

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования  
«Забайкальский государственный университет»  
(ФГБОУ ВО «ЗабГУ»)

### Машины для земляных работ

Методические указания к выполнению курсового проекта по учебной дисциплине  
«Машины для земляных работ» для студентов специальности 23.05.01 «Наземные  
транспортно-технологические средства»

Направленность ОП – Подъемно - транспортные, строительные, дорожные средства и  
оборудование

Чита 2013

## I. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

### 1.1. Цели и задачи

Целью курсового проектирования является приобретение студентами навыков в расчете и конструировании специфических узлов, главным образом рабочих органов машин для земляных работ, а также выработка умения применять теоретический материал при решении практических задач. При выполнении курсового проекта решаются следующие основные задачи:

- выбор и обоснование параметров машины и ее рабочего оборудования;
- выбор и расчет конструкции основных узлов;
- тяговые расчеты в различных положениях;
- расчет мощности и выбор двигателя;
- расчет показателей проходимости и устойчивости машины;
- определение расчетных нагрузок и расчет на прочность деталей;
- определение основных технико-экономических показателей.

### 1.2. Организация работы над курсовым проектом

Курсовым проектом руководит ведущий данный курс преподаватель, который не должен подменять студента в поисках технических решений поставленных перед студентом задач.

После получения задания на проектирование студент должен тщательно ознакомиться с его содержанием, ясно представив себе сущность задания и вопросы, которые являются предметом разработки в проекте. Все сомнения, возникающие в процессе рассмотрения задания, должны быть решены с руководителем проекта. Следует иметь в виду, что успеш-

ная работа над проектом в большей степени зависит от тщательности планирования работы.

На одной из первых консультаций студент уточняет список рекомендованной литературы, сущность проектирования или совершенствования сборочной единицы и компоновки машины. Последующие консультации позволяют уточнить варианты предлагаемых технических решений.

Курсовой проект независимо от направления включает пояснительную записку и графическую часть. Составление пояснительной записки и работа над чертежами должны вестись параллельно, так как выбор тех или иных решений, отражаемых на чертежах, необходимо проверять и уточнять расчетами.

### 1.3. Использование ЭВМ при выполнении курсового проекта

При выполнении расчетной части курсового проекта необходимо использовать ЭВМ. Применение ЭВМ рекомендуется:

- при выполнении многократно повторяющихся трудоемких расчетов;
- для анализа различных вариантов конструкции рабочих органов машин;
- при оптимизации режимов работы землеройных машин.

Расчеты можно выполнять как с использованием стандартных программ, так и по программам, составленным самим студентом.

В пояснительной записке приводится анализ результатов, полученных при счете по программе. В приложении к пояснительной записке курсового проекта должны быть приведены: структурная схема алгоритма расчета, список необходимых исходных данных для счета по программе, распечатка результатов счета.

## 2. СОСТАВ И ОБЪЕМ ПРОЕКТА

### 2.1. Графическая часть

Графическая часть проекта выполняется объемом три листа формата А1 (ГОСТ 2.301-68 ...ГОСТ 2.317-69), которая включает:

- общий вид машины не менее чем в двух проекциях;
- чертеж заданной сборочной единицы;
- чертежи трех-четырёх деталей сборочной единицы.

По указанию руководителя курсового проектирования в некоторых случаях вместо чертежей деталей выполняется гидравлическая, кинематическая или электрическая схема.

На чертеже общего вида машины должны быть проставлены габаритные и монтажные размеры, приведена техническая характеристика машины.

На чертеже сборочной единицы дают полное конструктивное решение деталей, входящих в узел. Кроме двух-трех основных видов на этом чертеже обычно вычерчивают дополнительные виды, разрезы и сечения. На чертеже сборочной единицы проставляют габаритные и межосевые размеры, допуски и посадки соединений.

Рабочие чертежи отдельных деталей должны быть выполнены на листе, разделенном на стандартные форматы. Изображаемые детали должны иметь все размеры, необходимые для изготовления и контроля, предельные отклонения размеров, сведения о материале, термообработке, отклонения от формы и расположения поверхностей (например, отклонение на биение, на непараллельность, на перпендикулярность и пр.), допуски на отклонение свободных размеров и т.д.

Для чертежей составляется поддетальная спецификация в соответствии с ГОСТ 2.108-68.

## 2.2. Расчетно-пояснительная записка

Пояснительная записка выполняется объемом 35...40 страниц формата А4 рукописного текста и состоит из титульного листа, задания на курсовое проектирование, реферата, содержания, введения, конструкторской части, экономической части, раздела охраны труда и окружающей среды, заключения, списка использованных источников и приложений.

Титульный лист пояснительной записки оформляется согласно прил. 1.

Реферат включает сведения об объеме пояснительной записки, количестве иллюстраций, таблиц, использованных источников, перечень ключевых слов и основной текст. В перечень ключевых слов включают наиболее часто употребляемые в пояснительной записке технические термины (до 10 ключевых слов в именительном падеже). Основной текст реферата в объеме не более 500 знаков отражает основную суть выполненной работы.

Во введении должна содержаться краткая оценка современного развития данного вида техники, обоснование необходимости ее совершенствования, связь данного проекта с развитием других отраслей техники и хозяйства.

В конструкторской части курсового проекта отражаются следующие разделы:

- назначение машины, принцип ее работы и выполняемые операции;
- обоснование и выбор технологической схемы и конструктивных решений основных узлов и их преимущества;
- описание машины (основные сборочные единицы и их взаимная технологическая и кинематическая связь);
- проверочный расчет основных параметров рабочего органа машины;
- тяговый расчет машины;

- расчет мощности и выбор двигателя;
- расчет производительности;
- расчет устойчивости машины;
- определение расчетных нагрузок и расчет на прочность деталей.

В экономической части курсового проекта определяют основные технико-экономические показатели проектируемой машины.

В разделе “Охрана труда и окружающей среды” студент указывает потенциальные опасности и вредности проектируемой машины с точки зрения их влияния на человека, которые могут возникнуть как при эксплуатации, так и при ремонте.

В заключении излагаются краткие выводы по результатам проектирования.

В список использованных источников следует включать только те литературные источники, на которые имеются ссылки в тексте пояснительной записки; оформляется список в соответствии с ГОСТ 7.1-84 “Библиографическое описание произведений печати”.

В приложения включают описание алгоритмов и программ для ЭВМ.

Страницы пояснительной записки нумеруются арабскими цифрами в правом верхнем углу. Разделы должны иметь порядковую нумерацию и обозначаются арабской цифрой с точкой в конце. Введение и заключение не нумеруются.

### 3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ

#### 3.1. Расчет основных параметров отвала бульдозера

Основными параметрами отвала бульдозера являются: ширина и высота отвала; угол резания; угол заострения ножа; задний угол; угол захва-

га, т.е. угол поворота отвала в плане; угол зарезания, т.е. угол поперечного перекоса отвала (угол между режущей кромкой ножа отвала и горизонталью). При проектировании отвала необходимо определить также параметры профиля поверхности отвала: длину прямолинейного участка в нижней части поверхности отвала; радиус криволинейного участка поверхности отвала; угол опрокидывания отвала; высоту козырька и угол его наклона; угол наклона отвала.

