

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
НАБЕРЕЖНОЧЕЛНИНСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технологии строительства и управления недвижимостью»

***Учебно-методическое пособие по практическим
занятием***

по дисциплине «Строительные машины»

*для слушателей курсов дополнительного образования по направлению
подготовки «Промышленное и гражданское строительство».*

Набережные Челны

2019

Учебно-методическое пособие по практическим занятием по дисциплине «Строительные машины» для слушателей курсов дополнительного образования по направлению подготовки «Промышленное и гражданское строительство». / Составили Новоселов О.Г. г. Набережные Челны: НЧИ КФУ, 2019.

За основу методического указания были использован материал из пособия «Козориз С.Е. Методические указания к практическим работам по дисциплине Строительные машины и оборудование для студентов специальности 050729 «Строительство» для очной формы обучения 2010 г. – 81 с.» и нормативные отраслевые документы (СП, ГОСТ, ВСН) на основании редакции Федерального закона от 18 декабря 2006 года № 230-ФЗ (Свободное использование произведений).

Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению 08.03.01 «Строительство»

Печатается по решению заседания кафедры «Технологии строительства и управления недвижимостью» Казанского (Приволжского) федерального университета.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1
ТЕМА: ТЯГОВЫЙ РАСЧЕТ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Цель занятия: Произвести тяговый расчет автомобильного транспорта при транспортировке грузов, определить производительность и сменный пробег автомобиля.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

1. Определить возможную силу тяги автосамосвала по условию сцепления с дорогой на каждом участке.
2. Определить скорость движения груженого и порожнего автомобиля на каждом участке пути.
3. Определить продолжительность движения автомобиля на каждом участке пути в оба конца.
4. Подсчитать время загрузки автомобиля.
5. Подсчитать длительность рейса автомобиля, учитывая время на разгрузку и загрузку.
6. Определить сменную производительность и сменный пробег машины.

Данные для расчета приведены в табл. 2.1 – 2.3.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА

1. Считая постоянной скоростью движения определяем возможную силу тяги автомобиля по условию сцепления с дорогой на каждом участке пути (рис. 2.1) по формуле:

$$F_{кр} = \varphi_k G_{сц} \cdot N, \quad (2.1)$$

где φ_k – коэффициент сцепления шин с дорогой на k -том участке пути (табл. 2.3).
 $G_{сц}$ – сила сцепления веса автомобиля, Н (табл.2.2).

Должно выполняться условие

$$F_k \geq G_g (f_k + i_k), \quad (2.2)$$

где G_g – сила веса груженого автомобиля, эксплуатационная, Н (табл.2.2).
 f_k – удельное сопротивление движению на k -том участке пути (табл. 2.3).
 i_k – уклон k -того участка пути (табл. 2.1).

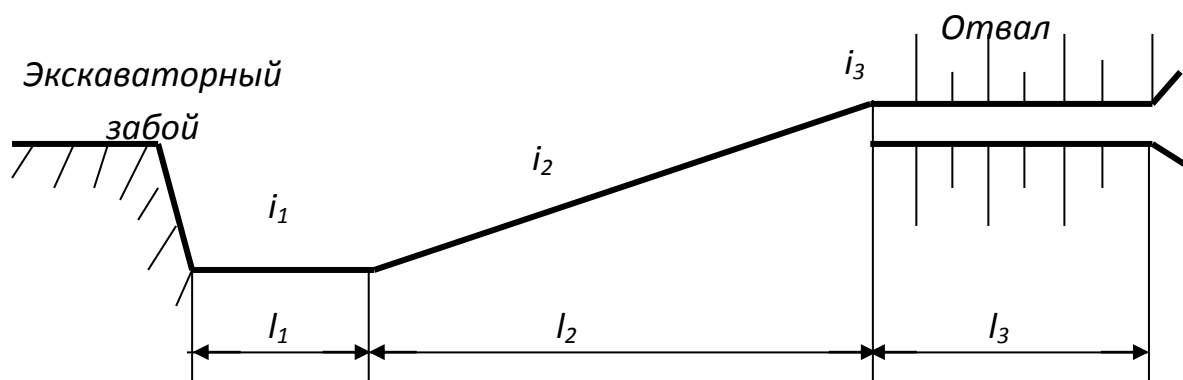


Рисунок 2.1 - Схема трассы движения автомобиля

2. Рассчитываем динамический фактор груженого D и порожнего D_0 автомобиля для каждого участка по формулам

$$\begin{aligned} D &= f + i, \\ D_0 &= f - i. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Пользуясь значениями динамического фактора выбираем по динамической характеристике (рис. 2.2) скорость движения груженого и порожнего автомобиля. При определении скорости порожнего автомобиля пользуемся шкалой: D_0 - V , груженого автомобиля шкалой D - V .

В случае отрицательного значения динамического фактора рассчитываем скорость движения на участке по формуле (2.4), задаваясь величиной S_T тормозного пути. Для условий строительной площадки можно принимать $S_T = 5$ м.

$$v = \sqrt{9,97 S_T (\varphi - i + f)}, \text{ м/с} \quad (2.4)$$

3. Определяем продолжительность движения на каждом участке трассы

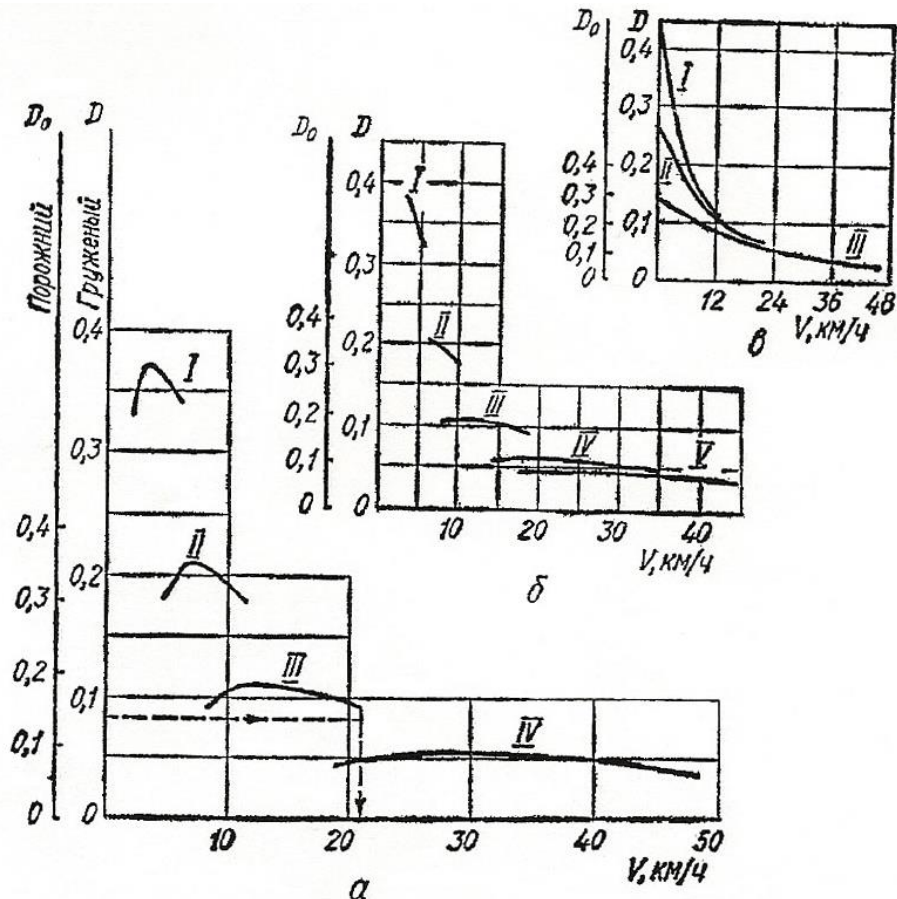
$$t_1 = \frac{l_1}{0,9} \left(\frac{1}{v_1^{\text{гр}}} + \frac{1}{v_1^{\text{пор}}} \right), \text{ с} \quad t_2 = \frac{l_2}{0,9} \left(\frac{1}{v_2^{\text{гр}}} + \frac{1}{v_2^{\text{пор}}} \right), \text{ с} \quad t_3 = \frac{l_3}{0,9} \left(\frac{1}{v_3^{\text{гр}}} + \frac{1}{v_3^{\text{пор}}} \right), \text{ с}, \quad (2.5)$$

