЯЩИХ НА ЗВЕНА, И КООРДИНАТЫ ЦЕНТРА МАСС ЗВЕНА.

- ПО СХЕМЕ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ, ИЗОБРАЖЕННОЙ В МАСШТАБЕ В ТОМ ПОЛОЖЕНИИ, С КОТОРОГО НАЧИНАЕТСЯ РАСЧЕТ, ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ УГЛЫ "P<sub>i</sub>" МЕЖДУ ОСЯМИ "X<sub>L</sub>" МЕСТНЫХ СИСТЕМ КООРДИНАТ ЗВЕНЬЕВ И ОСЬЮ "X". УГЛЫ ОТСЧИТЫВАЮТСЯ ОТ ОСИ "X" ПРОТИВ ЧАСОВОЙ СТРЕЛКИ.

- ВВОДИТСЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ "X<sub>1</sub>" "Y<sub>1</sub>". ОСЬ "X<sub>1</sub>" ПРОХОДИТ ГОРИЗОНТАЛЬНО НА УРОВНЕ СТОЯНКИ, ОСЬ "Y<sub>1</sub>" СОВПАДАЕТ С

ОСЬЮ ПОВОРОТНОЙ ПЛАТФОРМЫ (ЧЕРТ. П8.2 ). ПРИНИМАЕТСЯ, ЧТО ПРОДОЛЬНЫЙ УКЛОН ПОВЕРХНОСТИ СТОЯНКИ СОСТАВЛЯЕТ 5 ГРАДУСОВ.

• ВЫБИРАЮТСЯ РАСЧЕТНЫЕ СЕЧЕНИЯ ЭВЕНЬЕВ И ЗАДАЮТСЯ ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПОЛОЖЕНИЕ СЕЧЕНИЯ В ЭВЕНЕ ЗАДАЕТСЯ КООРДИНАТАМИ  $X_S$  ,  $Y_S$  ЦЕНТРА СЕЧЕНИЯ И УГЛОМ  $\varphi_S$  МЕЖДУ НОРМАЛЬЮ К СЕЧЕНИЮ И ОСЬЮ  $X_L$  (ЧЕРТ. П8.3 ) ДЛЯ КАЖДОГО СЕЧЕНИЯ ДОЛЖНЫ БЫТЬ ЗАДАНЫ: ПЛОЩАДЬ  $F$  , МОМЕНТЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗГИБУ В ПЛОСКОСТИ ТОЧЕЧЬ  $I_{Y1}$  И  $I_{Y2}$  , ДЛЯ КРАЙНИХ ВЕРХНЕЙ И НИЖНЕЙ ТОЧЕК СЕЧЕНИЯ, МОМЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗГИБУ ИЗ ПЛОСКОСТИ  $I_{XZ}$  И МОМЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ КРУЧЕНИЮ  $I_{XZ}$  .

ЕСЛИ КОНЦЕВОЙ УЧАСТОК ЭВЕНА ВЫПОЛНЕН В ВИДЕ «ВИЛКИ» (ЧЕРТ. П8.3А ) ТО РАСЧЕТ НАПРЯЖЕНИЯ МОЖЕТ БЫТЬ ПРОВЕДЕН В ПРЕДПОСЛОЖЕНИИ, ЧТО ЭТОТ УЧАСТОК РАБОТАЕТ НЕ КАК СПЛОШНОЕ, А КАК СОСТОЯЩИЙ ИЗ ДВУХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ РАБОК. В ЭТОМ СЛУЧАЕ ДОЛЖНЫ БЫТЬ ЗАДАНЫ МОМЕНТЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ  $I_{Y1}$  И  $I_{Y2}$  НА ТАКИЕ ШИРИНА ВИЛКИ  $B$  .









# МЕСН1

## РАСЧЕТ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ

ТАБЛ. 4

стр. 96 ДД.22-158.86

НРФ - НОМЕР КОВША В ОБЩЕЙ НУМЕРАЦИИ ЗВЕНЬЕВ

XF, YF - МЕСТНЫЕ КООРДИНАТЫ КОНЦА ЗУБА, М

VF - ЕМКОСТЬ КОВША, КУБ. М

ВСКТ - ПОЛОВИНА ШИРИНЫ КОВША, М

ВJ	XF	YF	VF	ВСКТ

XJB, YJB - КООРДИНАТЫ ПЯТЫ СТРЕЛЫ В СИСТЕМЕ X1, Y1, М

AMR - МОМЕНТ ДВИГАТЕЛЯ ПОВОРОТА, КН\*М

XJB	YJB	AMR

G - МАССА МАШИНЫ (БЕЗ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ), КГ

XG, YG - КООРДИНАТЫ ЦЕНТРА МАСС В СИСТЕМЕ X1, Y1, М

XA, YA - КООРДИНАТЫ СООТВЕТСТВЕННО ПЕРЕДНЕЙ И ЗАДНЕЙ ГРАНИЦ ОПОРНОГО КОНТУРА, М

G	XG	YG	XA	XB

KP - НОМЕР НАЧАЛЬНОГО ШАРНИРА РУКОЯТИ

KP1 - НОМЕР НАЧАЛЬНОГО ШАРНИРА СТРЕЛЫ

KP	KP1

BJ - РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ОПОРНЫМИ ПРОУШИНАМИ СТРЕЛЫ, М

BJ

FCT - КОЭФФИЦИЕНТ СЦЕПЛЕНИЯ ДВИЖИТЕЛЯ С ГРУНТОМ

F - МАКСИМАЛЬНАЯ ДЛИНА ЦИЛИНДРА КОВША, ПРИ КОТОРОЙ ПРОИЗВОДИТСЯ РАСЧЕТ КОПАНИЯ РУКОЯТЬЮ, М

FCT	F

ALF - НАЧАЛО ИНТЕРВАЛА НАПРАВЛЕНИЙ УСИЛИЯ КОПАНИЯ, ГРАД

DALF - ШАГ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЙ, ГРАД

NAL - КОЛИЧЕСТВО РАСЧЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ

ALF	DALF	NAL

КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕГРУЗКИ

AK1 - ВЕС МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ

AK2 - ВЕС ГРУНТА

AK3 - АКТИВНЫЕ УСИЛИЯ В ГИДРОЦИЛИНДРАХ

AK4 - РЕАКТИВНЫЕ УСИЛИЯ В ГИДРОЦИЛИНДРАХ

AK5 - МОМЕНТ ПРИВОДА ПОВОРОТА

AK1	AK2	AK3	AK4	AK5

### ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЙ

ОБЩЕЕ ЧИСЛО СЕЧЕНИЙ

NBU - HOMEР ЗВЕHA

XS,YS - КООРДИНАТЫ ЦЕНТРА СЕЧЕНИЯ В МЕСТНОЙ СИСТЕМЕ  
КООРДИНАТ, М

FS.- УГОЛ МЕЖДУ НОРМАЛЬЮ К СЕЧЕНИЮ И МЕСТНОЙ ОСЬЮ X, М

Q - ПЛОЩАДЬ СЕЧЕНИЯ, КВ. СМ

W<sub>H</sub>, W<sub>L</sub> - МОМЕНТЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗГИБУ В ПЛОСКОСТИ СХЕМЫ  
ДЛЯ ВЕРХНЕЙ И НИЖНЕЙ ТОЧЕК СЕЧЕНИЯ, КУБ. СМ

WZ - МОМЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗГИБУ ИЗ ПЛОСКОСТИ, КУБ. СМ

WT - МОМЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ КРУЧЕНИЮ, КУБ. СМ

ДЛЯ СЕЧЕНИЙ ТИПА ВИЛКИ:

$WU$  - МОМЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗГИБУ В ПЛОСКОСТИ, КУБ. СМ

WV - МОМЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗГИБУ ИЗ ПЛОСКОСТИ, КУБ. СМ

A - ДЛИНА ВИЛКИ, М

В - ШИРИНА ВИЛКИ, М

NEND - НОМЕР ШАРНИРА, К КОТОРОМУ ПРИМЫКАЕТ ВИЛКА

ПРИМЕЧАНИЯ. 1. ДЛЯ СЕЧЕНИЙ ТИПА Вилки Q, WH И WL ОТНОСЯТСЯ К ПОЛОВИНЕ СЕЧЕНИЯ.

2. ПОРЯДОК СЛЕДОВАНИЯ СЕЧЕНИЙ В ТАБЛИЦЕ ПРОИЗВОЛЕН.

[illegible][illegible]

ЧИСЛО ШАРНИРОВ НА ВНУТРЕННЕЙ СТРЕЛЕ



### НОМЕРА ШАРНИРОВ ВНУТРЕННЕЙ СТРЕЛЫ

--	--	--	--	--

NST1 - ЧИСЛО СЕЧЕНИЙ ВНУТРЕННЕЙ СТРЕЛЫ

ХК1, ХК2, ХК4, Y0 - КООРДИНАТЫ КАТКОВ В МЕСТНОЙ СИСТЕМЕ  
КООРДИНАТ СТРЕЛЫ, М (СМ. РИС.5)

INST1	XK1	XK2	XK4	Y0

### ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЙ ВНУТРЕННЕЙ СТРЕЛЫ (СМ. ТАБЛ.5)

[illegible]

ПРИМЕЧАНИЕ. ЗАПОЛНЯЕТСЯ ТОЛЬКО ДЛЯ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.

- ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ МИНИМАЛЬНОЕ И МАКСИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЯ ДЛИН КАЖДОГО ИЗ ИЗМЕНЯЕМЫХ ГИДРОЦИЛИНДРОВ И ЧИСЛО ШАГОВ, НА КОТОРОЕ РАЗБИВАЕТСЯ ИНТЕРВАЛ ДЛИН. В ПРОГРАММЕ ДОПУСКАЕТСЯ МАКСИМАЛЬНОЕ ЧИСЛО ИЗМЕНЯЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, РАВНОЕ ТРЕМ. ЕСЛИ ИХ ФАКТИЧЕСКОЕ ЧИСЛО МЕНЬШЕ, ТО ОНО ДОЛЖНО БЫТЬ ДОПОЛНЕНО ДО ТРЕХ ЭЛЕМЕНТАМИ, ИЗМЕНЯЕМЫМИ ФИКТИВНО. В КАЧЕСТВЕ ТАКОГО БЕРЕТСЯ ПРОИЗВОЛЬНОЕ НЕИЗМЕНЯЕМОЕ ЗВЕНО (ЖЕЛАТЕЛЬНО С ДВУМЯ ШАРНИРАМИ), ЕГО МАКСИМАЛЬНАЯ И МИНИМАЛЬНАЯ ДЛИНЫ ЗАДАЮТСЯ ОДИНАКОВЫМИ, А ЧИСЛО ШАГОВ РАВНЫМ НУЛЮ.

- ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ МАКСИМАЛЬНЫЕ АКТИВНЫЕ И РЕАКТИВНЫЕ УСИЛИЯ В ГИДРОЦИЛИНДРАХ. АКТИВНОЕ УСИЛИЕ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ РАБОЧИМ ДАВЛЕНИЕМ В ГИДРОСИСТЕМЕ, РЕАКТИВНЫЕ - НАСТРОЙКАМИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ КЛАПАНОВ. ЕСЛИ В КАКОЙ-ЛИБО ИЗ ПОЛОСТЕЙ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЙ КЛАПАН ОТСУТСТВУЕТ, ТО ДЛЯ ПОЛОСТИ ЗАДАЕТСЯ МАКСИМАЛЬНОЕ УСИЛИЕ, ДОПУСКАЕМОЕ ФОРМАТОМ ВХОДНЫХ ДАННЫХ (ДЛЯ ФОРМАТА F6.8 ЭТО 999999).

#### 4. ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ

##### 4.1. ОПИСАНИЕ ВХОДНЫХ ДАННЫХ

ФОРМАТЫ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ЗАПИСЕЙ ВХОДНЫХ ДАННЫХ ПРЕДСТАВЛЕНЫ В ТАБЛ. 1 - 6.

ДЛЯ ЦЕЛЫХ ЧИСЕЛ ПРИНЯТ ФОРМАТ I2. ДЛЯ ВСЕХ ВЕЩЕСТВЕННЫХ - F6.2. ПРИМЕР ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПРИВЕДЕН В ПРИЛОЖЕНИИ 1.

##### 4.2. ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ

ВЫПОЛНЕННЫЙ РАСЧЕТ ОФОРМЛЯЕТСЯ ПРОТОКОЛОМ, СОДЕРЖАЩИМ ТАБЛИЦЫ ВХОДНЫХ ДАННЫХ И ТАБЛИЦЫ РЕЗУЛЬТАТОВ. ОСНОВНОЙ ПРОТОКОЛ СОДЕРЖИТ ТАБЛИЦЫ МАКСИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ УСИЛИЙ В ШАРНИРАХ, ПРИВЕДЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В РАСЧЕТНЫХ СЕЧЕНИЯХ И НАГРУЗОК НА ПОВОРОТНУЮ ПЛАТФОРМУ, С УКАЗАНИЕМ СООТВЕТСТВУЮЩИХ ПОЛОЖЕНИЙ МЕХАНИЗМА И ВНЕШНИХ НАГРУЗОК ( ПРИЛОЖЕНИЕ 9, СТР. 1). ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ МОЖЕТ БЫТЬ ПОЛУЧЕН ПОДРОБНЫЙ ПРОТОКОЛ ( K2=1, СМ. ТАБЛ.1 ИСХОДНЫХ ДАННЫХ). ДЛЯ КАЖДОГО ПОЛОЖЕНИЯ МЕХАНИЗМА ОН СОДЕРЖИТ:

А) ЗНАЧЕНИЯ ДЛИН ЦИЛИНДРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ МЕХАНИЗМА, И КООРДИНАТЫ КОНЦА ЗУБА В СИСТЕМЕ ОТСЧЕТА, СВЯЗАННОЙ С МАШИНОЙ; УГОЛ МЕЖДУ ОСЬЮ 'Х', ПРОВЕДЕННОЙ ЧЕРЕЗ КОНЕЦ ЗУБА И РАДИУСОМ КОПАНИЯ,

Б) УГОЛ ' $\rho_{s1}$ ' МЕЖДУ РАДИУСОМ КОПАНИЯ И ОСЬЮ ' $x$ ', УГОЛ ' $\alpha$ ' МЕЖДУ СИЛОЙ РЕЗАНИЯ И РАДИУСОМ КОПАНИЯ, ВЕЛИЧИНУ СИЛЫ РЕЗАНИЯ;

В) УГЛЫ МЕЖДУ ОСЯМИ ' $x_L$ ' МЕСТНЫХ СИСТЕМ ОТСЧЕТА ЗВЕНЬЕВ И ОСЬЮ ' $x$ ';

Г) КООРДИНАТЫ ШАРНИРОВ В СИСТЕМЕ ' $x y$ ';

Д) ВЕЛИЧИНЫ И НАПРАВЛЕНИЯ УСИЛИЯ ВО ВСЕХ ШАРНИРАХ, НАПРАВЛЕНИЕ УСИЛИЯ ЗАДАЕТСЯ УГЛОМ, ОБРАЗУЕМЫМ ВЕКТОРОМ УСИЛИЯ С ОСЬЮ ' $x$ '. ДЛЯ ШАРНИРА С НОМЕРОМ ОТ 1 ДО ' $m$ ' БЕРЕТСЯ РЕАКЦИЯ В ШАРНИРЕ, ДЕЙСТВУЮЩАЯ НА ЗВЕНО С ТЕМ ЖЕ НОМЕРОМ; ДЛЯ ШАРНИРОВ С НОМЕРАМИ ОТ ' $m+1$ ' ДО ' $n$ ' - РЕАКЦИЯ, ДЕЙСТВУЮЩАЯ НА ВТОРОЕ ПО ПОРЯДКУ ЗВЕНО, СОДЕРЖАЩЕЕ ЭТОТ ШАРНИР.

Е) СОСТАВЛЯЮЩИЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ПРИВЕДЕННЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ЗАДАННЫХ РАСЧЕТНЫХ СЕЧЕНИЯХ. (СМ. ПРИЛОЖЕНИЕ 9, СТР. )

### 3. ИНСТРУКЦИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ.

НАСТОЯЩАЯ РЕДАКЦИЯ ПРОГРАММЫ ПРЕДПОЛАГАЕТ ПОДГОТОВКУ ВХОДНЫХ ДАННЫХ В ФАЙЛЕ ПЕРФОКАРТЧНОГО ФОРМАТА (ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ ФАЙЛЕ С НЕСБЛСКИРОВАННЫМИ ЗАПИСЯМИ ДЛИНОЙ 80 БАЙТ) ЛИБЫМ ДОСТУПНЫМ ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ СПОСОБОМ.

ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОГРАММЫ В ОС ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ ДОЛЖЕН БЫТЬ ЗНАКОМ С ПРАВИЛАМИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕКСТОВОГО РЕДАКТОРА И ЗАПУСКА ЗАДАНИЙ. ПРИ РАБОТЕ В СВМ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ПДО СЛЕДУЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ОЗНАКОМИТЬСЯ С ПРАВИЛАМИ СОЗДАНИЯ И РЕДАКТИРОВАНИЯ ФАЙЛОВ НА ДИСКАХ ПДО (?).

NR

#### 3.1. ЗАПУСК ПРОГРАММЫ В ОС.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ МОДУЛЯ В ОС ИМЕЕТ ВИД: //MECHJOB  
JOB //JOBLIB DD DSN=BBBBBB,UNIT=SYSDA, //  
VOL=SER=AAAAA,DISP=SHR // EXEC PGM=MECH1,REGION=122K  
//FT05F001 DD DDNAME=SYSIN //FT06F001 DD SYSOUT=A  
----- : ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ MECH1  
:

----- // ГДЕ AAAAA - ИМЯ  
ДИСКА, НА КОТОРОМ ХРАНИТСЯ БИБЛИОТЕКА BBBB, СОДЕРЖАЩАЯ  
МОДУЛЬ MECH1.

#### 3.2. ЭКСПЛУАТАЦИЯ В СВМ.



1. для пуска виртуальной машины (ВМ) нажать клавишу  
»ввод», затем ввести команду :

LOGON ИВМ ИВМ

ГДЕ »ИВМ» -ИДЕНТИФИКАТОР ВМ.

2. для работы с программой ввести команду:

МЕСМ ИМЯ

ГДЕ »ИМЯ» - произвольный набор длиной от 1 до 6  
символов латинского алфавита и цифр.

3. по этой команде автоматически вызывается текстовый  
редактор ХЕДИТ и экран дисплея подготавливается для создания  
нового файла »ИМЯ» DATA A. Если файл с таким идентификатором  
уже существует, то на экране появляется его текст, который

можно посмотреть и откорректировать, применяя описанные в  
(2) правила работы с текстовым редактором. Пользователь  
создает новый файл с исходными данными или, при необходимости,  
корректирует уже существующий.

4. после завершения редактирования файла исходных данных.  
на экране дисплея появляется сообщение о возможных продолже-  
ниях работы:

```

* * * * *
*      для выполнения расчета рабочего оборудования      *
*                               нажмите клавишу »ввод»,      *
*                               *                               *
*      для осуществления других действий введите          *
*      соответствующий номер!                               *
*                               *                               *
*      1 - корректировка или подготовка исходных данных   *
*      2 - окончание работы программы.                     *

```

ПРИ НАЖАТИИ КЛАВИШИ «ВВОД» ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ РАСЧЕТ РАБОЧЕГО  
ОБОРУДОВАНИЯ И ПЕРЕХОД К П.5

ПРИ ВВОДЕ ЧИСЛА «1» - ВОЗВРАТ К ВЫЗОВУ ТЕКСТОВОГО РЕДАК-  
ТОРА (П.3).

ПРИ ВВОДЕ ЧИСЛА «2» РАБОТА ПРОГРАММЫ ПРЕКРАЩАЕТСЯ.

5. ПО ЗАВЕРШЕНИИ РАСЧЕТА РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭКРАНЕ  
ВНОВЬ ПОЯВЛЯЕТСЯ СООБЩЕНИЕ О ВОЗМОЖНЫХ ДАЛЬНЕЙШИХ ДЕЙСТВИЯХ:

```
* * * * *
*      ОПРЕДЕЛИТЕ ДАЛЬНЕЙШИЕ ДЕЙСТВИЯ:      *
*      1 - ПРОСМОТР РЕЗУЛЬТАТОВ.              *
*      2 - ПЕЧАТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ.                *
*      3 - ПОВТОРНОЕ РЕДАКТИРОВАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ *
*      4 - ОКОНЧАНИЕ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ.        *
* * * * *
```

ПРИ ВВОДЕ ЧИСЛА «1» НА ДИСПЛЕИ ВЫВОДЯТСЯ РЕЗУЛЬТАТЫ  
РАСЧЕТА. ПРИ ПОМОЩИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КЛАВИШ ОБЕСПЕЧИВАЕТСЯ  
ПРОСМОТР ТЕКСТА НА ЭКРАНЕ: КЛАВИШЕЙ П#6 ОКНО ЭКРАНА СДВИГА-  
ЕТСЯ ВПЕРЕД, П#7 - НАЗАД, П#9 - ВЛЕВО, П#10 - ВПРАВО. ДЛЯ  
ЗАВЕРШЕНИЯ ПРОСМОТРА ВХОДНЫХ ДАННЫХ СЛЕДУЕТ НАЖАТЬ НА КЛАВИ-  
ШУ П#3, ПОСЛЕ ЧЕГО НА ЭКРАНЕ ВОССТАНАВЛИВАЕТСЯ ПЕРЕЧЕНЬ  
ВОЗМОЖНЫХ ДАЛЬНЕЙШИХ ДЕЙСТВИЙ.