Для выполнения этих расчетов можно использовать следующую литературу: [1, стр.231-236]; [2, стр.28-30]; [3, стр.195-197]; [4, стр.79-83]; [5].

### 3.2. Расчет основных параметров рыхлителя

Основными параметрами рыхлителя являются: максимальная глубина рыхления; эксплуатационный вес рыхлителя; основные рабочие скорости; среднее статическое давление и смещение центра давления; удельное напорное усилие и удельное вертикальное давление на режущей кромке наконечника зуба, определяющие возможность разработки рыхлителем грунтов и пород с различным сопротивлением рыхлению.

Для выполнения этих расчетов можно использовать следующую литературу: [1, стр.220-226]; [4, стр.150-155]; [6, стр.152-154].

### 3.3. Тяговый расчет бульдозера

Тяговый расчет бульдозера позволяет вычислить максимальную глубину резания в заданных грунтовых условиях, оценить возможность тягача при транспортировании грунта с подрезанием стружки минимальной толщины, определить подъем, который может преодолевать машина с максимальной призмой волочения.

Для выполнения этих расчетов рекомендуется использовать следующую литературу: [1, стр. 236-243]; [2, стр. 30-33]; [7, стр.3-5].

### 3.4. Тяговый расчет рыхлителя

Задачей тягового расчета рыхлителя является определение силы тяги, необходимой для преодоления суммарного сопротивления

$$T_H \geq \Sigma W = W_p + W_g,$$

где  $T_H$  - номинальное тяговое усилие базового трактора, кН (табл.1);

$W_p$  - сопротивление грунта рыхлению, кН;

$W_g$  - сопротивление движению трактора, кН.

Таблица 1

Параметры и показатели рыхлителей в зависимости от класса тракторов

Параметры	Номинальное тяговое усилие базового трактора, кН				
	30	60	100	150	250
Количество зубьев	1-5	1-3	1-5	1-3	1-3
Наибольшая глубина рыхления от опорной поверхности	200-500	350-700	400-1000	50-1200	600-1500
$H_p$ , мм					

$$W_p = B \cdot H_p \cdot k_p, \text{ кН},$$

где  $B$  - ширина рыхления, м;

$H_p$  - глубина рыхления, м;

$k_p$  - удельное сопротивление рыхлению, которое в зависимости от вида грунта может быть принято в пределах 100 ... 200 кН/м<sup>2</sup>.



$$W_q = G(f \pm i), \text{ кН}$$

где  $G$  - сила тяжести рыхлителя, кН;

$f$  - коэффициент сопротивления движению рыхлителя,

$$f = 0,1 \dots 0,2;$$

$i$  - уклон местности,  $i = 0,3 \dots 0,4$ .

### 3.5. Расчет мощности привода базовой машины

Мощность привода базовой машины можно рассчитать по суммарным сопротивлениям

$$N = \frac{\sum W \cdot v}{3,6 \cdot \eta}, \text{ кВт}$$

где  $N$  - мощность двигателя базовой машины, кВт;

$v$  - скорость движения машины, км/ч;

$\eta$  - механический к.п.д. машины,  $\eta = 0,8 \dots 0,9$ .

### 3.6. Проверка рыхлителя на устойчивость

Потеря устойчивости при разработке грунта ведет к вывешиванию трактора относительно одной из крайних точек его базы А или В (рис.1). При вывешивании относительно опоры В момент  $M_{GB}$  веса базового трактора с оборудованием уравновешивается моментом  $M_{RB}$ , создаваемым усилием рыхления:

$$M_{GB} = G_{6.0} \cdot (X_{6.0} - X_B) + G_T \cdot (X_T - X_B) - G_{P.0} \cdot (X_{P.0} + X_B);$$

$$M_{RB} = R_0 \cdot \cos \psi_p \cdot y_p - R_0 \cdot \sin \varphi_p \cdot (X_p + X_B);$$

$$M_{GB} = M_{RB},$$

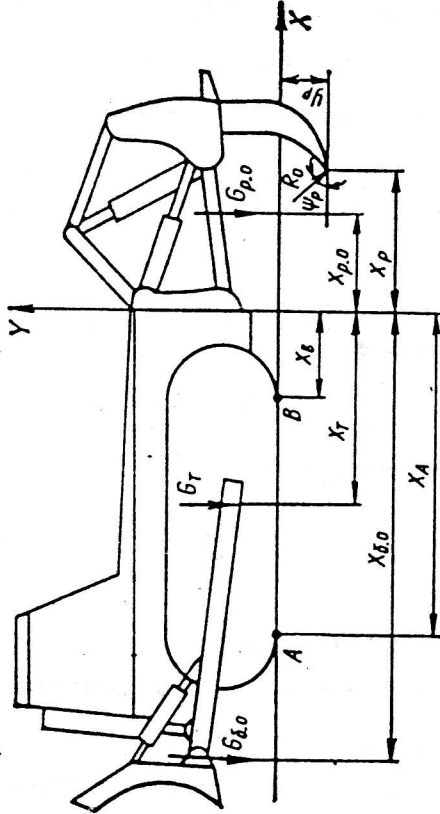


Рис. 1. Расчетная схема рычагителя

где  $G_{б.в.}$ ,  $G_r$ ,  $G_{р.в.}$  - вес бульдозерного оборудования, базового трактора, рыхлительного оборудования;

$X_{б.в.}$ ,  $X_r$ ,  $X_{р.в.}$ ,  $y_p$  - координаты центра тяжести и конца зуба рыхлителя соответственно;

$R_0$  - усилие рыхления;

$\Psi_p$  - угол приложения результирующей усилия рыхления.

При  $H/V < 4$  -  $\Psi_p = 13 \dots 29^\circ$ ;

$H/V > 4$  -  $\Psi_p = 20 \dots 28^\circ$ ;

Аналогично составляются уравнения моментов относительно ( $\bullet$ ) А.

### 3.7. Расчет производительности бульдозера

Производительность бульдозера при резании и перемещении грунта определяется по формуле

$$\Pi = \frac{3600 \cdot V_p \cdot K_s \cdot K_{пл}}{T} \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $V_p$  - объем грунта (в плотном теле) перед отвалом,  $\text{м}^3$

$$V_p = \frac{L \cdot H^2}{2 \cdot K_{пр} \cdot K_r} \cdot \text{м}^3;$$

$L$  - длина отвала, м;

$H$  - высота отвала, м;

$K_{пр}$  - коэффициент, зависящий от характера грунта (связности, коэффициента рыхления) и от отношения  $H/L$ .

Этот коэффициент получен в результате обработки экспериментальных данных по производительности бульдозеров.

Значения коэффициента  $K_{пр}$  в зависимости от отношения  $H/L$  и вида грунта следующие:

Отношение $H/L$	0,15	0,3	0,35	0,40	0,45
-----------------	------	-----	------	------	------

Связные грунты

I и II категории	0,70	0,80	0,85	0,90	0,95
Несвязные грунты	1,15	1,20	1,20	1,30	1,50

$K_p$  - коэффициент разрыхления грунта,  $K_p = 1,25$ ;

$K_b$  - коэффициент использования бульдозера по времени,  
 $K_b = 0,80 \dots 0,85$ ;

$K_{укл}$  - коэффициент, учитывающий влияние уклона местности на производительность бульдозера (табл.2).