где l_1, l_2, l_3 – длины участков трассы, м (табл. 2.1);

$v_1^{\text{гр}}, v_2^{\text{гр}}, v_3^{\text{гр}}$ – скорости движения груженого автомобиля на каждом участке пути, м/с;

$v_1^{\text{пор}}, v_2^{\text{пор}}, v_3^{\text{пор}}$ – скорости движения порожнего автомобиля на тех же участках, м/с;

0,9 – коэффициент, учитывающий затраты времени на ускорение и замедление движения.



a – МАЗ-503А; *б* – КраЗ-256Б; *в* – БелАЗ-540
 Рисунок 2.2 - Динамические характеристики автосамосвалов

Вычисляем продолжительность загрузки автомобиля

$$t_{\text{загр}} = t_{\text{ц}} n, \text{ с}, \quad (2.6)$$

где $t_{\text{ц}}$ – рабочий цикл экскаватора, с (табл. 2.2);
 n – количество ковшей вмещающихся в кузов автомобиля, (табл. 2.2).

Необходимо проверить условие грузоподъемности автомобиля

$$Q_{\text{гр}} \geq V_{\text{ков}} n \rho = Q, \text{ кг} \quad (2.7)$$

где $Q_{\text{гр}}$ – грузоподъемность автомобиля, кг (табл. 2.2);
 $V_{\text{ков}}$ – емкость ковша экскаватора, м³ (табл. 2.2);
 ρ – насыпная плотность грунта, кг/м³ (табл. 1.5);
 Q – масса груза, кг.

Если условие (2.7) не выполняется, необходимо уменьшить количество ковшей грунта, засыпаемых в кузов автомобиля и уточнить время загрузки.

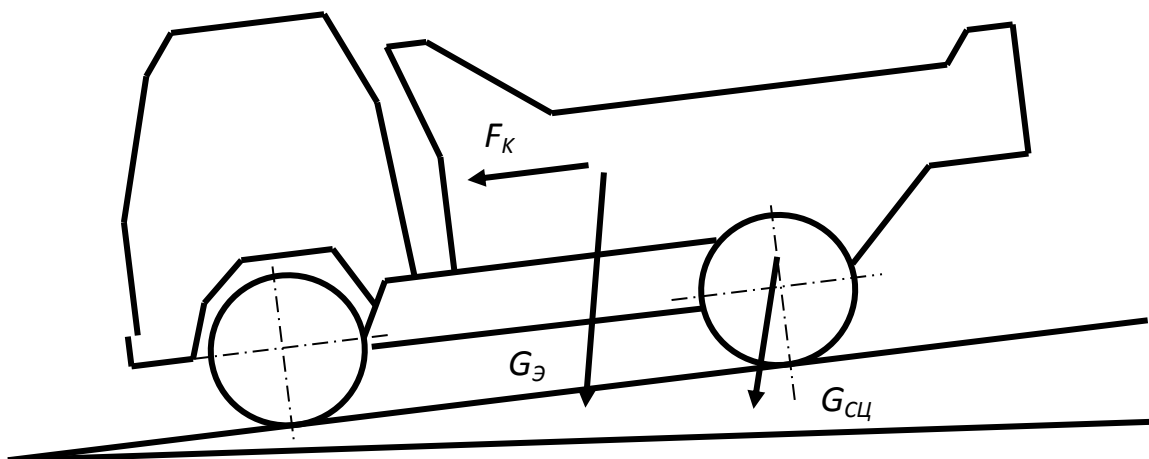


Рисунок 2.3 - Схема сил, действующих на автомобиль

4. Подсчитываем длительность рейса автомобиля, учитывая время на загрузку и разгрузку

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 + t_{\text{загр}} + t_{\text{разгр}}, \text{ с}, \quad (2.8)$$

где $t_{\text{РАЗГР}}$ – длительность разгрузки автомобиля с учетом маневров, с (табл. 2.2).

5. Определить сменную производительность автомобиля

$$P_c = \frac{3,6 T k_B Q}{t_p}, \quad (2.9)$$

и сменный пробег автомобиля

$$L_c = \frac{3,6 T k_B 2(l_1 + l_2 + l_3)}{t_p}, \text{ км}, \quad (2.10)$$

где T – количество часов в смену, 8,2 часа;

k_b – коэффициент использования сменного времени равный 0,85-0,9.

Таблица 2.1 – Исходные данные к расчету

№ варианта	Длина участка, м(см. рис. 2.1)			Уклон участка		
	l_1	l_2	l_3	i_1	i_2	i_3
1	300	2000	1300	0,02	0,06	0,045
2	350	2100	400	0,03	0,08	0,035
3	400	3200	500	0,04	0,12	0,025
4	450	2300	300	0,025	0,05	0,04
5	500	2400	400	0,035	0,07	0,03
6	550	2500	500	0,045	0,10	0,02
7	600	2600	1300	0,02	0,06	0,045
8	650	2700	400	0,025	0,08	0,035
9	700	2800	500	0,03	0,1	0,025
10	750	2900	1300	0,04	0,12	0,04
11	800	3000	400	0,02	0,06	0,05
12	850	3100	500	0,03	0,05	0,04
13	900	3200	300	0,04	0,065	0,01
14	950	3300	400	0,02	0,06	0,045
15	1000	3400	500	0,03	0,08	0,035
16	300	3500	400	0,04	0,12	0,025
17	3500	3600	500	0,05	0,04	0,02
18	400	3700	1300	0,035	0,07	0,04
19	450	3800	400	0,035	0,07	0,04
20	500	3900	500	0,045	0,07	0,02
21	550	4000	300	0,02	0,06	0,045
22	600	4100	400	0,03	0,08	0,065
23	650	4200	500	0,04	0,12	0,02
24	700	4300	1300	0,025	0,05	0,04
25	750	4400	400	0,035	0,07	0,03
26	800	4500	500	0,045	0,1	0,02
27	850	4600	1300	0,04	0,12	0,035
28	900	4700	400	0,05	0,07	0,02
29	950	4800	500	0,025	0,06	0,04
30	1000	5000	1300	0,035	0,07	0,03

Таблица 2.2 – Технические характеристики автомобилей

Показатели	Марка автомобиля		
	МАЗ-503А	КрАЗ-256В	БелАЗ-540
Вариант	1 -10	11-20	21-30
Грузоподъемность $Q_{гр}$, кг	8000	12000	27000
Сила веса груженого автомобиля, G_3 , Н	152500	230000	480000
Сила сцепного веса автомобиля, $G_{сц}$, Н	100000	190000	324000

Емкость ковша экскаватора, $V_k, \text{ м}^3$	0,5	1,0	4,6
Количество ковшей грунта, n вмещающихся в кузов	9	7	4
Продолжительность рабочего цикла экскаватора $t_{ц}, \text{ с}$	15	20	40
Продолжительность разгрузки маневрированием $t_{разгр.}, \text{ с}$	80	100	120

Таблица 2.3 – Значения коэффициентов удельного сопротивления движению f и сцепления φ автомобилей

№ вариантов	Характер дороги	f	φ
1, 2, 3, 4, 5	На первом участке асфальтированное шоссе	0,015	0,65
	На втором участке сухая грунтовая дорога	0,05	0,6
	На третьем участке песок	0,2	0,7
6, 7, 8, 9, 0	На первом участке гравийно- щебеночная дорога	0,025	0,6
	На втором участке грунтовая дорога после дождя	0,1	0,4
	На третьем участке степная укатанная дорога	0,035	0,35