ПРИ ВВОДЕ ЧИСЛА «2» РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ВЫВОДЯТСЯ НА  
ПЕЧАТЬ И СНОВА ВОССТАНАВЛИВАЕТСЯ ПЕРЕЧЕНЬ ВОЗМОЖНЫХ ДАЛЬНЕЙ-  
ШИХ ДЕЙСТВИЙ.

ПРИ ВВОДЕ ЧИСЛА »3» - ВОЗВРАТ К П.3 (ВЫЗОВ ТЕКСТОВОГО РЕДАКТОРА).

РАБОТА ПРОГРАММЫ ПРЕКРАЩАЕТСЯ ВВОДОМ ЧИСЛА »4». ЕСЛИ ОШИБКА В ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПРИВОДИТ К СБОЮ В РАБОТЕ ПРОГРАММЫ, ТО ПОЛЬЗОВАТЕЛЮ АВТОМАТИЧЕСКИ ПРЕДЛАГАЕТСЯ СОСТОЯНИЕ ПРОСМОТРА РЕЗУЛЬТАТОВ.

ПОСЛЕ ОКОНЧАНИЯ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ ФАЙЛ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ »ИМЯ» DATA А СОХРАНЯЕТСЯ, ФАЙЛ С РЕЗУЛЬТАТАМИ РАБОТЫ (»ИМЯ» LISTING A) УНИЧТОЖАЕТСЯ.

6. ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СЛЕДУЮЩЕГО РАСЧЕТА НУЖНО ВЕРНУТЬСЯ К П.2.

7. ПО КОМАНДЕ:

МЕСН1 ?

МОЖНО ПОЛУЧИТЬ КРАТКУЮ СПРАВКУ О ПРОГРАММЕ.

8. РАБОТА ВИРТУАЛЬНОЙ МАШИНЫ ЗАВЕРШАЕТСЯ КОМАНДОЙ

LOGOFF

И НАЖАТИЕМ КЛАВИШИ »ВВОД».

### 9.3. СООБЩЕНИЯ ОБ ОШИБКАХ

ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ ОШИБКИ В ИСХОДНЫХ ДАННЫХ В ВЫХОДНОЙ ФАЙЛ ВЫВОДИТСЯ СООБЩЕНИЕ. А ПОЛЬЗОВАТЕЛЮ АВТОМАТИЧЕСКИ ПРЕДЛАГАЕТСЯ СОСТОЯНИЕ ПРОСМОТРА РЕЗУЛЬТАТОВ (СМ. 5.1., П.5).

ТЕКСТЫ СООБЩЕНИЙ:

- ШАРНИР И РР ВСТРЕЧАЕТСЯ В ОПИСАНИИ НЕ 2 РАЗА, А ХХ.

КАЖДЫЙ ШАРНИР ДОЛЖЕН ВХОДИТЬ В ОПИСАНИЕ МЕХАНИЗМА ТОЧНО 2 РАЗА. ПРИ НАРУШЕНИИ ЭТОГО УСЛОВИЯ ПЕЧАТАЮТСЯ ТАБЛИЦЫ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И УКАЗАННОЕ СООБЩЕНИЕ, ПОСЛЕ ЧЕГО РАБОТА ПРОГРАММЫ ПРЕКРАЩАЕТСЯ.

• В НАЧАЛЬНОМ ПОЛОЖЕНИИ МЕХАНИЗМ НЕ СОБИРАЕТСЯ. ПРОВЕРИТЬ РАЗМЕРЫ ИЛИ ИЗМЕНИТЬ НАЧАЛЬНЫЕ УГЛЫ.

ПЕЧАТАЮТСЯ ТАБЛИЦЫ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И КООРДИНАТЫ ШАРНИРОВ В ОБЯЗН СИСТЕМЕ ОТСЧЕТА В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ  $x(1), y(1), \dots, x(m), y(m), x(m+1), y(m+1), \dots, x(n), y(n)$ . ЗАТЕМ ПЕЧАТАЮТСЯ КООРДИНАТЫ  $x(m+1), y(m+1), \dots, x(n), y(n)$ , ПОСЛЕ ЧЕГО РАБОТА ПРОГРАММЫ ПРЕКРАЩАЕТСЯ. СРАВНЕНИЕ КООРДИНАТ  $x, y$  И  $x, y$  РАЗНЫХ ШАРНИРОВ ПОМОГАЕТ УСТАНОВИТЬ ПРИЧИНУ ПРЕКРАЩЕНИЯ СЧЕТА.

• ПОСЛЕ ОЧЕРЕДНОГО ИЗМЕНЕНИЯ ДЛИН МЕХАНИЗМ НЕ СОБИРАЕТСЯ. ПРОВЕРИТЬ ДИАПАЗОНЫ ДЛИН ЦИЛИНДРОВ.

НА ПЕЧАТЬ ВЫВОДЯТСЯ ТЕ ЖЕ ДАННЫЕ, ЧТО И ПОСЛЕ ПРЕДЫДУЩЕГО СООБЩЕНИЯ. В ЭТОМ СЛУЧАЕ ИСТОЧНИКОМ ОШИБКИ МОЖЕТ БЫТЬ ТОЛЬКО СЛИШКОМ БОЛЬШОЕ (ИЛИ СЛИШКОМ МАЛОЕ) ПРЕДЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛИНЫ КАКОГО-ЛИБО ЦИЛИНДРА; КАКОГО ИМЕННО - ЛЕГКО ОПРЕДЕЛИТЬ ПО КООРДИНАТАМ РАЗНЫХ ШАРНИРОВ.

## 6. СОСТАВ И СТРУКТУРА ПРОГРАММЫ.

ПРОГРАММА НАПИСАНА НА ЯЗЫКЕ ФОРТРАН И СОСТОИТ ИЗ ОДНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО МОДУЛЯ MESH1 MODULE.

ПРОЦЕДУРЫ, ВХОДЯЩИЕ В СОСТАВ ПРОГРАММЫ, ИМЕЮТ СЛЕДУЮЩЕЕ НАЗНАЧЕНИЕ:

- MECH1 ВЪЗОВ ПРОЦЕДУР INOUT, TRENUM, COREX, EARTH, STEGV, SULAN. ПЕРЕБОР ЗАДАНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ МЕХАНИЗМА.
- INOUT ВВОД ИСХОДНЫХ ДАННЫХ, ВЫВОД ТАБЛИЦ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ НА ПЕЧАТЬ.
- TRENUM АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ МЕХАНИЗМА, ВЪЗОВ ПРОЦЕДУРЫ TREE1. ПЕРЕНУМЕРАЦИЯ ШАРНИРОВ.
- TREE1 ОБРАЗОВАНИЕ МАТРИЦЫ СВЯЗЕЙ.
- COREX ВЪЗОВ ПРОЦЕДУРЫ ASDNN, ВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ УЗЛОВ И НАПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАНИЗМА ПРИ ЗАДАНЫХ ДЛИНАХ ГИДРОЦИЛИНДРОВ. ВЫВОД РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ МЕХАНИЗМА НА ПЕЧАТЬ.
- EARTH ВЫЧИСЛЕНИЕ МАССЫ ГРУНТА В КОВШЕ.
- STEGV ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИЙ В ШАРНИРАХ МЕХАНИЗМА ОТ ВЕСА КОНСТРУКЦИИ И ОТ ВЕРТИКАЛЬНОЙ И ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ЕДИНИЧНЫХ НАГРУЗОК, ПРИЛОЖЕННЫХ К КРЮКЕ КОВША.
- SULAN ВЪЗОВ ПРОЦЕДУР CNSTR, TELES, SIGMA, INTAR, EXTAB; ВЫЧИСЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО РЕАЛИЗУЕМОГО УСИЛИЯ РЕЗАНИЯ ГРУНТА, ВЫЧИСЛЕНИЕ УСИЛИЙ В ШАРНИРАХ И НАПРЯЖЕНИЙ В ЗАДАНЫХ СЕЧЕНИЯХ, ВЫВОД НА ПЕЧАТЬ ПОЛНОГО ПРОТОКОЛА РАСЧЕТА; НАХОЖДЕНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ УСИЛИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ
- ASDNN ВЪЗОВ ПРОЦЕДУР SOMFO, MCHV; МИНИМИЗАЦИЯ ФУНКЦИИ НЕ-

ТОДОМ НЬЮТОНА ВТОРОГО ПОРЯДКА.

CNSTЯ    ВЫЧИСЛЕНИЕ УСИЛИЯ КОПАНИЯ, СООТВЕТСТВУЮЩЕГО МАКСИМАЛЬНОМУ УСИЛИЮ В ЦИЛИНДРЕ ВЫДВИЖЕНИЯ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ СТРЕЛЫ.

TELES    ВЫЧИСЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО УСИЛИЯ КОПАНИЯ ДЛЯ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ.

SIGMA    ВЫЧИСЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В СРЕДНИХ ЭЛЕМЕНТАХ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ.

INTAR    ВЫЧИСЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В СЕЧЕНИЯХ ВНУТРЕННЕЙ СЕКЦИИ СТРЕЛЫ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И РЕАКЦИЯ В ОПОРАХ ВНУТРЕННЕЙ СЕКЦИИ.

EXTAB    ПЕЧАТЬ ТАБЛИЦ СОКРАЩЕННОГО ПРОТОКОЛА, СОДЕРЖАЩИХ МАКСИМУМЫ УСИЛИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ.

COMFD    ВЫЧИСЛЕНИЕ ФУНКЦИИ (СУММЫ КВАДРАТОВ РАСТОЯНИЙ МЕЖДУ РАЗОМКНУТЫМИ ШАРНИРАМИ) И ЕЕ ПЕРВЫХ И ВТОРЫХ ПРОИЗВОДНЫХ.