Таблица 2

Значения коэффициента  $K_{укл}$ 

Угол подъема в градусах	$K_{укл}$	Угол уклона в градусах	$K_{укл}$
0 - 5	1,00 - 0,67	0 - 5	1,00 - 1,33
5 - 10	0,67 - 0,50	5 - 10	1,33 - 1,94
10 - 15	0,5 - 0,40	10 - 15	1,94 - 2,25
		15 - 20	2,25 - 2,68

$T_{ц}$  - длительность рабочего цикла, с

$$T_{ц} = \frac{\ell_p}{v_1} + \frac{\ell_n}{v_2} + \frac{\ell_p + \ell_n}{v_3} + 2 \cdot t_n + t_0 + t_c, \text{ с}$$

где  $\ell_p$  - длина пути резания, м,  $\ell_p = 6 \div 10$  м;

$\ell_n$  - длина пути перемещения грунта, м;

$v_1$  - скорость движения бульдозера при копании грунта, м/с,

$$v_1 = 0,4 \dots 0,5 \text{ м/с};$$

$v_2$  - скорость движения бульдозера при перемещении грунта, м/с,

$$v_2 = 0,9 \dots 1,0 \text{ м/с};$$

$v_3$  - скорость холостого хода бульдозера, м/с,

$$v_3 = 1,1 \dots 2,2 \text{ м/с};$$

$t_n$  - время, необходимое на разворот, с,  $t_n = 10$  с;

$t_0$  - время на опускание отвала, с  $t_0 = 1 \dots 2$  с;

$t_{\varphi}$  - время на переключение передач, с  $t_{\varphi} = 4 \dots 5$  с.

Производительность бульдозера при планировочных работах определяется по формуле

$$\Pi = \frac{3600 \cdot \ell \cdot (L \cdot \sin \varphi - 0,5) \cdot K_B}{n \cdot \left( \frac{\ell}{v} + t_n \right)}, \text{ м}^2/\text{ч},$$

где  $n$  - число проходов по одному месту,  $n = 1 \dots 2$ ;

$v$  - рабочая скорость движения бульдозера, м/с,  $v = 0,8 \dots 1,0$  м/с;

$\ell$  - длина планируемого участка, м;

0,5 - величина перекрытия проходов, м;

$\varphi$  - угол захвата отвала.

### 3.8. Расчет производительности рыхлителя

Эксплуатационная производительность рыхлителя определяется по формуле

$$\Pi = \frac{B \cdot H \cdot L_{\text{рх}} \cdot K_{\text{п}}}{\frac{L_{\text{рх}}}{1000 \cdot v_{\text{рх}}} + \frac{t_{\text{р}}}{3600}}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $B$  - ширина захвата при рыхлении, м;

$$B = K_{\text{п}} \cdot [b \cdot n + 2 \cdot H \cdot \operatorname{tg} \mu + t \cdot (n - 1)], \text{ м},$$

$K_{\text{п}}$  - коэффициент перекрытия,  $K_{\text{п}} = 0,75$ ;

$b$  - толщина зуба, м;

$n$  - количество зубьев;

$\mu$  - угол скола по вертикали,  $\mu = 15 \dots 45^\circ$  - меньшие значения при рыхлении мерзлых грунтов и скальных пород, а большие - обычных грунтов;

$t$  - шаг зубьев;

$L_{рх}$  – средняя длина рабочего хода в одну сторону, м;

$K_B$  – коэффициент использования рабочего времени,  $K_B = 0,85$ ;

$v_{рх}$  – средняя скорость рабочего хода, км/ч,  $v_{рх} = (0,6...0,7) \cdot v_H$ ,

( $v_H$  – номинальная скорость базового трактора с механической трансмиссией  $v_H = 2,5 \dots 3,0$  км/ч); для тракторов с гидравлической и электромеханической трансмиссиями  $v_{рх} = 1,7 \dots 2,2$  км/ч;

$t_p$  – время одного разворота в конце участка, с,  $t_p = 15 \dots 20$  с.

### 3.9. Расчеты на прочность в проекте бульдозера

#### 3.9.1. Общие положения при расчете на прочность

Нагрузки, действующие на элементы конструкции бульдозеров, делятся на нормальные, случайные и аварийные.

Под нормальными понимаются нагрузки, действующие в процессе работы машины в условиях нормальной ее эксплуатации. Эти нагрузки являются основными для расчета элементов конструкции машины на долговечность.

Случайные нагрузки представляют собой совокупность одновременно действующих нагрузок в самом неблагоприятном их сочетании, которая может иметь место в условиях нормальной эксплуатации машины как во время рабочего цикла, так и при некоторых специальных режимах. Случайные нагрузки являются основой для расчета элементов конструкции машины на прочность.

К аварийным относятся нагрузки, которые возникают при некоторых редко встречающихся обстоятельствах, но действие их приводит конструкцию в неработоспособное состояние. Расчет конструкции на аварийные нагрузки проводится с целью создания действенных предохранительных устройств и блокировок.

Расчет на прочность элементов конструкции бульдозеров ведется методами, принятыми для расчета деталей машин и металлоконструкций общего назначения. Для этого к рассматриваемому элементу прикладываются силы, соответствующие принятому расчетному положению и определяемые с учетом динамики нагружения машины. Затем определяются опасные сечения и вычисляются максимальные напряжения в точках этих сечений. Получаемые напряжения сравниваются с допускаемыми. Допускаемые напряжения определяются исходя из выбранного предельного состояния. В качестве основного предельного состояния обычно принимают потерю несущей способности. При определении расчетных действующих сил и проведении расчета на прочность необходимо предварительно выяснить, в каких положениях и при каких условиях работы элементы конструкции машины могут испытывать наибольшие нагрузки, т.е. наметить расчетные положения и расчетные условия. Выбор расчетных положений может быть произведен на основании анализа общей схемы действующих сил и характера их изменений во время работы машины.

### 3.9.2. Расчет на прочность бульдозерного оборудования

Для расчета узлов и деталей бульдозера на прочность исходными являются случайные нагрузки, действующие на металлоконструкцию машины. За расчетные принимают такие положения бульдозера в процессе его работы, при которых в деталях возникают наибольшие напряжения. Расчетным условиям соответствуют наиболее неблагоприятные сочетания активных сил, действующих на отвал бульдозера. Такие нагрузки возникают сравнительно редко, однако узлы и детали конструкции бульдозера должны воспринимать эти нагрузки без возникновения пластических де-

формаций. При расчете бульдозеров принимают пять расчетных положений.

Расчетное положение I (рис.2.а). Внезапный упор в препятствие средней точкой отвала при движении по горизонтальной поверхности; механизм подъема в положении закрыто.

Принимают, что в средней точке на кромку отвала действует усилие

$$T_y = T_p + T_q, \text{ Н},$$

где  $T_p$  - максимальное (расчетное) тяговое усилие бульдозера по сцеплению

$$T_p = G_b \cdot \varphi_{\max}, \text{ Н},$$

$G_b$  - вес трактора с бульдозерным оборудованием, кг

$\varphi_{\max}$  - коэффициент сцепления,  $\varphi_{\max} = 0,9 \dots 0,95$ .