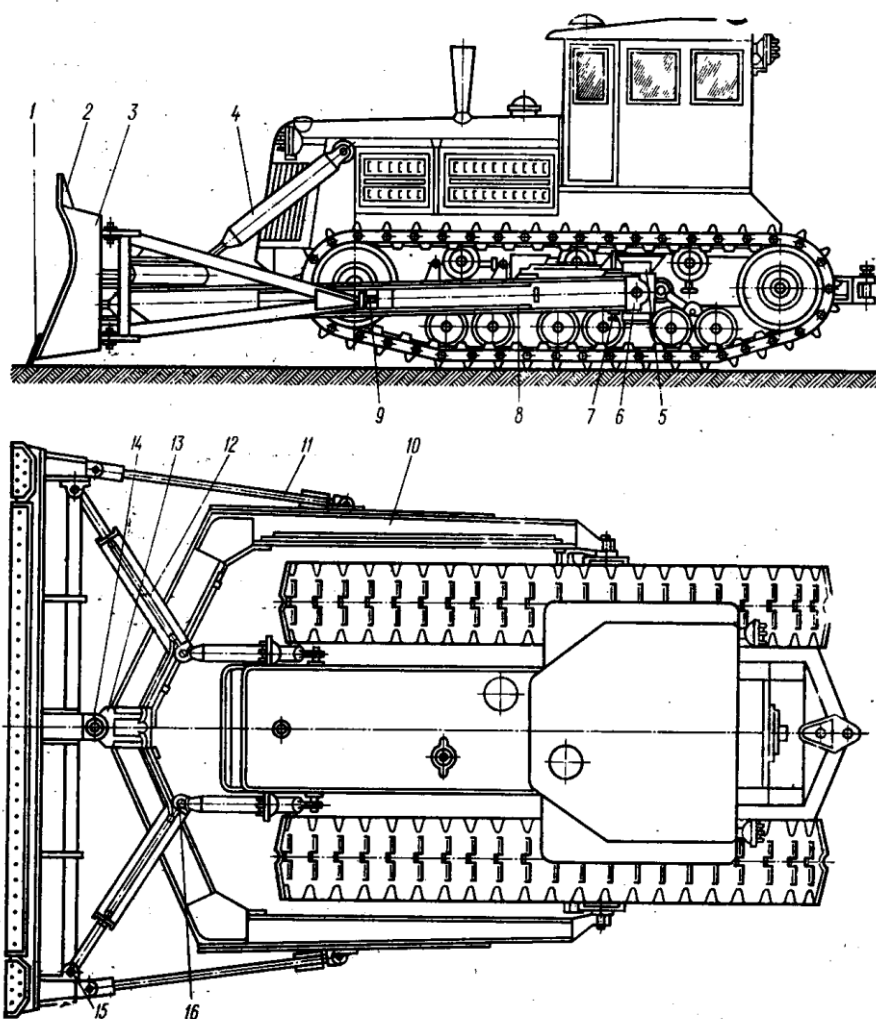
ТЕМА: РАСЧЕТ БУЛЬДОЗЕРА

Цель занятия: Произвести расчет производительности бульдозера.

Данные для расчета приведены в таблице 9.1.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

1. Определить общее усилие сопротивления при работе бульдозера.
2. Проверить по условию сцепления отсутствие буксования движителей трактора.
3. Вычислить продолжительность цикла работы бульдозера.
4. Определить производительность бульдозера при разработке и транспортировке грунта.



1—ножи; 2 — козырек; 3—отвал; 4—гидроцилиндры подъема и опускания отвала; 5— направляющие ползуны опорных пальцев; 6 — опорный шарнир; 7 — гидроцилиндры перекоса отвала; 8—направляющие ползун толкателей; 9 — ползун; 10—универсальная рама; 11—толкатель; 12 — гидроцилиндр поворота отвала в плане; 13—наголовник; 14 — штырь; 15, 16—проушины

Рисунок 9.1 - Бульдозер с поворотным отвалом

МЕТОДИКА РАСЧЕТА

1. Определяем общее усилие сопротивления при работе бульдозера по формуле

$$P' = P_p + P_{\pi} + P_{\tau} + P_{\text{пт}}, \quad (9.1),$$

где P_p – сопротивление грунта резанию, Н;
 P_{π} – сопротивление волочению призмы грунта, Н;
 P_{τ} – сопротивление внутреннему трению, Н;
 $P_{\text{пт}}$ – сопротивление передвижению базового трактора, Н.

- 1.1. Сопротивление грунта резанию

$$P_p = bck, \text{ Н}, \quad (9.2)$$

где b – длина отвала, м (табл. 9.2);
 c – толщина срезаемого слоя, м (табл. 9.4);
 k – коэффициент сопротивления грунта резанию, Н/м² (табл. 9.4).

- 1.2. Сопротивление волочению призмы грунта впереди отвала

$$P_{\pi} = \frac{gh^2b\rho(\mu+i)}{\text{tg } \varphi_r}, \text{ Н}, \quad (9.3)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;
 h – высота отвала, м (табл. 9.2);
 φ_r – угол естественного откоса грунта, $\varphi_r = 39-40^\circ$;
 ρ – плотность грунта, кг/м³ (табл. 9.4);
 μ – коэффициент трения грунта по грунту равный 0,3-0,5;
 i – уклон пути (табл. 9.1).

- 1.3. Сопротивление внутреннему трению

$$P_{\tau} = gbh^2\rho\chi, \text{ Н}, \quad (9.4)$$

где χ – коэффициент, учитывающий влияние вида грунта (табл. 9.4).

- 1.4. Сопротивление движению трактора

$$P_{\text{пт}} = G(f+i), \text{ Н}, \quad (9.5)$$

где G – сила веса бульдозера с трактором, Н (табл. 9.2);
 f – удельное сопротивление движению (табл. 9.4).

2. Проверяем по условию сцепления отсутствие буксования движителей трактора

$$F_{\text{ци}} = G\varphi \geq P \geq P', \text{ Н}, \quad (9.6)$$

где φ - коэффициент сцепления с поверхностью пути (табл. 9.4);
 P – тяговое усилие трактора, Н (табл. 9.3).

3. Вычисляем продолжительность цикла работы бульдозера по формуле

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{р}} + t_{\text{пр}} + t_{\text{ох}} + t_{\text{дв}}, \text{ с}, \quad (9.7)$$

где $t_{\text{р}}$; $t_{\text{пр}}$; $t_{\text{ох}}$; $t_{\text{дв}}$ – время соответственно резания, перемещения грунта, обратного хода и дополнительное, с.

Таблица 9.1 - Исходные данные для расчета

№ варианта	Длина участка l_2 , м	Уклон i	Марка трактора
1	400	0,03	Т-100МЗГП
2	450	0,04	Т-74-09
3	500	0,05	ДТ-75-С2
4	550	0,06	Т-4АП2
5	600	0,07	Т-100МЗ
6	650	0,08	Т-130.1.Г-1
7	700	0,09	Т-130.1.Г-1
8	750	0,02	ДЭТ-250
9	800	0,015	Т-180
10	850	0,020	Т-4АП1
11	900	0,025	Т-100МЗГП
12	950	0,030	Т-74-09
13	1000	0,035	ДТ-75-С2
14	900	0,040	Т-4АП2
15	800	0,045	Т-100МЗ
16	700	0,050	Т-100МЗГП
17	600	0,055	Т-74-09
18	500	0,060	ДТ-75-С2
19	400	0,065	Т-4АП2
20	300	0,070	Т-100МЗ
21	350	0,075	Т-130.1.Г-1
22	400	0,085	Т-130.1.Г-1
23	450	0,090	ДЭТ-250
24	500	0,020	Т-180
25	550	0,025	Т-4АП1
26	600	0,030	Т-100МЗГП
27	650	0,035	Т-74-09
28	700	0,040	ДТ-75-С2

29	750	0,045	T-4АП2
30	800	0,050	T-100МЗ

Время резания подсчитывается по формуле

$$t_p = \frac{l_1}{v_p}, \text{ с}, \quad (9.8)$$

где v_p – скорость движения бульдозера при резании грунта, м/с.