MSNB    СТАНДАРТНАЯ ПРОЦЕДУРА ОБРАЩЕНИЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНО ОПРЕДЕЛЕННОЙ МАТРИЦЫ.

#### 6.1. СОСТАВ ПОСТАВКИ ПРОГРАММЫ MESHI

ФАЙЛЫ:

МЕСН1 MODULE - ЗАГРУЗОЧНЫЙ МОДУЛЬ;

МЕСН1 FORTRAN- ТЕКСТ ПРОГРАММЫ;

ЕВ5124 DATA - ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ КОНТРОЛЬНОГО ПРИМЕРА.

ДОКУМЕНТАЦИЯ:

МСН00 LISTING - СПЕЦИФИКАЦИЯ

МСН12 LISTING - ОПИСАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ

МСН31 LISTING - ТЕКСТ ПРОГРАММЫ

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОЧНЫХ ДОКУМЕНТОВ

1. МАЛИНОВСКИЙ Е.О., ЗАРЕЦКИЙ Л.Б., БЕРЕНГАРД Ю.Г. И  
ДР. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ  
МАШИН НА ЭВМ. М., «МАШИНОСТРОЕНИЕ», 1980. С.216.
2. ЕС ЭВМ. СЭМ. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ В ЛДО.  
РУКОВОДСТВО ПРОГРАММИСТА. 0241150,60002-01 33 01.

ПРИМЕР РАСЧЕТА

ПРОВОДИТСЯ РАСЧЕТ МЕХАНИЗМА РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ОБРАТ-  
НОЙ ЛОПАТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА 30-5124 (ЧЕРТ. П9.1 )

МЕХАНИЗМ СОСТОИТ ИЗ 3 ЗВЕНЬЕВ, СОЕДИНЕННЫХ 12 ЧАРНИРАМИ.  
ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ ПРОИЗВОДИТСЯ ПО 9 СЕЧЕНИЯМ СТРЕЛЫ И РУКО-  
ЯТИ, ОДНО ИЗ КОТОРЫХ ( 9-Е ) ЯВЛЯЕТСЯ СЕЧЕНИЕМ ВИЛКА.  
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ЗАПИСАНЫ В ФАЙЛ E05124.DAT А1. РАСПЕЧАТКА  
ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПРИВЕДЕНА НА СТР. . РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА  
СОДЕРЖАТСЯ В ПРИЛОЖЕНИИ 9.



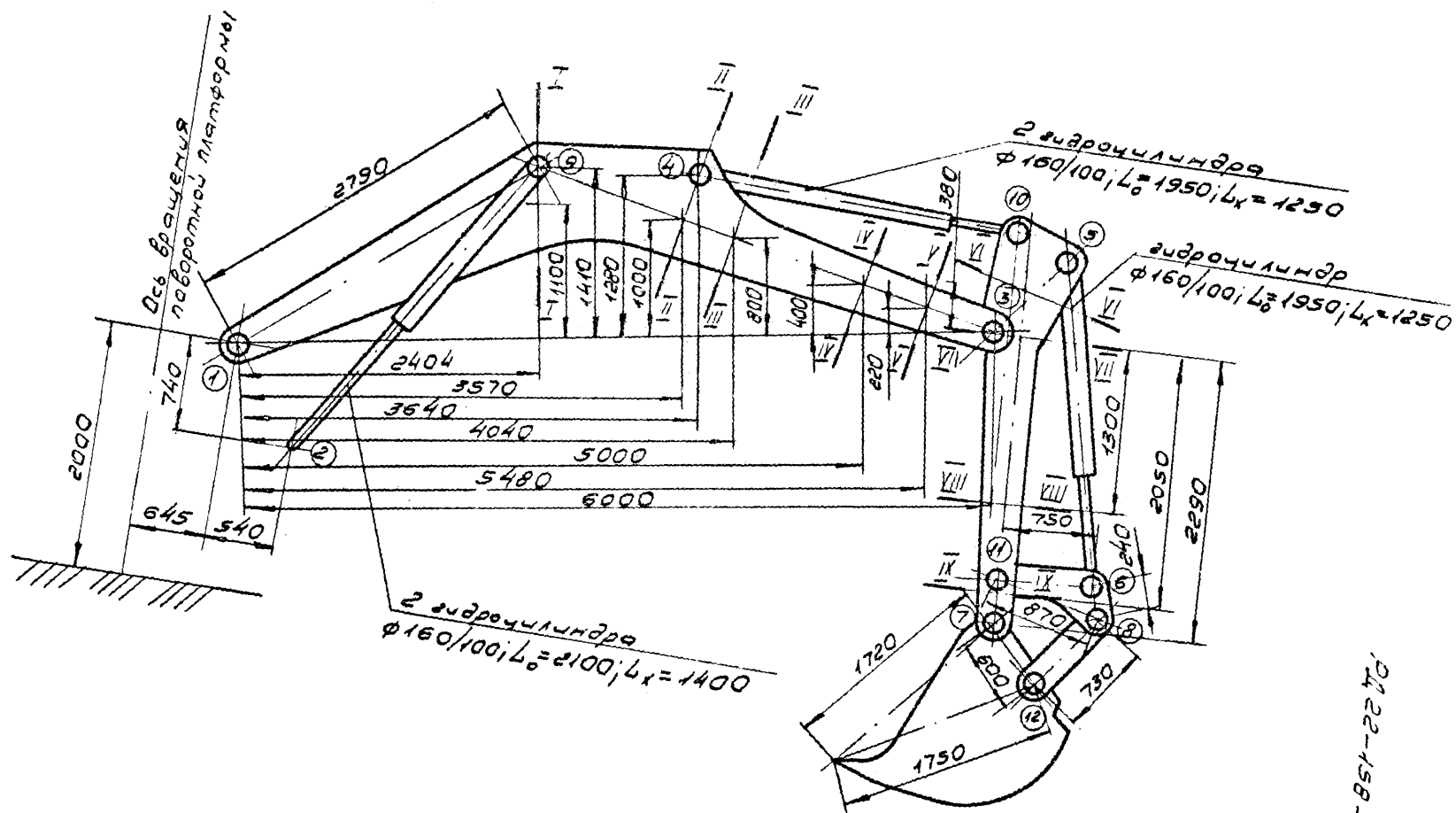


Рис. П 9. 1

0422-158-86 Спр. 111

20-5124

О.И. ГРИЦЕВЦ

1.0 ОБР, ЛОПАТА; ПРОТОКОЛ(0-ПОЛНУР)

812 2 5

1 0 0 ОПОРНЫЕ ШАРНИРЫ

2 .54 -.74

4 ЗВЕНО 1

1 0 0

3 6 0

4 3.64 1.28

9 2.4 1.41

2.94 .8 3210

2 ЗВЕНО 2

2 0 0

9 2.1 0

1.85 0 770

5 ЗВЕНО 3

3 0 0

5 -.645 .498

7 2.29 .22

10 -.79 .128

11 1.95 .242

.7 .2 1250

2 ЗВЕНО 4

4 0 0

10 1.95 0

.975 0 600

2 ЗВЕНО 5

5 0 0

6 1.95 0

.975 0 300

3 ЗВЕНО 6<sup>1</sup>

6 0 0

8 .24 0

11 -.285 -.693

-.38 -.2 100

2 ЗВЕНО 7

7 0 0

12 .6 0

.6 -.6 1000

2 ЗВЕНО 8

8 0 0

12 .73 0

.365 0 70

-.50 -.5 -.86 -.78 -.84 -.4 25.6 -.92

5 2.40 1.95 1 ЦИЛИНДР КОВША

551.6 99999 99999

4 3.15 1.95 2 ЦИЛИНДР РУКОЯТИ

1123.31260.9 760.4

2 3.3 2.1 2 ЦИЛИНДР СТРЕЛЫ

1123.31260.9 760.3

7 .2 -1.7 1.6 .772 КОРМ

.645 2 90 КООРД. ПЯТИ СТРЕЛЫ. МОМЕНТ

30375 -1 1.20 2.03 -2.03 БАЗОВАЯ МАШИНА

3 1 ЧИ ЦАРНИРОВ РУКОЯТИ И СТРЕЛЫ

1 РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ПРОУШИНАМИ СТРЕЛЫ

.66 2.9 КОЭФ. СЦЕПЛЕНИЯ; МАКС ДЛИНА ЦИЛ. КОВША

7828.2 НАЧ. УГОЛ СИЛЫ РЕЗАНИЯ. ШАГ, ЧИСЛО ШАГОВ

1.1 1.2 1.1 1.2 1.1 КОЭФ-ТЫ ПЕРЕГРУЗКИ

9 РАСЧЕТНЫЕ СЕЧЕНИЯ

1 2.424 1.1 0 328.8 11527 12582 6270 14923

1 3.57 1 -21.3 456.5 9937 8623 8641 8731

1	4.84	.8	-21.3	333.6	5211	6346	6609	8078
1	5	.4	-21.3	421.5	6126	5803	7914	6707
1	5.48	.22	-21.3	579.9	5852	5777	11932	5352
3	- .38	.17	-25.8	363.3	2978	3217999999999999		
3	8	.12	8	222.2	3776	3199	3812	5171
3	1.3	.15	8	195.7	2286	2477	2611	3688

#### ВХОДНОЙ ПРОТОКОЛ РАСЧЕТА РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

В НАСТОЯЩЕМ ПРИЛОЖЕНИИ СОДЕРЖИТСЯ ПРОТОКОЛ РАСЧЕТА РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ОБРАТНОЙ ЛОПАТЫ ЭКСКАВАТОРА 30-5124, ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ КОТОРОГО ПРИВЕДЕНЫ НА СТР.106-107. НА СТР.128 СОКРАЩЕННЫЙ ПРОТОКОЛ, В КОТОРЫЙ ВКЛЮЧЕНЫ ТОЛЬКО ТАБЛИЦЫ МАКСИМУМОВ УСИЛИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ. НА СТР.111 ПРИВЕДЕН ФРАГМЕНТ ПОЛНОГО ПРОТОКОЛА.