$T_q$  - динамическое усилие, Н

$$T_q = v \cdot \sqrt{G \cdot \frac{C}{g}} \cdot \text{Н}.$$

$v$  - скорость бульдозера в момент встречи с препятствием (номинальная скорость на I передаче), м/с;

$g$  - ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$C$  - приведенная жесткость препятствия и системы навесного оборудования, кН/м,

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}, \text{ кН/м},$$

где  $C_1$  - жесткость препятствия, кН/м. [ 2, стр.130];

$C_2$  - жесткость навесного оборудования, кН/м.

$$C_2 = \alpha_{\text{ж}} \cdot G_{\text{б.о.}},$$

где  $\alpha$  - коэффициент жесткости навесного оборудования на 1 кг массы трактора;  $\alpha = 0,9 \dots 1,0 \text{ кН/м-кг}$ ;

$G_{\text{б.о.}}$  - вес бульдозерного оборудования, кг.



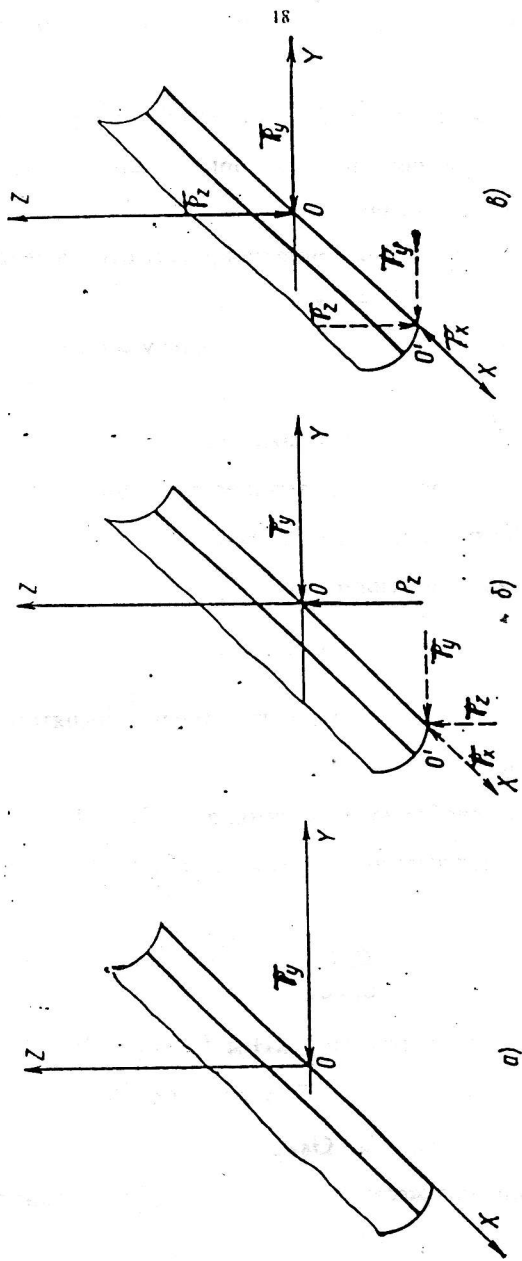


Рис. 2. Схемы сил, действующих на нож отвала при расчете на прочность.

Расчетное положение II (см.рис.2,б). В процессе заглубления отвала при одновременном движении вперед по горизонтальной поверхности трактор вывешивается на средней точке отвала, при этом гидроцилиндры развивают усилие, достаточное для опрокидывания трактора относительно точки А (рис.3).

Принимаем, что на кромку ножа (точка О) действуют вертикальное и горизонтальное усилия (см.рис.2,б). Вертикальное усилие

$$T_z = \frac{G \cdot \ell_A}{\ell + \ell_c} \cdot H,$$

где  $\ell, \ell_A, \ell_c$  - линейные размеры (см.рис.3), мм.

Горизонтальное усилие

$$T_y = T_p + T_q \cdot H,$$

где

$$T_p = (G_b - T_z) \cdot \varphi_{\max}$$

Расчетное положение III (см.рис.2,в). В процессе заглубления отвала при одновременном движении вперед по горизонтальной поверхности трактор вывешивается на крайней точке(О<sup>2</sup>) отвала, при этом развивается усилие, достаточное для опрокидывания трактора относительно точки А (см.рис.3).

Кроме вертикального и горизонтального усилий, определяемых как и для расчетного положения II, на нож отвала действует боковое усилие

$$T_x = \frac{T_p \cdot B}{2 \cdot (\ell_c + \ell)} \cdot H,$$

где В - ширина отвала, мм.

Расчетное положение IV (см.рис.2,в). В процессе выглубления отвала при одновременном движении вперед по горизонтальной поверхности трактор вывешивается на средней точке отвала, при этом развивается усилие, достаточное для опрокидывания трактора относительно точки В

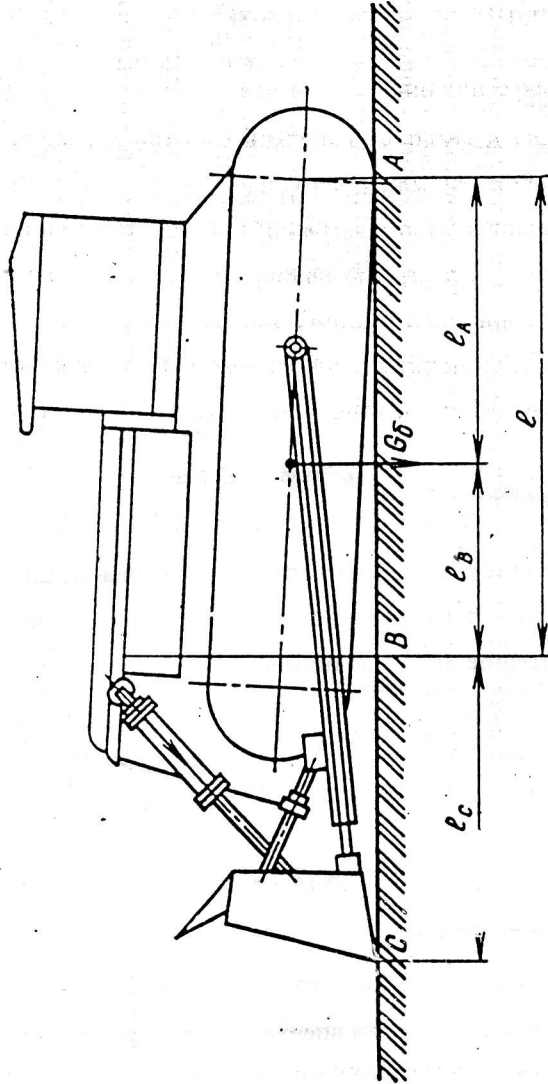


Рис. 3. Расчётная схема положения бульдозера при опирании на кромку ножа отвала

(см.рис.3). Принимаем, что на кромку ножа действует вертикальное и горизонтальное усилия. Вертикальное усилие

$$T_z = \frac{G_6 \cdot \ell_n}{\ell_c} \cdot H,$$

где  $\ell_n, \ell_c$  - линейные размеры (см.рис.3), мм.