Здесь и далее скорости подбираются по табл. 9.3 из условия, что окружное усилие на ободу ведущего колеса (звездочке) больше суммы сил сопротивлений, действующих на бульдозер при выполнении определенной операции;

l_1 – длина пути резания, определяемая по формуле

$$l_1 = \frac{h^2}{2\mu c}, \text{ м}, \quad (9.9)$$

Время перемещения грунта определим по формуле

$$t_{пр} = \frac{l_2}{v_{пр}}, \text{ с}, \quad (9.10)$$

где l_2 – длина пути перемещения грунта, м (табл. 9.1);

$v_{пр}$ – скорость движения бульдозера при перемещении грунта, м/с.

Время обратного хода бульдозера определим по формуле

$$t_{ох} = \frac{l_1 + l_2}{v_{ох}}, \text{ с}, \quad (9.11)$$

где $v_{ох}$ – скорость движения бульдозера при обратном ходе, м/с;

t – дополнительное время, с.

В дополнительное время входит время на переключение скорости (до 5 с), подъем и опускание отвала (до 4 с) и разворот трактора (до 10 с).

4. Определяем производительность бульдозера при разработке и транспортировке грунта

$$\Pi = \frac{1}{2} abhn\psi \frac{1}{k_p}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (9.12)$$

где k_p – коэффициент разрыхления грунта (табл. 9.4);

a – ширина призмы грунта впереди отвала

$$a = \frac{h}{\text{tg } \varphi_r}, \quad (9.13)$$

ψ – коэффициент потери грунта

$$\psi = 1 - 0,0005l_2 \quad (9.14)$$

n – число циклов за один час работы

$$n = \frac{3600}{t_u}. \quad (9.15)$$

Таблица 9.2 - Характеристики бульдозеров

Параметры	ДЗ-29	ДЗ-42Г	ДЗ-128	ДЗ-101	ДЗ-101А	ДЗ-54	ДЗ-27С	ДЗ-110	ДЗ-110А	ДЗ-180	ДЗ-35Б	ДЗ-118	ДЗ-59	ДЗ-124ХЛ
Базовый трактор	Т-74	ДТ-75	ДТ-75П	Т-4АП1	Т-4АП2	Т-100М	Т-130	Т-130	Т-130	Т-180	Т-180КС	ДЭТ-250М	Т-330	Т-330
Класс трактора	3	3	3	4	4	10	10	10	10	15	15	25	25	25
Сила веса бульдозера с трактором G, кН	65,6	69,1	72,5	98,2	101,5	137,1	133,5	163,0	160,5	170,6	202,9	348,0	440,0	465,0
Длина отвала b, м	2,56	2,56	2,56	2,8	2,8	3,22	3,22	3,22	3,22	3,36	3,64	4,31	3,6	4,73
Высота отвала h, м	0,8	0,8	0,8	0,99	0,99	1,1	1,1	1,15	1,18	1,2	1,2	1,37	1,2	1,55

Таблица 9.3 – Технические характеристики тракторов

Марка трактора	Параметры	Передача							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ДТ-75-С2	Скорость, v , м/с	1,47	1,64	1,83	2,03	2,27	2,52	3,11	-
	Тяговое усилие, P , кН	34,7	30,6	27,0	23,8	20,3	17,9	13,5	-
Т-4АП1	Скорость, v , м/с	0,96	1,12	1,29	1,40	1,76	2,04	2,38	2,65
	Тяговое усилие, P , кН	50,0	50,0	50,0	49,6	41,6	34,9	29,2	25,5
Т-100МЗ	Скорость, v , м/с	0,66	1,05	1,25	1,76	2,04	-	-	-
	Тяговое усилие, P , кН	95,0	56,0	45,5	29,0	15,0	-	-	-
Т-130.1Г-1	Скорость, v , м/с	0,89	1,06	1,23	1,46	1,76	2,12	2,46	2,93
	Тяговое усилие, P , кН	95,0	77,0	65,0	53,0	42,0	33,0	27,3	21,0
Т-180	Скорость, v , м/с	0,79	1,29	1,77	2,4	3,38	-	-	-
	Тяговое усилие, P , кН	132,8	81,8	59,2	43,6	26,2	-	-	-
Т-74-С9	Скорость, v , м/с	1,2	1,51	1,86	2,12	2,6	3,19	-	-
	Тяговое усилие, P , кН	34,0	27,0	27,0	18,2	14,1	10,7	-	-

Таблица 9.4 – Характеристика грунтов

№ варианта	Грунт	ρ_s , кг/м ³	k_s , Н/м ²	χ	f	φ	k_p	c
1	Сухой песок	1500	12x10 ⁴	0,48	0,15	0,50	1,1	0,10
2	Песок влажностью 12-15%	1650	11,6 x10 ⁴	0,46	0,05	0,70	1,15	0,15
3	Чернозем влажностью 4-6%	1555	11,2 x10 ⁴	0,43	0,08	0,60	1,30	0,25
4	Супесь и суглинок влажностью 4-6%	1700	10,8 x10 ⁴	0,39	0,20	0,55	1,30	0,15
5	Сухая глина	1750	10,4 x10 ⁴	0,31	0,25	0,85	1,25	0,10
6	Сухой песок	1500	12x10 ⁴	0,48	0,15	0,50	1,1	0,10
7	Песок влажностью 12-15%	1650	11,6 x10 ⁴	0,46	0,05	0,70	1,15	0,15
8	Чернозем влажностью 4-6%	1555	11,2 x10 ⁴	0,43	0,08	0,60	1,30	0,25
9	Супесь и суглинок влажностью 4-6%	1700	10,8 x10 ⁴	0,39	0,20	0,55	1,30	0,15
0	Сухая глина	1750	10,4 x10 ⁴	0,31	0,25	0,85	1,25	0,10