МЕСНІ

## РАСЧЕТ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ

ВНИИСТРОЙДОРНАШ

НАИМЕНОВАНИЕ И МАРКА МАШИНЫ 90-5124  
 ТИП ОБОРУДОВАНИЯ ОБРАТНАЯ ЛОПАТА  
 РАСЧЕТ ПРОВЕЛ О.И. ГРИЦЕВ

## РАСЧЕТНАЯ СХЕМА

N ЗВЕНА	НАЧАЛЬН. УГОЛ, ГРАД.	ИЗМЕНЯЕМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ			ЧИСЛО ШАРНИРОВ УЗЛА	N	МЕСТНЫЕ КООРДИНАТЫ, М		МЕСТНЫЕ КООРД. ЦЕНТРА МАСС, М		МАССА, КГ	МАКСИМАЛЬНЫЕ УСИЛИЯ В ЦИЛИНДРАХ, КН				
		НАКЛ. ДЛИНА М	НИЖ. ДЛИНА М	ЧИСЛО ШАГОВ			НА ЗВЕНЕ	X	Y	XМС		YМС	АКТИВНОЕ	РЕАКТИВНОЕ		
														В ПОРМН. ВН ПОЛО- СТИ	В ИТОГЕ- ВН ПОЛО- СТИ	
2					2	1	0.0	0.0								
1	-50.0				4	2	0.540	-0.740								
						1	0.0	0.0	2.940	0.000	3210					
						3	6.000	0.0								
						4	3.640	1.260								
						9	2.400	1.410								
2	-5.0	3.300	2.100	3	2	2	0.0	0.0	1.050	0.0	770	1103	1260	768		
						9	2.100	0.0								
3	-86.0				5	3	0.0	0.0	0.700	0.200	1250					
						5	-0.645	0.490								
						7	2.290	0.220								
						10	-0.790	0.120								
						11	1.950	0.242								
						4	0.0	0.0	0.975	0.0	600	1103	1260	768		
4	-70.0	3.150	1.950	4	2	10	1.950	0.0								
						5	0.0	0.0	0.975	0.0	300	551	99999	99999		
5	-84.0	2.050	1.950	4	2	6	1.950	0.0								
						6	0.0	0.0	-0.050	-0.200	100					
						8	0.240	0.0								
6	-4.0				3	11	-0.205	-0.693								
						7	0.0	0.0	0.600	-0.600	1900					
7	25.6				2	12	0.600	0.0								
						8	0.0	0.0	0.365	0.0	70					
8	-92.0				2	12	0.730	0.0								

НОМЕР ШАРНИРА КРЕПЛЕНИЯ КОВША  
 ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ КООРДИНАТЫ КОНЦА ЗУБА X<sub>F</sub>, Y<sub>F</sub>, М

7  
 0.200  
 -1.700  
 1.600  
 0.772

ЕМКОСТЬ КОВША, М<sup>3</sup>  
 ПОЛОВИНА ШИРИНЫ КОВША, М

РА 22-158-86 стр. 115

КООРДИНАТЫ ПЯТИ СТРЕЛЫ (ОСЬ X - НА УРОВНЕ СТОЯНКИ,  
ОСЬ Y - ОСЬ ПОВОРОТНОЙ ПЛАТФОРМЫ), М

МАССА МАШИНЫ, МГ

КООРДИНАТЫ ЦЕНТРА МАСС МАШИНЫ X, Y, М

РАССТОЯНИЕ ОТ ПЕРЕДНЕЙ ОПОРНОЙ ТОЧКИ ДО ОСИ Y, М

РАССТОЯНИЕ ОТ ЗАДНЕЙ ОПОРНОЙ ТОЧКИ ДО ОСИ Y, М

НОМЕР ШАРНИРА КРЕПЛЕНИЯ РУКОВТИ

НОМЕР ШАРНИРА КРЕПЛЕНИЯ СТРЕЛЫ

ШИРИНА ПЯТИ СТРЕЛЫ, М

КОЭФФИЦИЕНТ СЦЕПЛЕНИЯ С ГРУНТОМ

МАКС. ДЛИНА ЦИЛИНДРА КОША ПРИ КОПАНИИ РУКОЯТЬЮ

МОМЕНТ МЕХАНИЗМА ПОВОРОТА, КНМ

НАЧАЛО ИНТЕРВАЛА УГЛОВ МЕЖДУ РАДИУСОМ  
КОПАНИЯ И НАПРАВЛЕНИЕМ УСИЛИЯ РЕЗАНИЯ, ГРАД

ШАГ УГЛА, ГРАД

ЧИСЛО ШАГОВ

0.645  
2.330  
30375.  
-1.200  
1.290  
2.330  
-2.330  
3  
1  
1.000  
0.660  
2.920  
90.000  
70  
20  
2

## ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕГРУЗКИ

N	НАГРУЗКА	K
1.	ВЕС МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЯ	1.10
2.	ВЕС ГРУНТА В КОШЕ	1.20
3.	АКТИВНЫЕ УСИЛИЯ В ГИДРОЦИЛИНДРАХ	1.10
4.	РЕАКТИВНЫЕ УСИЛИЯ В ГИДРОЦИЛИНДРАХ	1.20
5.	МОМЕНТ ПРИВОДА ПОВОРОТА	1.10

## ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЯ

N	N	X, М	Y, М	Р1	Р	ИИ ИЛИ ИИ	ИЛ ИЛИ ИИ	ИЗ, СМ003	ИИ, СМ003	ИИИ
СЕЧЕНИЯ	ТЕЛА			ГРАД.	СМ002	СМ003	СМ003	ИЛИ А, Р	ИЛИ Р, М	ИИИ
1	1	2.404	1.100	0.0	329.	11527.	17582.	6270.	14923.	0.
2	1	3.573	1.000	-21.300	457.	9957.	8683.	8641.	8731.	0.
3	1	4.040	0.800	-21.300	334.	5211.	6346.	6649.	8978.	0.
4	1	5.000	0.400	-21.300	422.	6.26.	5603.	7914.	6707.	0.
5	1	5.450	0.220	-21.300	580.	5052.	5777.	11932.	5352.	0.
6	3	-0.300	0.170	-25.200	363.	2970.	3217.	99999.	99999.	0.
7	3	0.0	0.120	0.0	222.	3776.	3199.	3012.	5171.	0.
8	3	1.300	0.150	0.0	196.	2206.	2477.	2011.	3600.	0.
9	3	2.050	0.165	0.0	116.	775.	979.	0.	1.	7.

## RECEIVED

РАСЧЕТ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ

**ВЫИСТРОААОРНАМ**

### РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕНИЙ В РАСЧЕТНЫХ СЕЧЕНИЯХ

№ ЭЛЕМЕНТ РАБОЧ. ОБОРУД.	ДЛИНЫ ГИДРОЦИЛИНДРОВ, М	КОординаты КОНЦА ЗУБА, М	АКТ, МЦИ-ЛИНДР	СИЛА РЕЗАНИЯ, ОГР, ПСИ	АЛФА, АЛФА, РАД	ИЗГИБ В ПЛОСК.	НА П Р Я Ж Е Н И Я ПЛ, РАСТЯЖ., СЖАТИЕ	ИЗГИБ ИЗ ПЛОСК.	КРУЧЕНИЕ ИЗ НАПРЯЖ.	ПРИВЕД.					
1. СТР.	2.850	2.250	2.500	4.878	-3.213	РУК	ПРОС	66.	70.	272.	104.79	-9.05	43.08	10.17	149.17
2. СТР.	2.400	2.550	2.500	4.440	-3.713	РУК	СТР	63.	70.	243.	100.51	-30.05	27.19	27.39	162.41
3. СТР.	2.625	2.350	2.500	4.031	-3.201	РУК	РУК	54.	70.	266.	125.56	-44.29	37.24	22.72	100.79
4. СТР.	2.625	2.550	2.500	4.031	-3.201	РУК	РУК	54.	70.	266.	64.31	-35.06	27.07	27.27	135.73
5. СТР.	2.850	2.250	2.500	4.878	-3.213	РУК	ПРОС	66.	70.	272.	37.26	-24.20	16.48	36.30	96.63
6. РУК.	2.400	3.150	2.900	3.674	-0.204	КОВШ	РУК	20.	70.	210.	114.09	-48.15	0.10	0.10	154.41
7. РУК.	2.850	2.550	2.500	4.037	-2.482	РУК	РУК	44.	90.	277.	106.98	-44.43	94.51	45.12	296.41
8. РУК.	1.950	2.050	2.500	4.328	-3.647	РУК	РУК	61.	70.	235.	71.06	-43.43	62.29	45.46	100.67
9. РУК.	2.050	2.550	2.900	5.444	-0.608	РУК	ПРОС	69.	90.	290.	151.04	43.42	0.0	0.0	194.46

### УСИЛИЯ В ШАРНИРАХ

№	ДЛИНА ГИДРОЦИЛИНДРОВ	КОординАТЫ	АКт.	АКт.	СИЛА РЕЗАНИЯ	МАКСИМ.	НАПРАВЛ.
	М	КОнЦА ЗУБА	М:ШИ-	ОГР.	PSI, ALFA	PВ	УСИЛИЕ,
	КОВША:РУКОВЯТИ:	СТРЕЛЫ:	Х	У	ЛИНАР	ГРАД:ГРАД:	КН
							ОСИ X, GP
1:	2.850	2.550	3.300	6.147	1.959:	КОВШ	КОВШ:
2:	2.850	2.850	3.300	4.895	2.031:	КОВШ	КОВШ:
3:	2.525	1.950	2.100	3.792	-6.100:	КОВШ	РУК
4:	2.400	3.150	3.300	4.361	1.530:	КОВШ	РУК
5:	1.950	2.050	2.900	6.307	-1.533:	РУК	СТР
6:	1.950	2.050	2.900	6.307	-1.533:	РУК	СТР
7:	1.950	2.050	3.300	7.379	1.674:	РУК	РУК
8:	1.950	2.050	2.900	6.307	-1.533:	РУК	СТР
9:	2.050	2.050	3.300	4.895	2.031:	КОВШ	КОВШ:
10:	2.625	1.950	2.100	3.792	-6.100:	КОВШ	РУК
11:	2.050	2.550	2.900	5.444	-0.600:	РУК	ПРСК
12:	1.950	2.050	2.900	6.307	-1.533:	РУК	СТР

### НАГРУЗКИ НА ПОВОРОТНУЮ ПЛАТФОРМУ

- 1 - МАКСИМУМ МОДУЛЯ УСИЛИЯ В ПРОУШИНЕ  
2 - МАКСИМУМ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ  
3 - МАКСИМУМ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ.