Горизонтальное усилие

$$T_y = (G_6 + T_z) \cdot \varphi_{\max} + T_q, H.$$

Если окажется, что  $(G_6 + T_z) \cdot \varphi_{\max} > T$  (где  $T$  - максимальное тяговое усилие на первой рабочей передаче), то следует принимать

$$T_y = T + T_q, H.$$

Расчетное положение V (см.рис.2,в). В процессе выглубления отвала при одновременном движении вперед по горизонтальной поверхности трактор вывешивается на крайней точке отвала, при этом развивается усилие, достаточное для опрокидывания трактора относительно точки В (см.рис. 3). Усилия, действующие на нож отвала бульдозера, сосредоточены в точке О' (см.рис.2,в).

Кроме вертикального и горизонтального усилий, определяемых как и для расчетного положения IV, на нож отвала действует боковое усилие

$$T_z = \frac{T_2 \cdot B}{2 \cdot \ell_c} \cdot H.$$

Если окажется, что  $(G_6 + T_z) \cdot \varphi_{\max} > T$ , то следует принимать  $T_x = \frac{G_6 \cdot \mu}{2}$ , (где  $\mu$  - коэффициент бокового сдвига,  $\mu = 0,65 \dots 0,7$ ).

В тех случаях, когда отвал упирается в препятствие средней частью, производится проверка на прочность отвала. А если упирается краем - то расчет на прочность толкающих брусьев и подкосов.

Для бульдозеров с поворотным отвалом следует принимать расчетные положения I-V, если отвал перпендикулярен продольной оси трактора. Кроме того необходимо проверить прочность металлоконструкции

при повернутом отвале с нагрузкой, приложенной на его выступающем конце (положение III и V).

Выбрав расчетные положения и наметив расчетные условия, приступают к определению сил, действующих на машину и ее части.

На рабочее оборудование бульдозера во время работы действуют следующие силы (рис.4) : результирующая сил сопротивления копания  $P_0$  ; сила тяжести навесного оборудования  $G$  ; сила со стороны механизма подъемного отвала  $S$  (усилие на штоке гидроцилиндра) ; реакция в упряжном шарнире  $O$ .

Направление действия силы  $P_0$  зависит от угла резания, от вида и состояния грунта. При угле резания  $50^\circ$  и заглублении на 10-12 см сила  $P_{01}$  приложена на высоте  $H_1 \approx 0,2 H$ . При нормальной работе бульдозера

$$P_{01} = (0,6 \dots 0,8) \cdot T_n \cdot \text{кН} ,$$

однако при выявлении максимальных усилий следует принять

$$P_{01} = T_p .$$

Спроектировав все силы на горизонтальную ось, можно найти горизонтальную составляющую реакции в упряжном шарнире  $R_x$

$$R_x = P_{01} + S \cdot \cos\theta = T_p + S \cdot \cos\theta , \text{ кН} .$$

Вертикальная реакция  $R_y$  найдется из уравнения равновесия относительно точки В ( точки приложения силы  $P_0$ ).

$$R_y = \frac{S \cdot r_0 + R_x \cdot m \cdot G(\ell_1 - \ell_2)}{\ell_1} , \text{ кН} ,$$

где  $r_0$ ,  $m$ ,  $\ell_1$ ,  $\ell_2$  - линейные размеры (см.рис.4), мм.

Вертикальная составляющая сил сопротивления копания определяется по формуле  $P_{02} = 0,3 \cdot P_{01}$ .

Сила со стороны механизма подъема определяется из условия равновесия относительно точки  $O$  (см. рис.4)

$$S = \frac{P_{02} \cdot \ell_1 + P_{01} \cdot m + G \cdot \ell_2}{r} , \text{ кН} .$$

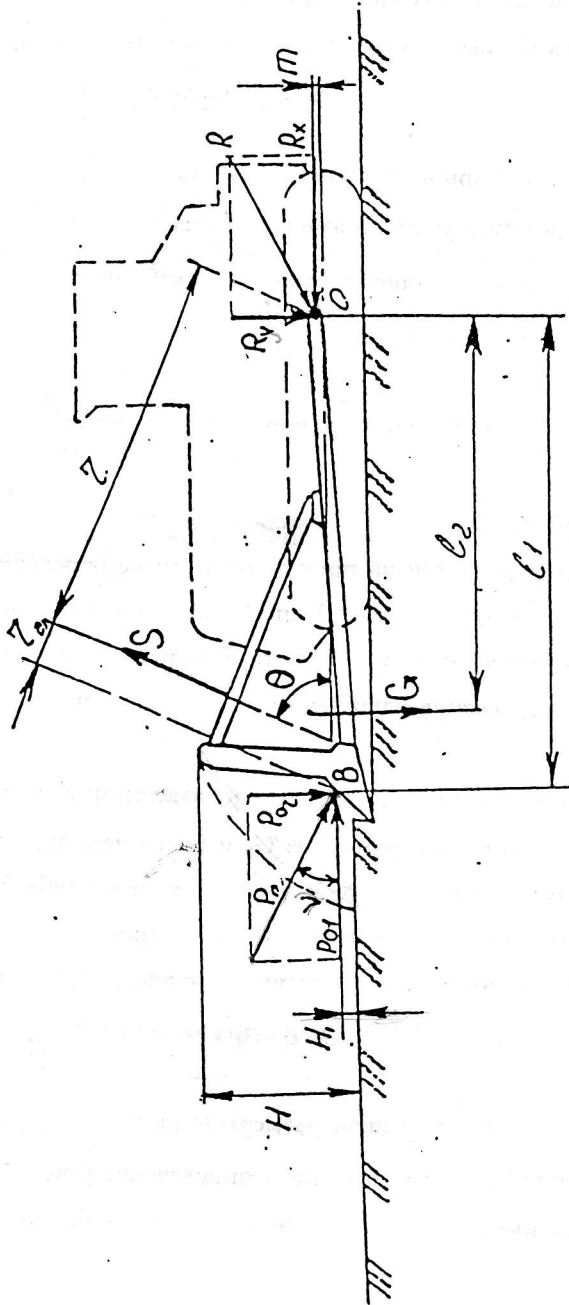


Рис. 4. Схема сил, действующих на бульдозер

После определения сил, действующих на бульдозер, выявляют опасные сечения расчленяваемых элементов (отвала, бруса); вычисляют суммарное напряжение в точках этих сечений и сравнивают их с допускаемыми

$$\sigma_{\text{сум}} \leq [\sigma] = \frac{\sigma_a}{n_a}$$

где  $\sigma_{\text{сум}}$  - суммарное напряжение, кН/мм<sup>2</sup>;

$[\sigma]$  - допускаемое напряжение, кН/мм<sup>2</sup>;

$\sigma_a$  - предел прочности материала, кН/мм<sup>2</sup>;

$n_a$  - запас прочности.

### 3.10. Расчеты на прочность в проекте рыхлителя

При работе рыхлителя необходимо произвести расчет рабочего органа и системы подвески на прочность, а также определить необходимые усилия в зависимости от заглубления рабочего органа, режимов работы и физико-механических свойств грунта. При расчете на прочность за основу принимают положения машины, при которых возникают наибольшие нагрузки.