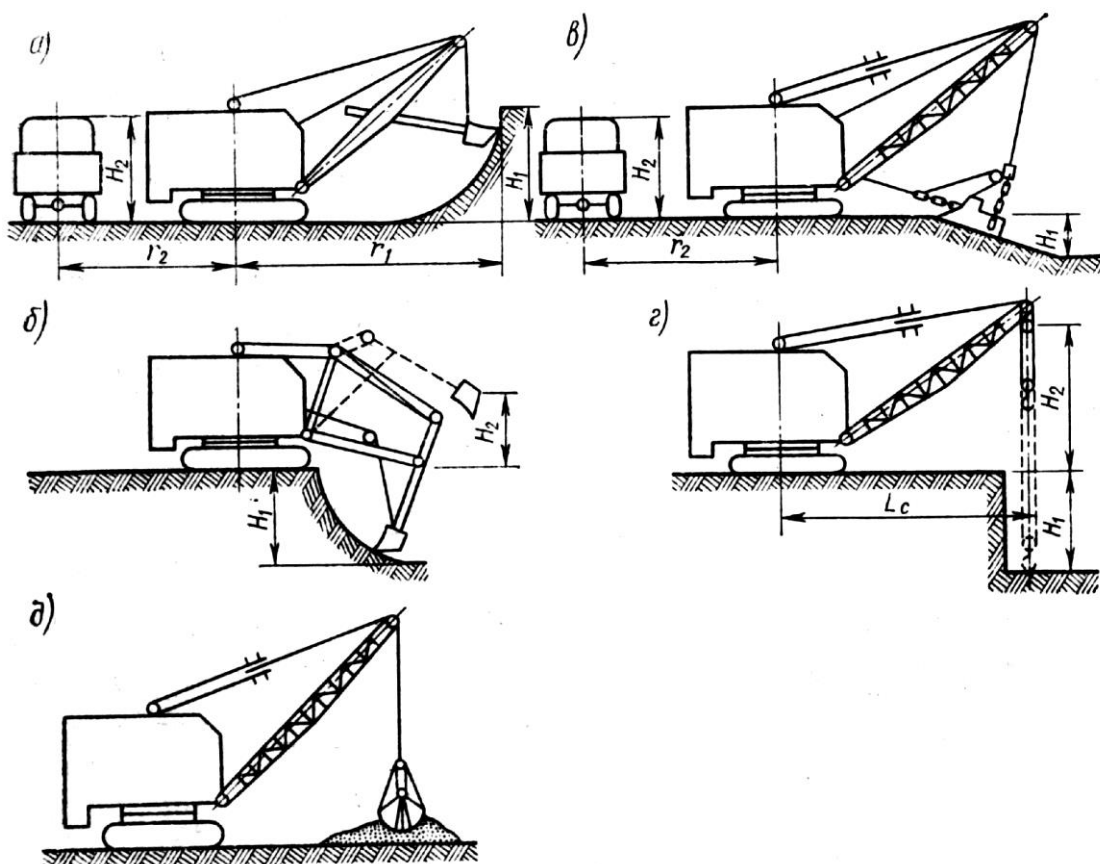
Дополнительный вариант выбирается по последней цифре зачетной книжки.

РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОДНОКОВШОВОГО ЭКСКАВАТОРА

Цель занятия: Изучить кинематическую схему, научиться определять техническую и сменную эксплуатационную производительность одноковшового экскаватора

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

1. Определить техническую производительность экскаватора.
2. Определить сменную эксплуатационную производительность экскаватора.



а—прямая лопата; б—обратная лопата; в—драглайн; г—кран; д — грейфер; H_1 — высота (глубина) копания; H_2 —высота разгрузки (подъема); r_1 — радиус копания; r_2 — радиус выгрузки

Рисунок 8.1 - Основные виды рабочего оборудования одноковшовых экскаваторов

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Таблица 8.1 – Исходные данные для расчета

Вариант	Высота забоя H , м	Вместимость Q , м ³	Группа грунта	Угол поворота экскаватора, град	угловая скорость вращения вала двигателя	Номер позиции элемента для расчета
1	6,2	7,2	I	90	84	24
2	5,8	6,0	II	135	84	7
3	5,4	5,3	III	180	84	10
4	5,0	5,0	IV	90	84	20
5	4,5	3,0	I	135	84	6
6	4,0	7,2	II	180	84	21

7	6,2	6,0	III	90	84	9
8	5,8	5,3	IV	135	84	18
9	5,4	5,0	I	180	84	25
10	5,0	3,0	II	90	84	19
11	4,5	7,2	III	135	94	11
12	4,0	6,0	IV	180	94	5
13	6,2	5,3	I	90	94	12
14	5,8	5,0	II	135	94	13
15	5,4	3,0	III	180	94	22
16	5,0	7,2	IV	90	94	21
17	4,5	6,0	I	135	94	20
18	4,0	5,3	II	180	94	19
19	6,2	5,0	III	90	94	18
20	5,8	3,0	IV	135	94	18
21	5,4	7,2	I	180	104	19
22	5,0	6,0	II	90	104	20
23	4,5	5,3	III	135	104	21
24	4,0	5,0	IV	180	104	22
25	6,2	3,0	I	90	104	23
26	5,8	7,2	II	135	104	24
27	5,4	6,0	III	180	104	25
28	5,0	5,3	IV	90	104	24
29	4,5	5,0	I	135	104	23
30	4,0	3,0	II	180	104	15

1. Определяем техническую производительность одноковшового экскаватора по формуле

$$P_{\text{ТЕХ}} = \frac{3600 g k_H}{t_{\text{ц}} k_p}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (8.4)$$

где g – емкость ковша экскаватора, м^3 (табл. 8.5);
 k_H – коэффициент наполнения ковша грунтом (табл. 8.4);
 k_p – коэффициент разрыхления грунта в ковше (табл. 8.4);
 $t_{\text{ц}}$ – продолжительность рабочего цикла.

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{к}} + t_{\text{п}} + t'_{\text{п}} + t_{\text{р}}, \text{ с}, \quad (8.5)$$

где $t_{\text{р}}$ – время разгрузки, принимаем 2 с;
 $t_{\text{к}}$ – время копания грунта.

$$t_{\text{к}} \leq 2,7 \sqrt[4]{G k_B}, \text{ с}, \quad (8.6)$$

где k_B – коэффициент изменения времени копания (табл. 8.4);
 G – масса экскаватора, т (табл. 8.5);
 $t_{\text{п}}$ – время поворота экскаватора к месту разгрузки, с;
 $t'_{\text{п}}$ – время поворота экскаватора к исходному положению, с, принимаем $t_{\text{п}} = t'_{\text{п}}$, поэтому $t_{\text{п}} + t'_{\text{п}} = 2 t_{\text{п}}$.

Время $2 t_{\text{п}}$ выбирается по следующей зависимости, заданной углом поворота экскаватора

$$\begin{array}{ll} 90^\circ & 2 t_{\text{п}} \leq 1,2 R_{\text{в}} \\ 135^\circ & 2 t_{\text{п}} \leq 1,55 R_{\text{в}} \end{array}$$

где R_B – радиус выгрузки, м (табл. 8.5). 180° $2 t_{п} \leq 1,99R_B$

1. Определяем сменную эксплуатационную производительность экскаватора

$$P_{см} = P_{тех} K_{тр} K_{пер} P_p, \quad (8.7)$$

где $K_{тр}$ – коэффициент, учитывающий перерывы на смену транспортных средств у экскаватора

$$K_{тр} = \frac{Q / P_{тех}}{Q / P_{тех} + t_{обм}}, \quad (8.8)$$

где Q – емкость кузова автосамосвала, м³ (табл. 8.1);
 $t_{обм}$ – время обмена автосамосвала у экскаватора, принимаем 0,01 ч;
 $K_{пер}$ – коэффициент, учитывающий время на передвижение экскаватора.

$$K_{пер} = \frac{V / P_{тех} K_{тр}}{V / P_{тех} K_{тр} + t_{пер}}.$$

$t_{пер}$ – время передвижения экскаватора к новому элементу забоя, принимаем равное 0,018 ч;

V – объем элемента забоя, разрабатываемый с одной стоянки.

$$V = \frac{\pi H}{2} [R^2 - (R - l_p)^2], \text{ м}^3 \quad (8.9)$$

где H – высота забоя, м (табл. 8.1);
 R – наибольший радиус копания, м (табл. 8.5);
 l_p – длина рукоятки, м (табл. 8.5);
 P_p – число часов работы экскаватора в смену, исключая время на пересмену, смазку машины, крепежный ремонт, очистку ковша и т.д., принимаем 7 ч.