ДЛИНЫ ГИДРОЦИЛИНДРОВ, М		КООРДИНАТЫ КОНЦА ЗУБА, М		СИЛА РЕЗАНИЯ PSI; ALFA; PG		БОКОВАЯ СИЛА, КН		РЕАКЦИИ В СПОРАХ СТРЕЛЫ, КН				РЕАКЦИЯ МЕХАНИЗМА ПОВОРОТА СТРЕЛЫ, КН			
КОВША	РУКОЯТИ	СТРЕЛЫ	X	Y	ГРАД	ГРАД	КН	КН	X	Y	X	Y	RX	RY	
1:	2.050	2.550	3.300	6.147	1.959	57.	90.	167.	16.11	310.65	740.05	130.94	404.67	-301.49	-1342.04
2:	2.50	2.550	2.500	3.837	-2.482	3.	90.	149.	25.00	436.99	309.72	229.92	-102.80	-059.90	-459.02
3:	2.050	2.550	3.300	6.147	1.959	57.	90.	167.	16.11	310.65	740.05	130.94	404.67	-301.49	-1342.04

PA-22-158-86 CTP.117

ДЛИНЫ ЦИЛИНДРОВ:  $L_1 = 1.950$   $L_2 = 1.950$   $L_3 = 2.100$  КООРДИНАТЫ ЗУБА:  $x = 5.732$   $y = -6.297$

НАПРАВЛЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ

АБС. КООРД. X	ЦЕНТРОИД	-49.3	-4.4	-82.3	-49.8	-84.8	-5.9	24.4	-94.6		
АБС. КООРД. Y	ЦЕНТРОИД	2.8	2.548	3.912	3.344	4.398	4.565	4.287	4.887	2.834	4.816
		4.213	4.748								
		2.8	-2.748	-4.549	-1.923	-3.498	-5.831	-6.432	-5.856	-4.988	-3.756
		-6.491	-6.983								

АКТИВНОСТЬ: АКТИВНОСТЬ : У С И Л И Е Р Е З А Н И Я : МАССА : ОПОРНЫЕ РЕАКЦИИ :  
 ЭЛЕМЕНТ : ОГРАНИЧЕНИЕ : PSI : ГРАД : АБС. ГРАД : РА. КМ : ГРУНТА, КГ : РА. КМ : РА. КМ :  
 : КОЭФ. : УСТ. : 121.1 : 78 : 86.65 : 2 : 0.00 327.46 :

У С И Л И Я	В	Ш	А	Р	И	Р	А	Х	(НОМЕР)	МОДУЛЬ СИЛЫ, КН	УГОЛ	МЕЖДУ	НАПРАВЛЕНИЕМ	СИЛЫ И	ОСЬ X, ГРАД		
1	449.71	-3.9	2	734.41	175.3	3	683.17	115.2	4	682.48	-69.7	5	381.91	-84.7	6	388.13	-84.8
7	198.27	100.7	8	233.91	265.4	9	784.78	-4.8	10	688.48	119.1	11	85.68	123.8	12	234.66	85.4

НАПРЯЖЕНИЕ И Я	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Н. СЕЧЕНИЯ	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ИЗГ. ВЕРХН	48	21	32	13	9	-14	33	16	25
ИЗГ. НИЖН	-37	-24	-26	-16	-8	13	-39	-15	25
КРУЧЕНИЕ	7	6	7	8	11	0	11	16	8
ИЗГ. ИЗ ПЛ.	21	17	21	15	9	8	38	35	8
РАСТ.-ОУ	-1	-14	-28	-16	-11	6	-12	-13	21
ПРИВ. НАПР	62	58	69	58	35	19	92	78	46

: КОЭФ. : УСТ. : 121.1 : 90 : 97.18 : 2 : 0.27 368.44 :

У С И Л И Я	В	Ш	А	Р	И	Р	А	Х	(НОМЕР)	МОДУЛЬ СИЛЫ, КН	УГОЛ	МЕЖДУ	НАПРАВЛЕНИЕМ	СИЛЫ И	ОСЬ X, ГРАД		
1	437.45	-2.8	2	927.86	175.4	3	946.49	115.1	4	918.75	-69.8	5	369.87	-84.7	6	372.78	-84.8
7	262.37	103.3	8	285.31	265.4	9	927.22	-4.1	10	924.86	112.1	11	104.32	123.8	12	288.87	85.4

НАПРЯЖЕНИЕ И Я	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Н. СЕЧЕНИЯ	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ИЗГ. ВЕРХН	54	29	44	17	13	-14	49	26	33
ИЗГ. НИЖН	-53	-33	-36	-21	-11	13	-58	-24	33
КРУЧЕНИЕ	8	9	9	11	14	0	15	21	8
ИЗГ. ИЗ ПЛ.	21	14	18	12	7	8	33	38	8
РАСТ.-ОУ	-2	-28	-27	-16	-16	9	-16	-17	22
ПРИВ. НАПР	75	71	84	68	43	23	112	82	55



При подготовке исходных данных расчетные сечения стрелы и рукояти были проверены на участие в работе всей ширины полки в соответствии с пунктом 6.5 настоящего РД.

На стреле в сечениях I-I, II-II, III-III, IV-IV (черт. П9.2, П9.3) для верхней полки  $v_p = 1,4 \cdot 1,4 \cdot \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^5}{310}} = 50,53$  см, следовательно сечение должно быть ослаблено отверстием шириной 16 см.

Для нижней полки  $v_p = 1,4 \cdot 1,6 \cdot \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^5}{310}} = 57,74$  см, ширина отверстия - 9 см.

В сечении у-у (черт. П9.3) для верхней полки  $v_p = 1,4 \cdot 1,2 \cdot \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^5}{310}} = 43,3$  см, ширина отверстия - 13 см.

Для всех сечений рукояти (черт. П9.4, П9.5)  $v_p = 43,3$  см, т.е.  $v_p > b$ , вся ширина полки участвует в работе.

В соответствии с пунктом 6.7 настоящего РД, в шарнирах 9, 4 и 3 (черт. П9.1) были определены приведенные напряжения с учетом местных напряжений в стенках сечений.

Шарнир 9 крепления гидроцилиндров стрелы к стреле, сечение I-I (черт. П9.6).

Из таблицы максимальных усилий в шарнирах выбираем усилие в шарнире 9, равное 1511,4 кН.

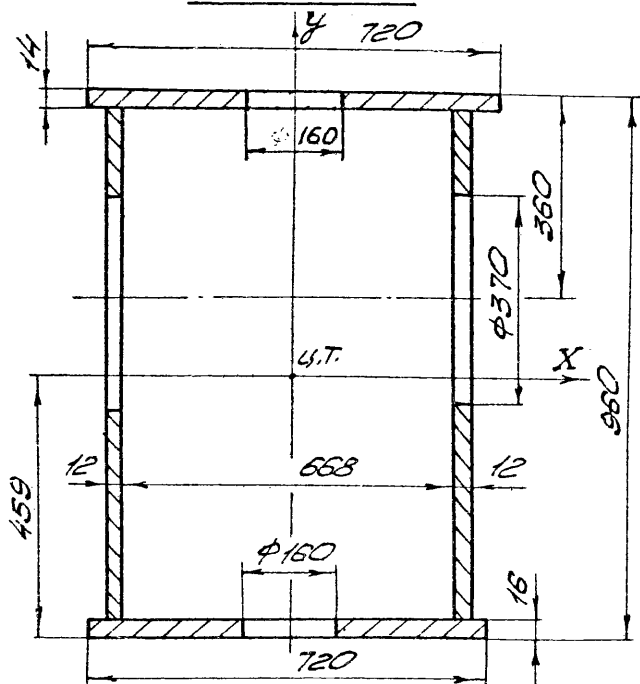
По формуле (6.21) определяем нормальное напряжение, перпендикулярное оси конструкции

$$\sigma_y = \frac{2 \cdot 755,7 \cdot \cos 27^\circ}{3,14 \cdot 18,5 \cdot 1,2} = 193 \text{ МПа}$$

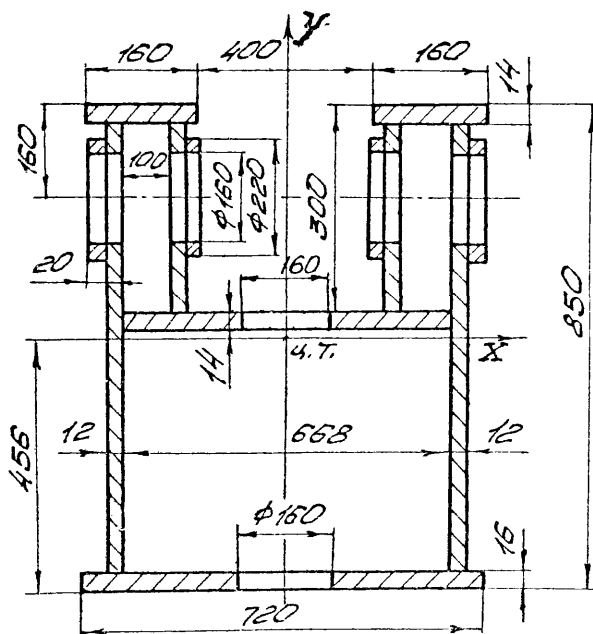
Приведенные напряжения с учетом  $\sigma_y$  следует считать в точке "а", где действуют местные напряжения.