Первое расчетное положение - по известной силе тяжести трактора  $G_T$ , рыхлительного оборудования  $G_p$  и бульдозерного отвала  $G_b$  определяют максимально возможное усилие заглубления зуба  $P_1$  из условия приподнимания машины относительно точки А (рис. 5,а).

Уравнение моментов относительно точки А ( $\sum M_A = 0$ ):

$$P_1 = \frac{G_T \cdot \ell_1 - G_b \cdot \ell + G_p \cdot (L + \ell_1)}{L + \ell_2} \cdot n, \quad \text{Н},$$

где  $L, \ell, \ell_1, \ell_2, \ell_3$  - линейные размеры (см.рис. 5,а).

Второе расчетное положение - определение условий выглубления зуба при максимальном его заглублении. В этом случае силу  $P_2$  (рис. 5,б)

определяют из условия опрокидывания рыхлителя относительно точки Б.

Уравнение моментов относительно точки Б ( $\Sigma M = 0$ )

$$P_B = \frac{G_6 \cdot (\ell + L - \ell_4) + G_T \cdot (\ell_4 - \ell_5) - G_P \cdot (\ell_3 + \ell_5)}{\ell_4 + \ell_5} \cdot H,$$

где  $\ell_4, \ell_5, \ell_3$  - линейные размеры (см. рис. 5,6).

Для расчета рамы и гидравлического привода рыхлителя на прочность к этим силам необходимо добавить силу тяги  $T_H$ .

Схема распространенной в настоящее время четырехточечной параллелограммной подвески рыхлителя и действующих на нее сил для первого расчетного положения показана на рис.6,а. Определим усилия, действующие в элементах такой подвески. Усилия  $R_C$ , направленное вдоль элемента ДС, определяют из суммы моментов относительно точки В ( $\Sigma M_B = 0$ )

$$R_C \cdot b_1 + T_{\max} \cdot h_1 - P_3 \cdot a_1 + G_P \cdot m_1 = 0,$$

откуда

$$R_C = P_3 \frac{a_1}{b_1} - T_{\max} \frac{h_1}{b_1} - G_P \frac{m_1}{b_1}, \text{ Н},$$

где  $T_{\max}$  - максимальная сила тяги, Н;

$a_1, b_1, h_1, m_1$  - линейные размеры (см. рис. 6,а).

Горизонтальную составляющую усилия  $R_{Bx}$ , действующего в элементе АВ, определяем, составив сумму проекций на ось X ( $\Sigma X = 0$ )

$$R_{Bx} = R_C \cdot \cos \alpha_1 - T_{\max}, \text{ Н}.$$

Вертикальную составляющую  $R_{By}$  определяем из суммы проекций всех сил на ось Y:

$$R_{By} = R_C \cdot \sin \alpha_1 - G_P + P_3.$$

Усилие  $R_0$  в гидроцилиндре (элемент ДВ) определяем из уравнения моментов сил, действующих в узле В относительно точки А ( $\Sigma M_A = 0$ )

$$R_0 = \frac{R_{By} \cdot b_2 - R_{Bx} \cdot h_3}{b_3}, \text{ Н},$$



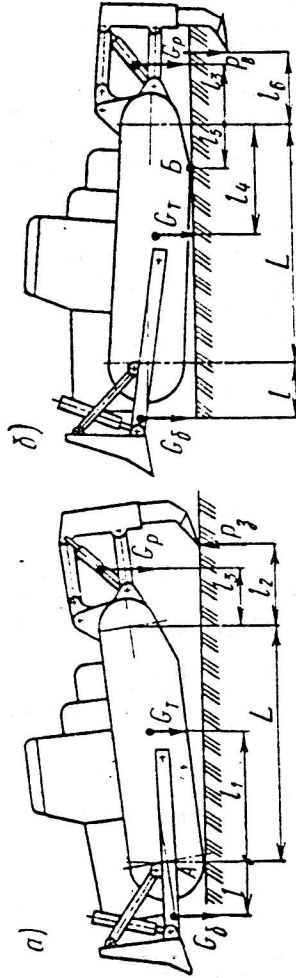


Рис 5. Схемы для определения сил:

а – максимальной силы внедрения  $P_3$ ; б – максимальной силы выглубления  $P_\beta$

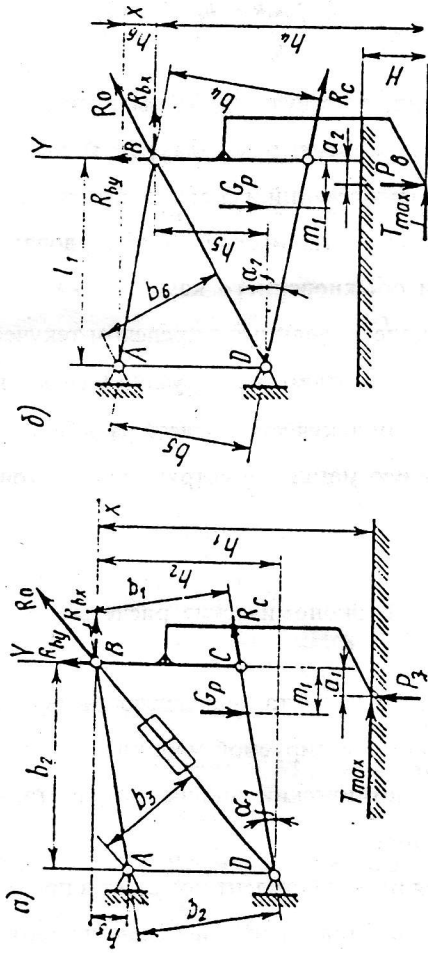


Рис. 6. Схема сил, действующих на параллелограмную подвеску:  
 а — в начале заглабления; б — в начале выглабления

где  $b_2, b_3, h_3$  - линейные размеры (см. рис. 6,а).

По второму расчетному положению (рис. 6,б) усилия в элементах подвески определяем аналогично предыдущему:

$$R_c = P_n \cdot \frac{a_2}{b_4} + T_{\max} \cdot \frac{h_4}{b_4} + G_p \cdot \frac{m}{b_4} \quad ;$$

$$R_{\text{вх}} = R_c \cdot \cos \alpha_1 - T_{\max} \quad ;$$

$$R_{\text{вн}} = R_c \cdot \sin \alpha_2 - G_p - P_n \quad ;$$

$$R_0 = \frac{R_{\text{вн}} \cdot l_1 + R_{\text{вх}} \cdot h_3}{b_2}$$

После определения сил, действующих на рыхлитель, выявляют опасные сечения рассчитываемых элементов (зуба, рамы); вычисляют суммарное напряжение в точках этих сечений и сравнивают их с допускаемыми.

Для металлоконструкции рыхлительного оборудования рекомендуются углеродистые стали обыкновенного качества, качественные, повышенной прочности и низколегированные с пределом текучести около 400 МПа (табл. 4.5 [ 4 ] ). Для особо ответственных узлов (стоек и наконечников) используют стали с пределом текучести после термообработки 1710 МПа (сталь 40ХН2МА). Основную металлоконструкцию изготавливают из стали 10ХСНД и 15ХСНД.