Таблица 8.3 – Характеристика грунтов

№ варианта	Грунт	ρ , кг/м ³	k , Н/м ²	χ	f	ϕ	k_p
1	Сухой песок	1500	12x10 ⁴	0,48	0,15	0,50	1,10
2	Песок влажностью 12-15%	1650	11,6 x10 ⁴	0,46	0,05	0,70	1,15
3	Чернозем влажностью 4-6%	1555	11,2 x10 ⁴	0,43	0,08	0,60	1,30
4	Супесь и суглинок влажностью 4-6%	1700	10,8 x10 ⁴	0,39	0,20	0,55	1,30
5	Сухая глина	1750	10,4 x10 ⁴	0,31	0,25	0,85	1,25
6	Сухой песок	1500	12x10 ⁴	0,48	0,15	0,50	1,10
7	Песок влажностью 12-15%	1650	11,6 x10 ⁴	0,46	0,05	0,70	1,15
8	Чернозем влажностью 4-6%	1555	11,2 x10 ⁴	0,43	0,08	0,60	1,30
9	Супесь и суглинок влажностью 4-6%	1700	10,8 x10 ⁴	0,39	0,20	0,55	1,30
0	Сухая глина	1750	10,4 x10 ⁴	0,31	0,25	0,85	1,25

Дополнительный вариант выбирается по последней цифре зачетной книжки

Таблица 8.4 – Значения коэффициентов

Группа грунта	I	II	III	IV
Коэффициент наполнения, K_n	1,05	1,1	1,2	1,05
Коэффициент рыхления грунта, K_p	1,05	1,1	1,15	1,2
Коэффициент времени копания, K_v	0,75	0,9	1,0	1,3

Таблица 8.5 – Параметры экскаваторов

Показатель	Марка экскаватора					
	ЭО-3311	ЭО-4111	ЭО-1001	ЭО-6111	ЭО-6112	ЭО-2505
Дополнительный вариант	1,2	3,4	5,6	7,8	9	0
$g, м^3$	0,4	0,65	1,0	1,25	1,25	2,5
$G, т$	11,7	22,6	36,0	43,0	42,0	94,0
$R_v, м$	5,4	7,2	7,4	7,9	8,3	9,7
$R, м$	5,9	7,8	8,4	9,9	9,1	11,1
$l_p,$	2,3	4,5	4,91	4,9	4,9	6,1

Эксплуатационные расчеты многоковшовых траншейных экскаваторов

Последовательность выполнения работы

1. По заданной глубине и ширине траншей выбрать экскаватор.
2. Определить техническую производительность экскаватора.
3. Определить оптимальную скорость передвижения экскаватора.
4. Выбрать рабочую скорость передвижения экскаватора.
5. Определить сменную эксплуатационную производительность экскаватора.
6. Рассчитать количество смен работы экскаватора на отрывке траншей.

Методика расчета

1. Выбирая экскаватор, надо исходить из условия, что он должен обеспечить рытье траншей заданной глубины и ширины. Технические характеристики основных марок (индексов) многоковшовых траншейных экскаваторов приведены в табл. 1.

2. Определяем техническую производительность экскаватора $\Pi_{\text{тех}}$. Она зависит от вместимости ковша и числа разгрузок их за единицу времени

$$\Pi_{\text{тех}} = 3,6 \frac{q}{K_p} \cdot n_k, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (1)$$

где 3, 6 – коэффициент перевода из литров в м^3 и из секунд в часы;

q – вместимость ковша, л (табл. 1);

K_p – коэффициент первоначального разрыхления грунта (табл. 2);

n_k – количество ковшей, разгружаемых в секунду.

Количество ковшей, разгружаемых в секунду, для цепных траншейных экскаваторов с ковшовым рабочим органом равно

$$n_k = \frac{g_y}{l}, \text{ с}^{-1}, \quad (2)$$

где g_y – скорость цепи, м/с (табл. 1);

l – шаг ковшей, (расстояние между ковшами на цепи), м (табл. 1).

Количество ковшей, разгружаемых в секунду, для роторных траншейных экскаваторов равно

$$n_k = n_p \cdot m, \text{ с}^{-1}, \quad (3)$$

где n_p – частота вращения ротора, с^{-1} , (табл. 1);

m – число ковшей на роторе (табл. 1).

3. Определяем оптимальную рабочую скорость, которая обеспечивает наибольшую производительность экскаватора и наилучшее использование его двигателя.

Для расчета принимаем, что оптимальная рабочая скорость экскаватора соответствует его технической производительности при отрывке траншеи заданных размеров:

$$V_{\text{опт}} = \frac{P_{\text{тех}}}{B \cdot H}, \text{ м/ч}, \quad (4)$$

где $P_{\text{тех}}$ – техническая производительность экскаватора, м³/ч – формула (1);

B – ширина траншеи, м, по заданию (табл. 3);

H – глубина траншеи, м (там же).

4. Рабочую скорость передвижения экскаватора выбираем согласно технической характеристике экскаватора (табл. 1). Рабочая скорость передвижения экскаватора равна расчетной оптимальной – формула (4) или принимается ближайшей к ней меньшей (табл. 1):

$$V_p \leq V_{\text{опт}},$$

где V_p – рабочая скорость (табл. 1);

$V_{\text{опт}}$ – оптимальная рабочая скорость, рассчитанная по формуле (4).

5. Сменную эксплуатационную производительность экскаватора на отрывке траншеи заданных размеров определяем по формуле

$$P_{\text{э}} = T \cdot B \cdot H \cdot V_p \cdot K_{\text{в}}, \text{ м}^3/\text{смену}, \quad (5)$$

где B – ширина траншеи, м;

H – глубина траншеи, м;

T – продолжительность смены в часах (например, $T = 8$ часов);

V_p – рабочая скорость экскаватора (табл. 1);

$K_{\text{в}}$ – коэффициент использования экскаватора по времени в течение смены (0,5...0,8).

Количество смен работы экскаватора зависит от объема работ и определяется по формуле

$$T_{\text{см}} = V_{\text{тр}} / P_{\text{э}}, \text{ см},$$

где $V_{\text{тр}}$ – объем траншеи, $V_{\text{тр}} = B \cdot H \cdot L$, м³;

L – длина траншеи, м; (табл. 3).

Таблица 1. Технические характеристики траншейных экскаваторов

Показатель	Индекс									
	ЭТЦ-202Б	ЭТЦ-206	ЭТЦ-402	ЭТЦ-406	ЭТР-134	ЭТР-204А	ЭТР-223А	ЭТР-224А	ЭТР-253А	ЭТР-254
1. Размеры разрабатываемой траншеи:										
глубина, м	1...2,3	1...2,3	4	2...4,5	1,3	2	2,2	2,2	2,5	2,4
ширина (по дну), м	0,5	0,4	0,8...1,2	0,66	0,30	1,2	1,5	0,85	2,1	1,8;2,1
2. Вместимость ковша, м	23	25	40	70	–	140	160	85	250	148
3. Шаг ковшей, м	0,96	0,25	0,8	0,95	–	–	–	–	–	–
4. Количество ковшей, шт.	12	36	25	20	18	14	14	16	14	24
5. Скорость цепи, м/с	0,78;1,31	1,4;1,64	1,12	0...1,87	1,92	1,45;1,8	1,45;1,8	1,45;1,8	1,88	1,874
6. Частота вращения ротора, с ⁻¹	–	–	–	–	–	0,13; 0,158	0,12	0,15	0,133	0,128
7. Рабочая скорость, м/ч	15...590	15...215	0...290	17,5...150	10...480	10...300	10...300	10...300	20...280	20...500
8. Двигатель (или трактор)	Д-242	Д-130	АМ-01	Д-160	ТТ-4	Д-130/ 160	Д-130/ 160	Д-130/ 160	ДЭТ- 250М	ЯМЗ-240
9. Мощность, кВт	157	107	96	107	96	107	107	107	243	265

Таблица 2. Коэффициенты первоначального разрыхления грунта

Грунт	$K_{п.р}$
Суглинок легкий и лессовидный	1,24
Суглинок тяжелый	1,3
Лесс естественной влажности	1,29
Глина ломовая	1,32
Глина мягкая жирная	1,3

Таблица 3. Варианты заданий

Вариант	Грунт	Размеры траншей, м		
		Глубина	Ширина	Длина
1.	Суглинок лессовидный	2	0,3	1000
2.	То же	3,5	0,4	1500
3.	«	4	0,5	1200
4.	«	1,6	0,66	1100
5.	«	1,8	0,8	2000
6.	Суглинок тяжелый	1,8	0,85	2000
7.	То же	3,2	1	1800
8.	«	3,8	1,1	1500
9.	«	1,4	1,2	1000
10.	«	1,8	1,5	2500
11.	Лесс	1,7	1,8	500
12.	То же	3	2,1	800
13.	«	3,7	0,3	900
14.	«	1,5	0,4	700
15.	«	1,6	0,5	600
16.	Глина ломовая.	1,9	0,66	200
17.	То же	3,4	0,8	1800
18.	«	3,6	0,85	1900
19.	«	1,6	1	1700
20.	«	1,7	1,1	1600
21.	«	2	1,2	1500

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

ТЕМА: ВЫЧИСЛЕНИЕ СМЕННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БАШЕННОГО КРАНА

Цель занятия: определить производительность башенного крана

Данные для расчета приведены в табл. 5.1 и 5.2.