Сечения стрелы

Сечение I-I

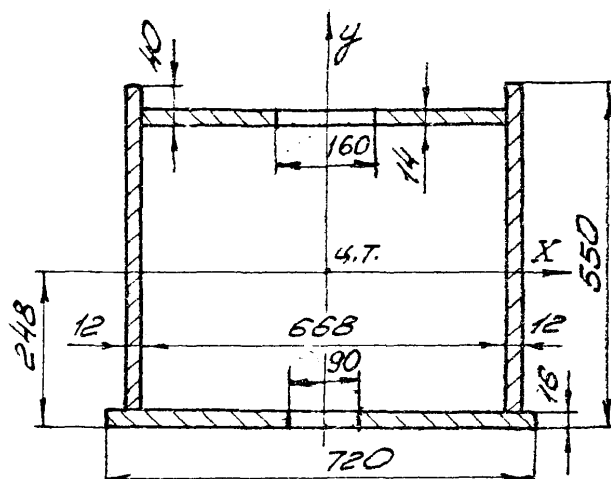


Сечение II-II

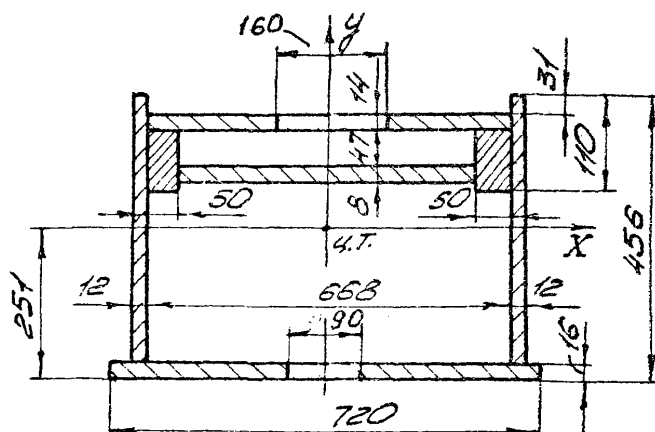


Сечение III-III

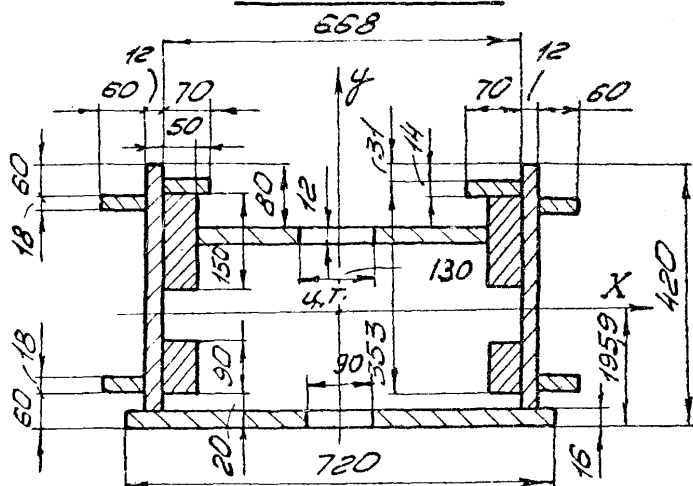
РД 22-158-86 стр. 121



Сечение IV-IV



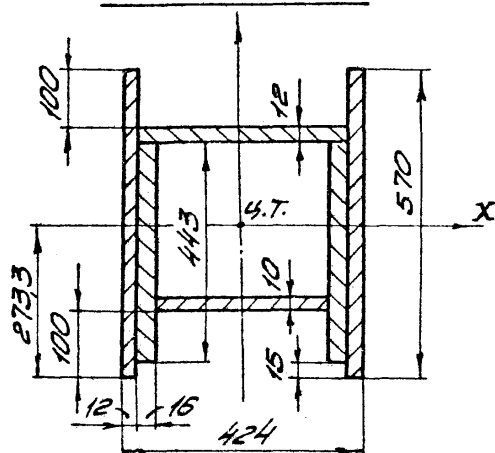
Сечение V-V



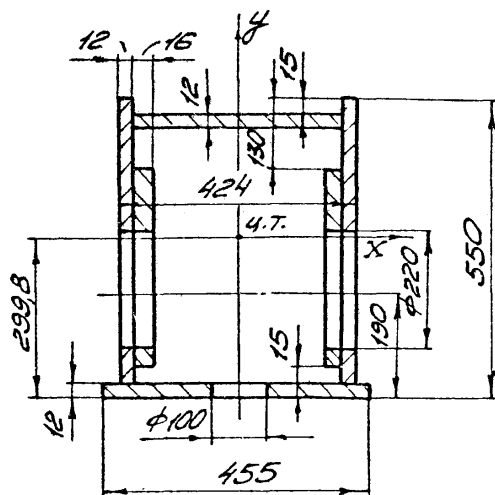
Черт. П9.3.

Сечения рукоятки

Сечение VI-VI

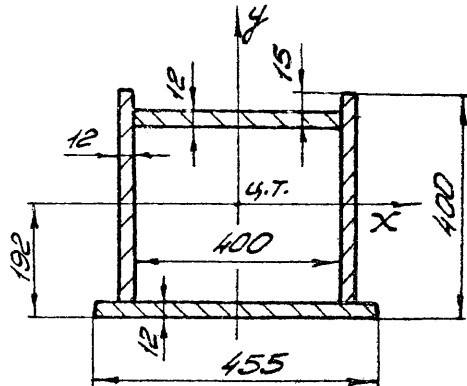


Сечение VII-VII



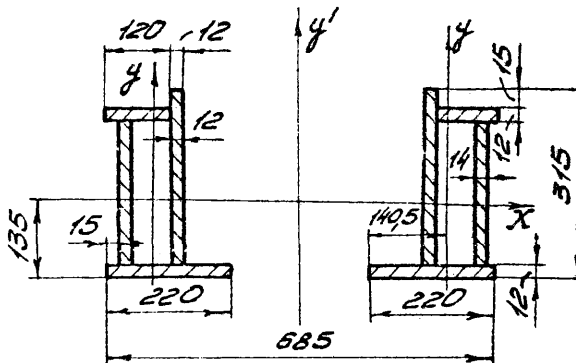
Черт. П.9.4.

Сечение VIII-VIII



Сечение IX-IX

Сечение IX'-IX'



Значения напряжений: изгиба в плоскости, растяжения-сжатия, изгиба из плоскости и кручения выбираются из протокола расчета для того же положения рабочего оборудования, в котором появилось максимальное усилие в шарнире 9.

Нормальное напряжение параллельное оси конструкции в точке "а" определяется, исходя из эпюры напряжений (черт. 119.6)

$$\sigma_{x(a)} = 10,0 - 39,8 - 5,0 = -34,8 \text{ МПа}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{np(a)} &= \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau^2} = \\ &= \sqrt{(-34,8)^2 - (-34,8) \cdot 193 + 193^2 + 3 \cdot 10,3^2} = 213 \text{ МПа}\end{aligned}$$

Шарнир 3 крепления рукоятки к стреле, сечение VII-VII  
(черт. 119.7)

Максимальное усилие в шарнире 3 - 1720,71 МПа,  $\alpha = 25^\circ$ .

Определяем нормальное напряжение, перпендикулярное оси конструкции по формуле (6.21)

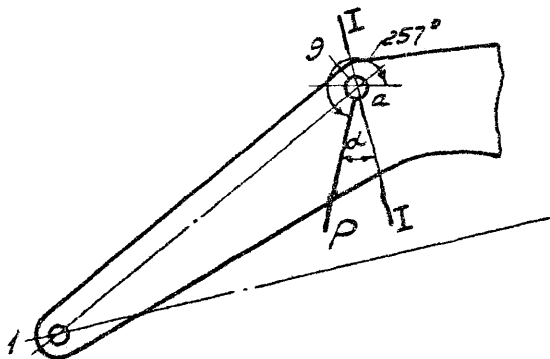
$$\sigma_y = \frac{2 \cdot 860,35 \cdot \cos 25^\circ}{3,14 \cdot 11 \cdot 2,8} = 159,8 \text{ МПа}$$

Приведенные напряжения с учетом  $\sigma_y$  следует определять в точке "а", где действуют местные напряжения, и в точке "б", где кончается накладка и толщина стенки становится равной 1,2 см.

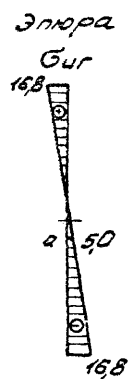
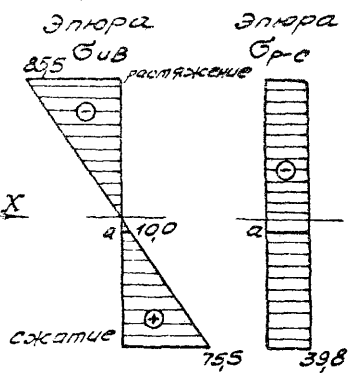
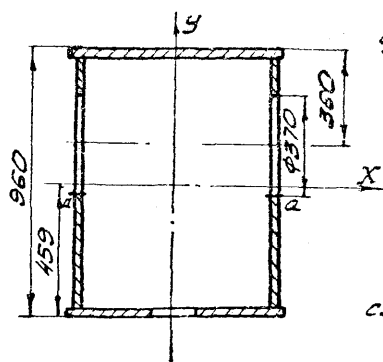
$$\sigma_{x(a)} = -70,0 - 35,6 - 32,0 = -137,6 \text{ МПа}$$

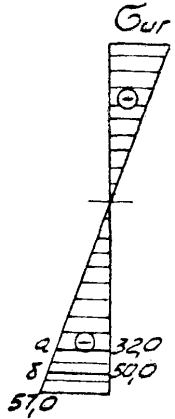
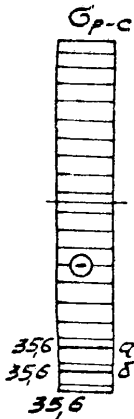
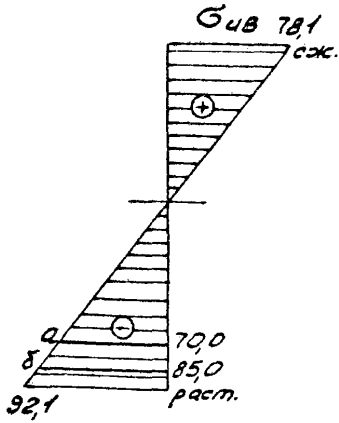
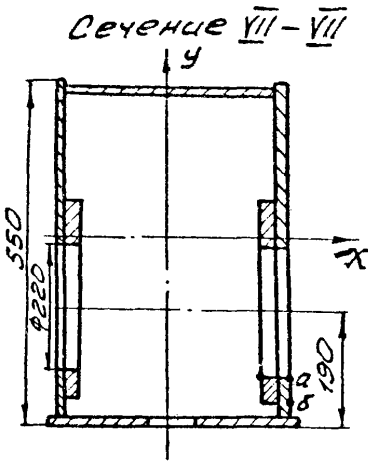
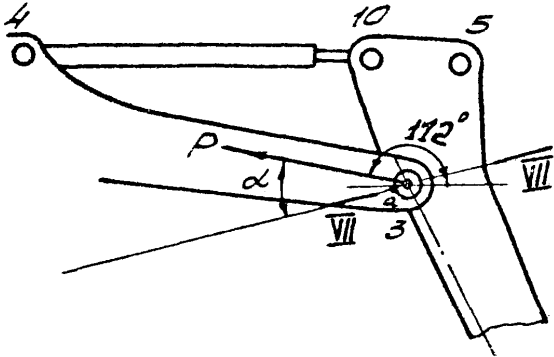
$$\tau = 21,5 \text{ МПа (выборка из протокола)}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{np(a)} &= \sqrt{-137,6^2 - (-137,6) \cdot 159,8 + 159,8^2 + 3 \cdot 21,5^2} = \\ &= 173,6 \text{ МПа}\end{aligned}$$



Сечение I-I





Черт. П.9.7.



$$\sigma_x(\delta) = -85,0 - 35,6 - 50 = -176,6 \text{ МПа}$$

$$\sigma_y(\delta) = \frac{2 \cdot 860,35 \cdot 26^0}{3,14 \cdot 16,3 \cdot 1,2} = 251 \text{ МПа}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{np}(\delta) &= \sqrt{-176,6^2 - (-176,6) \cdot 251 + 251^2 + 3 \cdot 21,5^2} = \\ &= 373,8 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Условия прочности по формуле (6.3)

$$\sigma_{np} \leq 1,15 \cdot m \cdot R_y$$

Для стали 09Г2С  $R_y = 310 \text{ МПа}$

$m = 0,9$  коэффициент условий работы

$$\sigma_{np} \leq 1,15 \cdot 0,9 \cdot 310 = 321 \text{ МПа}$$

В точке "б" сечения УП-УП условие прочности не выполняется.