### 3.11. Экономические расчеты

В экономической части проекта определяются основные технико-экономические показатели проектируемой машины. По этим показателям производится технико-экономический анализ разработанной конструкции машины и оборудования.

Исходные данные для расчета студент получает в процессе проектирования машины, а также выбирает дополнительно по соответствующим нормативным материалам.

### 3.11.1. Определение капитальных вложений

При определении стоимости машины и оборудования учитывают оптово-отпускные цены, составленные на основе действующих прейскурантов и ценников с добавлением расходов на ее первоначальную доставку погребителю, демонтаж и монтаж, а также заготовительные, складские и другие снабженческие расходы. При отсутствии цен на оборудование могут быть использованы укрупненные показатели для расчета стоимости новых машин, механизмов и оборудования по их металлоемкости, массе, исходя из средней стоимости 1 кг однородного оборудования.

Стоимость покупных изделий (подшипников, двигателей, редукторов и т.д.) должна определяться по соответствующим каталогам и прейскурантам.

Стоимость основных материалов может быть определена по ориентировочным ценам за 1 т черного веса материалов на изделие, руб.:

сталь углеродистая и низколегированная	110
сталь легированная	120
литье стальное	250
литье чугунное	150
литье бронзовое и латунное	800
литье алюминиевое	600

Заработная плата на изготовление изделия с деталями, обрабатываемыми в основном по третьему классу точности, может ориентировочно вычисляться для индивидуального производства машины по табл.3.

Таблица 3

Число деталей в изделии, группе узлов	Заработная плата (руб) при средней массе детали (кг)					
	0.5	1	2	3	4	10
До 60	15	21	30	42	60	34
" 100	35	49	70	98	140	196
" 150	70	98	140	196	280	395
" 200	110	154	220	308	440	616
" 300	250	350	500	700	1000	1400

К сумме затрат на основную заработную плату и дополнительную добавляются для расчета 5% отчислений на соцстрах. Косвенные расходы на содержание оборудования, общепеховые и общезаводские исчисляются в среднем в размере 250% от основной зарплаты. Окончательная стоимость изделия подсчитывается как сумма перечисленных затрат.

Для расчетов стоимости проектируемой машины можно принимать усредненные величины удельных показателей. Ниже для каждой укрупненной группы изделий, входящих в машину, приведены в числителе стоимость материала на 1 т массы конструкции в руб., а в знаменателе - трудоемкость на 1 т массы в чел.-ч:

простые сварные конструкции	70/200
простые детали механической обработки	90/300
шестерни, редукторы	150/600
автоматические, в том числе гидравлические и электрические устройства	600/2000

Заработная плата принимается в среднем 0,4 руб/чел.-ч. Косвенные расходы исчисляются в размере 250% от основной зарплаты.

Для базисной и новой техники, монтаж которых не производится или затраты на монтаж существенно не различаются, расчетно-балансовую стоимость вычисляют по формуле

$$K = C_{оп} \cdot K_6, \text{ руб.},$$

где  $C_{оп}$  - оптово-отпускная цена машины, руб;

$K_6$  - коэффициент перехода от оптовой цены к расчетно-балансовой стоимости с учетом доставки,  $K_6=1,09$  - для машин, не требующих монтажа;  $K_6=1,12$  - для машин, требующих монтажа.

### 3.11.2. Определение эксплуатационной производительности

Сметную сменную производительность  $\Pi_{см}$  для новых машин рассчитывают по часовой технической производительности

$$\Pi_{см} = \Pi_T \cdot t_{см} \cdot K_в \cdot K_с, \text{ м}^3/\text{см},$$

где  $\Pi_T$  - техническая производительность,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$t_{см}$  - число часов работы машины в смену,  $t_{см}=8,2$  ч;

$K_в$  - коэффициент перехода от часовой технической производительности к эксплуатационной; для бульдозеров  $K_в=0,30$ ; для рыхлителей  $K_в=0,40$ ;

$K_с$  - коэффициент перехода от эксплуатационной производительности к сменной, для бульдозеров  $K_с=0,75$ , для рыхлителей  $K_с=0,78$ .

Годовая эксплуатационная производительность определяется сменной производительностью и числом работы смен в году на отдельных технологических операциях или работах

$$\Pi_{з.г.} = \Pi_{см} \cdot Z_{см.г.}, \text{ м}^3/\text{год},$$

где  $Z_{см.г}$  - число смен работы машины в году с учетом выходных и праздничных дней, продолжительности простоев по метеоусловиям на все виды ремонтов и обслуживания

$$Z_{см.г} = T_{ч.г} / t_{см},$$

где  $T_{ч.г}$  - число часов работы машины в году (годовой фонд времени),  
 $T_{ч.г} = 2025$  ч.

### 3.11.3. Определение удельных капитальных вложений

Удельные капитальные вложения  $K_y$  на единицу продукции или выполненных работ ( на  $1 \text{ м}^3$ ,  $1 \text{ м}^2$  ) определяют по расчетно-балансовой стоимости машины и ее годовой производительности при использовании на различных видах работ или операций

$$K_y = \frac{K \cdot Z_{см.г.оп}}{Z_{см.г} \cdot \Pi'_{з.г}}, \text{ руб.год/м}^3,$$

где  $K$  - расчетно-балансовая стоимость машины, руб;

$Z_{см.г.оп}$  - число смен работы машины на отдельной операции,

$$Z_{см.г.оп} = 247;$$

$Z_{см.г}$  - число смен работы машины в год на всех операциях,

$$Z_{см.г} = 247;$$

$\Pi'_{з.г}$  - годовая эксплуатационная производительность машины на отдельных операциях,  $\text{м}^3/\text{год}$ .

### 3.11.4. Определение удельного расхода энергоресурсов

Данный показатель характеризует экономичность машины по различным видам энергоресурсов или расход энергии на заданный объем работ.

Удельный расход энергоресурсов определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{уд} = \frac{\mathcal{E}}{\Pi}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}\cdot\text{см}/\text{м}^3,$$

где  $\mathcal{E}$  – суммарный расход энергоресурсов машиной в смену, кВт·ч;

$$\mathcal{E} = N_H \cdot t_{см},$$

где  $N_H$  – номинальная мощность двигателя, кВт.

### 3.11.5. Определение удельной металлоемкости

Удельной металлоемкостью называется отношение общего веса машины к ее производительности за весь период службы

$$M_{уд} = \frac{M_B}{1000 \cdot T \cdot \Pi_{э,г}}, \text{ кг}/\text{м}^3,$$

где  $M_B$  – масса металла в машине и вспомогательных устройствах, кг;

$T$  – срок службы машины, лет [2, табл.6.7].

### 3.11.6. Определение себестоимости машино-смены

Себестоимость машино-смены рассчитывают по формуле

$$C_{см} = C_{ед} + C_{ам} + C_{обс} + C_{эн} + C_{то} + C_{осн}, \text{ руб}/\text{м}\cdot\text{см};$$

где  $C_{ед}$  – сменные машиновременные затраты, руб/м·см;

$C_{ам}$  – сменные затраты по амортизационным отчислениям, приходящиеся на 1 машино-смену, руб/м·см; 75,7 / 297,3

$C_{обс}$  – сменные затраты на обслуживающий персонал, руб/м·см;

4,9  $C_{эн}$  – сменные энергетические затраты, руб/м·см; 36

$C_{то}$  – сменные затраты на ТО и ТР машины, руб/м·см; 286,6

$C_{осн}$  – сменные затраты на износ и ремонт сменной оснастки, 110,3 руб/м·см.