Краном (рис. 5.1) монтируют сборные конструктивные элементы здания и за один цикл поднимают и устанавливают одну конструкцию.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

1. Определить необходимую высоту подъема крюка и вылет стрелы соответствующей этой высоте.
2. Вычислить коэффициент использования крана по грузоподъемности.
3. Начертить рабочую зону крана в масштабе.
4. Определить продолжительность отдельных операций рабочего цикла крана.
5. Вычислить длительность рабочего цикла крана без совмещения операций и при совмещении операций.
6. Начертить схемы последовательности операций рабочего цикла.
7. Определить эксплуатационную производительность башенного крана при работе по совмещенному и не совмещенному циклам.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА

1. Требуемую высоту подъема крюка (рис. 5.1) определяем суммированием:

$$H_{\text{тр}} = H + l_{\text{СТ}} + h_{\text{ИЗД}} + h_{\text{ЗАП}}, \text{ м} \quad (5.1)$$

где H - заданная высота уровня монтажа, м (табл. 5.1);

$l_{\text{СТ}}$ - длина стропов, м (табл. 5.1);

$h_{\text{ИЗД}}$ - высота изделия, м (табл. 5.1);

$h_{\text{ЗАП}}$ - высота подъема груза над уровнем контакта (по условиям техники безопасности принимаем равной 2,5 - 3 м).

По полученному значению $H_{\text{тр}}$ из графика на рис. 5.2 находим вылет стрелы и грузоподъемность крана при этом вылете.

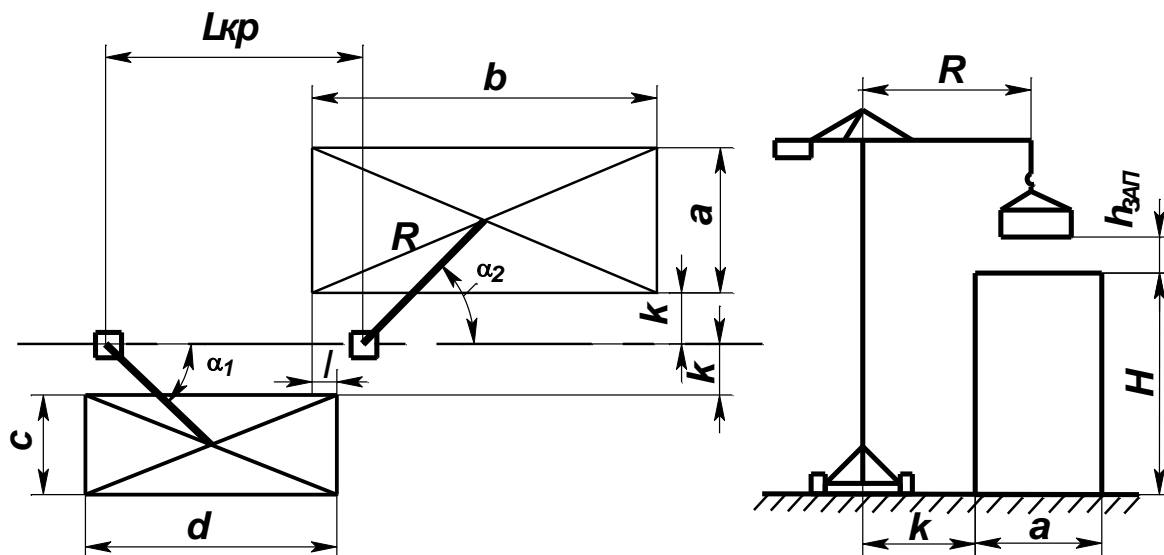


Рисунок 5.1 - Схема рабочей зоны крана: а - план, б- профиль.

2. Вычисляем коэффициент использования крана по грузоподъемности:

$$k_{\Gamma} = \frac{G}{Q}, \quad (5.2)$$

где G - масса изделия, т (табл. 5.1);

Q - грузоподъемность крана при выбранном вылете стрелы, т (рис. 5.2).

3. Чертим рабочую зону крана в масштабе на основании рис. 5.1 с учетом данных числовых значений варианта и выбранного вылета стрелы R . Расстояние k от оси подкранового пути до здания и склада принимаем равным 4-5 м.

4. Определяем продолжительность следующих операций рабочего цикла крана:

t_1 - строповка монтируемого изделия, с;

t_2 - подъем изделия до нужного уровня, с;

t_3 - поворот стрелы крана, с.

t_4 – перемещение крана по рельсовому пути;

t_5 – опускание груза до уровня монтажа, с;

t_6 – удержание монтируемого изделия во время установки, закрепления, подливки раствора, выверке положения и других операций, с.

t_7 – расстроповка монтируемого изделия, с;

t_8 – подъем крюка с грузозахватными приспособлениями над уровнем монтажа, с;

t_9 – возвратный поворот стрелы, с;