Шарнир 4 крепления цилиндров рукоятки к стреле, сечение П-П (черт. П9.8).

Максимальное усилие в шарнире 4-1515,3 МПа,  $\alpha = 20^0$ .

Нормальное напряжение перпендикулярное оси конструкции в точке "а" равно:

$$\sigma_y(a) = \frac{2 \cdot 757,6 \cdot \cos 20^0}{3,14 \cdot 8 \cdot 3,2} = 73,75 \text{ МПа}$$

Приведенные напряжения определяются в точках "а" и "б" (черт. П9.8).

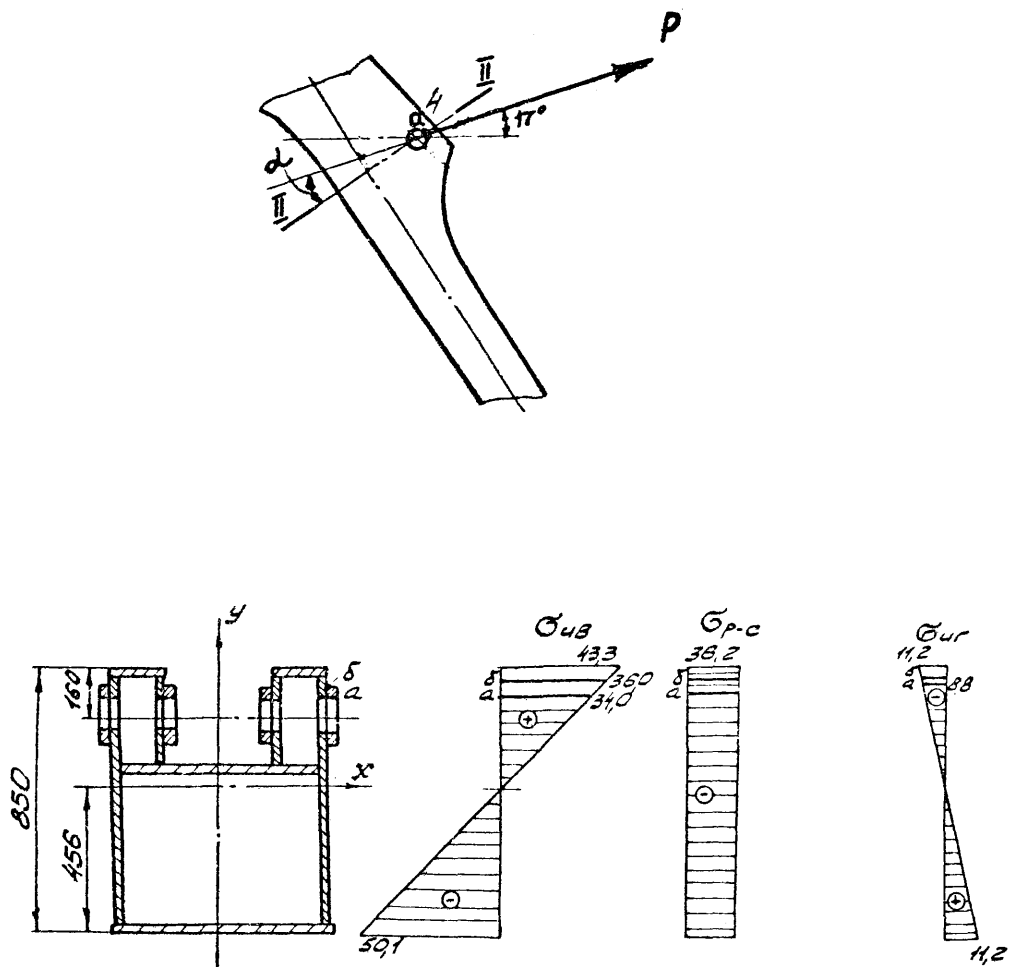
$\sigma = 16,5 \text{ МПа}$  (выборка из протокола)

$$\sigma_{x(a)} = 34 - 36,2 - 8,8 = 11 \text{ МПа}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{np(a)} &= \sqrt{(-11)^2 - (-11) (73,75) + 73,75^2 + 3 \cdot 16,5^2} = \\ &= 84,8 \text{ МПа} \end{aligned}$$

в точке "б"

$$\sigma_y(\delta) = \frac{2 \cdot 757,6 \cdot \cos 20^0}{3,14 \cdot 11 \cdot 1,2} = 142,6 \text{ МПа}$$



Черт. П.9.8.

$$\sigma_{\chi(\delta)} = 36 - 36, 2 - 9, 2 = -9, 4 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{пр(\sigma)} = \sqrt{(-9,4)^2 - (-9,4) \cdot 142,6 + 142,6^2 + 3 \cdot 16,5^2} = 150,3 \text{ МПа}$$

Проверка устойчивости стенок расчетных сечений.

В соответствии с пунктом 6.10 настоящего РД проверена устойчивость стенок расчетных сечений:

$$\text{сечение I-I} \quad \lambda_c = \frac{93}{1,2} \cdot \sqrt{\frac{310}{2,06 \cdot 10^5}} = 3,1$$

$$\text{сечение II-II} \quad \lambda_c = \frac{52,7}{1,2} \cdot \sqrt{\frac{310}{2,06 \cdot 10^5}} = 1,73$$

$$\text{сечение III-III} \quad \lambda_c = \frac{48,7}{1,2} \cdot \sqrt{\frac{310}{2,06 \cdot 10^5}} = 1,65$$

$$\text{сечение IV-IV} \quad \lambda_c = \frac{40,2}{1,2} \cdot \sqrt{\frac{310}{2,06 \cdot 10^5}} = 1,37$$

$$\text{сечение V-V} \quad \lambda_c = \frac{31,8}{1,2} \cdot \sqrt{\frac{310}{2,06 \cdot 10^5}} = 1,35$$

$$\text{сечение VI-VI} \quad \lambda_c = \frac{25,9}{1,2} \cdot \sqrt{\frac{310}{2,06 \cdot 10^5}} = 0,84$$

$$\text{сечение VII-VII} \quad \lambda_c = \frac{51,7}{1,2} \cdot \sqrt{\frac{310}{2,06 \cdot 10^5}} = 1,79$$

$$\text{сечение VIII-VIII} \quad \lambda_c = \frac{36,7}{1,2} \cdot \sqrt{\frac{310}{2,06 \cdot 10^5}} = 1,24$$

В сечении I-I величина  $\lambda_c > 2,5$ , поэтому необходима проверка гибкости стенок сечения I-I по уточненной формуле:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{сч}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,сч}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{сч}}\right)^2} \leq y_c \quad y_c = 1,1 \quad \begin{matrix} \text{таблица 6} \\ \text{СНиП} \\ \text{II-23-81} \end{matrix}$$

см. п. 7.6 СНиП II-23-81

$$\sqrt{\left(\frac{178,2}{3100,0} + \frac{130,0}{1960,0}\right)^2 + \left(\frac{9,1}{610,0}\right)^2} = 0,124 < y_c = 1,1$$

Устойчивость стенок в сечении I-I достаточная.

**Литература.**

1. Афанасьева Д.Д., Елизарова В.Б., Зарецкий Л.Б., Иоффе А.С. Оценка напряжений в элементах рабочего оборудования гидравлических экскаваторов. Труды ВНИИстройдормаша вып. 83 "Повышение эффективности работы и качества одноковшовых универсальных экскаваторов", 1979.
2. СНиП II-6-74. Нагрузки и воздействия. М., 1976.
3. СНиП II-23-81. Стальные конструкции. Нормы проектирования. М., 1982.
4. Бидерман В.Л. Механика тонкостенных конструкций. М., 1977.
5. ОСТ. 92-8767-76. Системы стержневые металлоконструкций агрегатов специального назначения. Расчет и конструирование. М., 1977.
6. ОСТ 92-8581-74. Элементы стержневые металлоконструкций агрегатов специального назначения. Расчет и конструирование. М., 1974.
7. ОСТ 92-0994-75. Соединения и соединительные элементы металлоконструкций агрегатов специального назначения. Расчет и конструирование. М., 1975.
8. Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. М., 1960.

# СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Общие требования к расчёту . . . . .	I
2. Принятые основные обозначения . . . . .	3
3. Основные теоретические предпосылки и допущения . .	6
4. Расчетные нагрузки и ограничения . . . . .	10
5. Определение напряжений в сечениях элементов рабочего оборудования . . . . .	15
6. Проверка прочности . . . . .	18
7. Расчет сварных швов . . . . .	34
8. Расчет швов под креплениями проушин . . . . .	46
9. Рекомендуемая последовательность расчета . . . . .	60
Приложение I. Обязательное. Расчетные сопротивления проката . . . . .	63
Приложение Ia. Обязательное. Нормативные и расчетные сопротивления проката . . . . .	64
Приложение 2. Справочное. Коэффициенты надёжности по материалу проката и труб . . . . .	68
Приложение 3. Справочное. Материалы для сварки, соответствующие маркам стали . . . . .	69
Приложение 4. Справочное. Нормативные и расчетные сопротивления металла швов сварных соединений с угловыми швами . . . . .	70
Приложение 5. Справочное. Значения коэффициентов . . $\beta_r, \beta_z$ . . . . .	71
Приложение 6. Справочное. Определение силы сопро- тивления копанью $P_0$ . . . . .	72
Приложение 7. Справочное. Определение центра изгиба двойного коробчатого сечения. . . . .	79
Приложение 8. Обязательное. Программа расчета рабо- чего оборудования гидравлических экскаваторов на прочность . . . . .	81
Приложение 9. Обязательное. Пример расчета . . . . .	110
Литература . . . . .	130

---

Подписано в печать 7.08.87    Формат 60х90 1/8  
Печать плоская    Учл.-печ.л. 16,5    Учл.-изд.л. 5,46  
Тираж 400    Изд.№ 290-87    Зак. 1040

---

ЦНИИТЭстроймаш, 119146, Москва, Г-148, 2-я Фрунзенская, 8  
Отдел опытного полиграфического производства  
111141, Москва, 2-й проезд Перова поля, 5