Сменные единовременные затраты

$$C_{\text{ед}} = \frac{K_{\text{зс}} \cdot C_{\text{тр}} \cdot G \cdot n}{Z_{\text{см.г}}} + \frac{K_{\text{пл}} \cdot C_{\text{мон}} \cdot G \cdot n}{Z_{\text{см.г}}}, \text{ руб./м} \cdot \text{см}$$

где  $K_{\text{зс}}$  - коэффициент, учитывающий заготовительно-складские расходы,  $K_{\text{зс}}=1,04$ ;

$C_{\text{тр}}$  - стоимость транспортных расходов 1т массы машины, руб,

$C_{\text{тр}} = 225000 \dots 250000$  руб;

$G$  - масса машины, т;

$K_{\text{пл}}$  - коэффициент, учитывающий плановые накопления на монтажных работах;  $K_{\text{пл}} = 1,13$ ;

$C_{\text{мон}}$  - стоимость монтажа, руб,  $C_{\text{мон}} = 10000 \dots 15000$  руб;

$n$  - число перебазирований машины с объекта на объект в году с демонтажом и монтажом,  $n = 1 \dots 3$ .

Сменные затраты на амортизационные отчисления, приходящиеся на 1 машино-смену,

$$C_{\text{ам}} = \frac{A}{Z_{\text{см.г}}} \cdot 1,1, \text{ руб./м} \cdot \text{см}$$

где 1,1 - коэффициент, учитывающий косвенные расходы (10%);

$A$  - амортизационные отчисления на полное восстановление и капитальный ремонт машины, руб.

$$A = \frac{K \cdot a}{100}, \text{ руб.}$$

где  $a$  - норма амортизационных отчислений, %,  $a = 12\%$ .

Сменные затраты на обслуживающий персонал  $C_{\text{обс}}$  принимаем в соответствии с числом и квалификацией персонала. Эти затраты определяют с учетом косвенных расходов (25%) и премиальных надбавок в размере 12,5%.

$$C_{\text{обс}} = Z_{\text{т.ч.}} \cdot t_{\text{см}} \cdot 1,25 \cdot 1,125, \text{ руб./м} \cdot \text{см}$$

где  $Z_{\text{т.ч.}}$  - часовая тарифная ставка, руб [2, стр.254].

Сменные энергетические затраты

$$C_{эн} = N_{дв} \cdot t_{см} \cdot 0,021 + C_{всп}, \text{ руб/м} \cdot \text{см}$$

где  $N_{дв}$  - номинальная мощность двигателя, кВт;

$C_{всп}$  - стоимость вспомогательных смазочных и обтирочных материалов (принимается 1,7 % от расчетно-балансовой стоимости машины).

Сменные затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт можно принять 13 % от расчетно-балансовой стоимости.

Сменные затраты на износ и ремонт сменной оснастки можно принять 5 % от расчетно-балансовой стоимости машины.

### 3.11.7. Определение себестоимости продукции

Себестоимость единицы продукции определяют по величине ее себестоимости и сменной производительности машины

$$C_y = \frac{C_{см}}{П_{см}}, \text{ руб/м}^3$$

### 3.11.8. Годовой экономический эффект от внедрения проектируемой машины

Годовой экономический эффект от внедрения проектируемой машины определяется по формуле

$$Э = [(C_{у.с.} - C_{у.н.}) + E_n(K_{у.с.} - K_{у.н.})] \cdot П_{э.г.н.}, \text{ руб/год}$$

где  $C_{у.н.}$  и  $C_{у.с.}$  - себестоимость единицы продукции соответственно для новой и сравниваемой машины, руб/м<sup>3</sup>;

$E_n$  - нормативный коэффициент эффективности капиталовложения,  $E_n = 0,15$ ;

$K_{у.н.}$  и  $K_{у.с.}$  - удельные капитальные вложения по новой и сравниваемой машинам, руб · год/м<sup>3</sup>.

## Список литературы

1. Алексеева Т.В., Артемьев К.А., Бромберг А.А. и др. Дорожные машины. Ч.1. Машины для земляных работ.- М.: Машиностроение, 1972.- 504с.
2. Проектирование машин для земляных работ / Под ред. А.М.Холодова.- Х.: Вища шк.,1986. - 272с.
3. Гаркави Н.Г., Аринченков В.И., Карпов В.В. и др. Машины для земляных работ. - М.: Высш.шк.,1982.- 335с.
4. Захарчук Б.З., Телушкин В.Д., Шлойдо Г.А., Яркин А.А. Бульдозеры и рыхлители. -М.: Машиностроение, 1987.- 240с.
5. Методические указания к практическим занятиям по курсу "Дорожные машины"-Чита, 1993.- 14с.
6. Справочник конструктора дорожных машин /Под.ред. И.П.Бородачева.-М.:Машиностроение, 1973.-504с.
7. Методические указания к практическим занятиям по курсу "Машины для земляных работ": Чита, 1988.- 40с.
8. Домбровский Н.Г., Гальперин М.И. Строительные машины. Ч.П.- 7. Высш.шк.,1985. - 224 с.

## О Г Л А В Л Е Н И Е

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ .....	3
1.1. Цели и задачи .....	3
1.2. Организация работы над курсовым проектом .....	3
1.3. Использование ЭВМ при выполнении курсового проекта .....	4
2. СОСТАВ И ОБЪЕМ ПРОЕКТА .....	5
2.1. Графическая часть .....	5
2.2. Расчетно-пояснительная записка .....	6
3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ .....	7
3.1. Расчет основных параметров отвала бульдозера ...	7
3.2. Расчет основных параметров рыхлителя .....	8
3.3. Тяговый расчет бульдозера .....	8
3.4. Тяговый расчет рыхлителя .....	9
3.5. Расчет мощности привода базовой машины .....	10
3.6. Проверка рыхлителя на устойчивость .....	10
3.7. Расчет производительности бульдозера .....	12
3.8. Расчет производительности рыхлителя .....	14
3.9. Расчеты на прочность в проекте бульдозера .....	15
3.9.1. Общие положения при расчете на прочность .....	15
3.9.2. Расчет на прочность бульдозерного оборудования ..	16
3.10. Расчет на прочность в проекте рыхлителя .....	24
3.11. Экономические расчеты .....	28
3.11.1. Определение капитальных вложений .....	29
3.11.2. Определение эксплуатационной производительности .....	31
3.11.3. Определение удельных капитальных вложений ....	32
3.11.4. Определение удельного расхода энергоресурсов ....	32

3.11.5. Определение удельной металлоемкости .....	33
3.11.6. Определение себестоимости машино-схемы .....	33
3.11.7. Определение себестоимости продукции .....	35
3.11.8. Годовой экономический эффект от внедрения проектируемой машины.....	35
Список литературы.....	36
Приложения .....	39