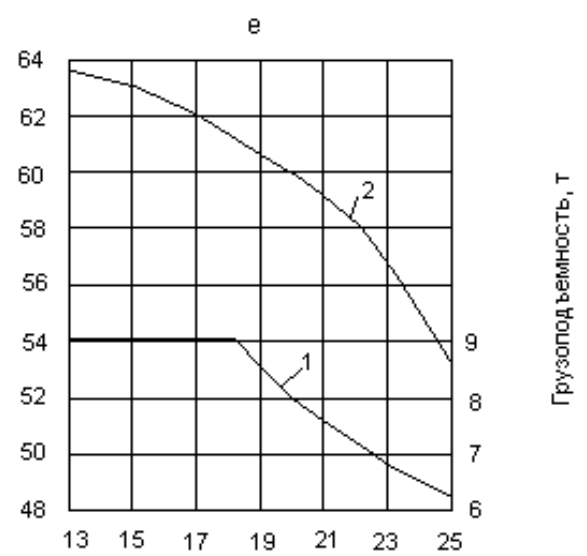
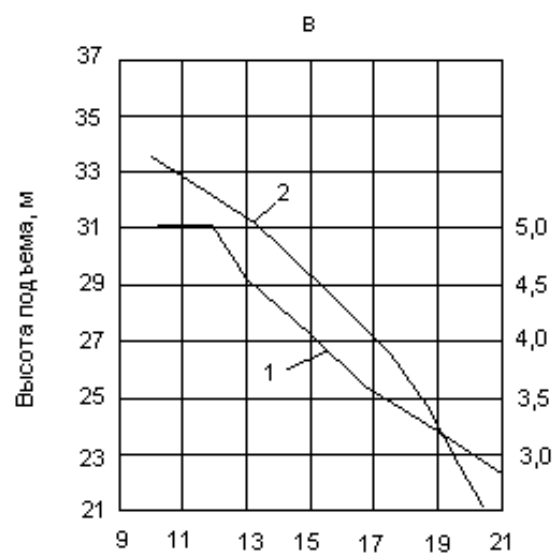
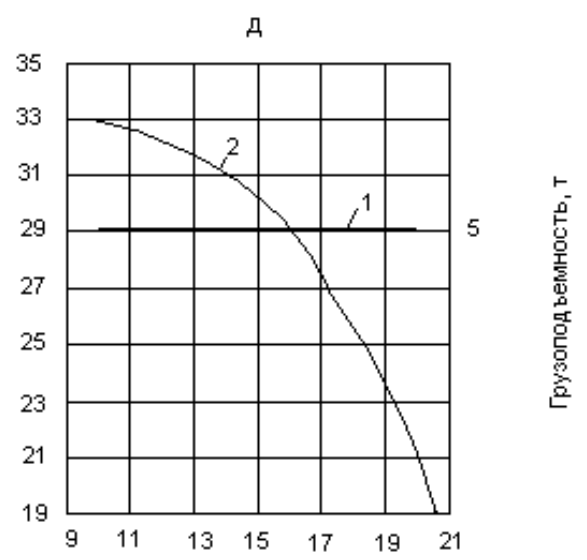
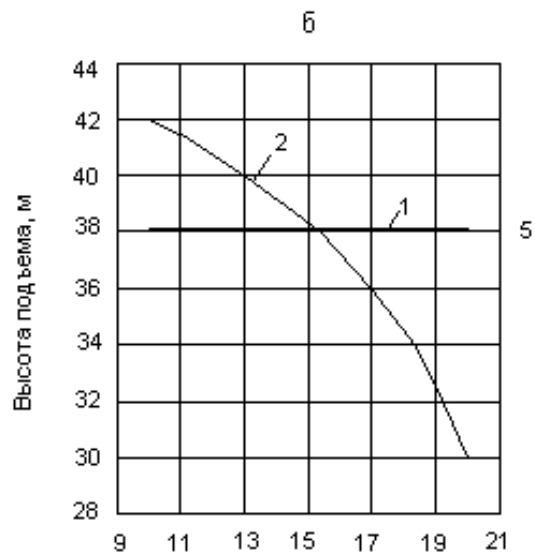
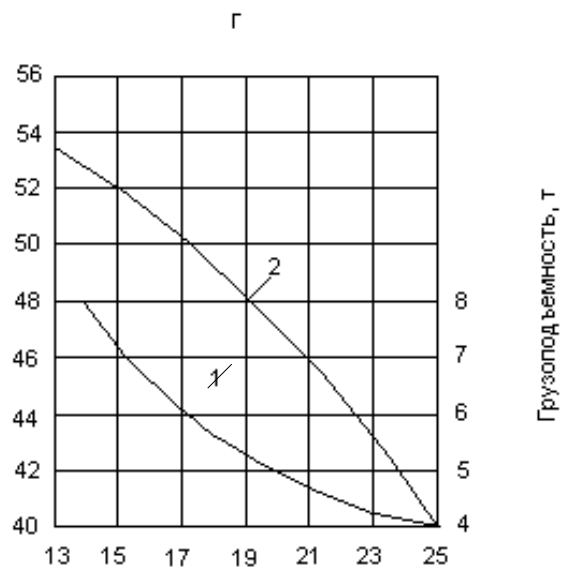
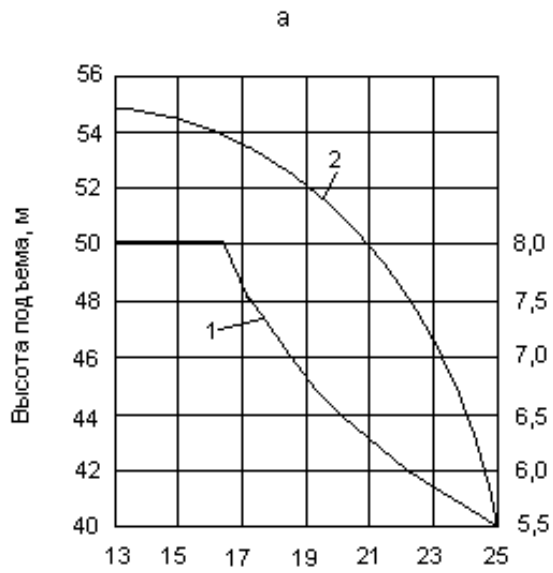
t_{10} – возвратное перемещение крана, с;

t_{11} – опускание крюка с грузозахватными приспособлениями, с.

Продолжительность ручных операций t_1, t_6, t_7 принимаем по нормативным данным (табл. 5.1), а длительность остальных операций вычисляем приближенно по установившимся скоростям рабочих движений крана, без учета периодов разгона и торможения.

Таблица 5.2 – Технические характеристики башенных кранов

Показатели	КБ-160.2	КБ-306А	КБ-100.ОМ	КБ-100.1	КБ-60	КБ-405
Скорость подъема и опускания груза м/с $v_{\text{под}}, v_{\text{оп}}$	0,37	0,40	0,33	0,21	0,33	0,33
Скорость пер. крана м/с	0,3	0,3	0,48	0,48	0,5	0,3
Частота вращения башни, $\omega, \text{с}^{-1}$	0,01	0,01	0,0117	0,0117	0,0117	0,01



а - КБ-160.2, б - КБ-306А, в - КБ-100.ОМ, г - КБ-100.1, д - КБ-60, е - КБ-405

1- грузоподъемность; 2 - высота подъема

Рисунок 5.2 - Графики грузоподъемности и высоты подъема кранов
Продолжительность подъема

$$t_2 = \frac{H + h_{3АП}}{v_{ПОД}}, \text{ с} \quad (5.3)$$

где $v_{ПОД}$ – скорость подъема изделия, м/с (табл. 5.2).

Рабочий поворот

$$t_3 = \frac{\alpha_{СР}}{\omega}, \text{ с} \quad (5.4)$$

где $\alpha_{СР}$ – средний угол, рад;
 ω - угловая скорость поворотной платформы, с⁻¹

Средний рабочий угол поворота находим по схеме рабочей зоны крана (рис. 5.1) графическим способом или аналитическим способом по формуле:

$$\alpha_{СР} = \alpha_1 + \alpha_2 = \arcsin \frac{k + \frac{c}{2}}{R} + \arcsin \frac{k + \frac{a}{2}}{R}, \text{ рад} \quad (5.5)$$

где R – расчетный вылет стрелы.

Время перемещения крана по рельсовому пути:

$$t_4 = \frac{L_{ПЕР}}{v_{ПЕР}}, \text{ с} \quad (5.6)$$

где $L_{ПЕР}$ - средний путь перемещения, м
 $v_{ПЕР}$ - скорость перемещения, м/с (таблица 2.6)

Средний путь перемещения крана (рис. 5.1) принимаем равным расстоянию между центрами рабочих зон склада и здания. Определяем его графически или аналитически по формуле

$$L_{ПЕР} = \frac{b + d}{2} - l + R(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2), \text{ м} \quad (5.7)$$

Время опускания груза до уровня монтажа

$$t_5 = \frac{h_{3АП}}{v_{ОП}}, \text{ с} \quad (5.8)$$

где $v_{ОП}$ - скорость опускания изделия, м/с (таблица 5.2).

Продолжительность подъема крюка со стропами над уровнем монтажа

$$t_8 = \frac{h_{3АП}}{v_{ПОД}}, \text{ с} \quad (5.9)$$

Длительность остальных операций определяем аналогично:

$$t_9 = t_3; \quad (5.10)$$

$$t_{10} = t_4 ; \quad (5.11)$$

$$t_{11} = \frac{H + h_{3АП}}{v_{ОП}} . \quad (5.12)$$

5. Вычисляем длительность рабочего цикла крана. При работе совмещения операций рабочий цикл крана равен сумме времени всех его операций

$$t_{Ц} = \sum_{i=1}^{11} t_i . \quad (5.13)$$

Для повышения производительности крана некоторые операции можно совмещать (например, подъем и перемещение груза). В этом случае при подсчете длительности рабочего цикла учитывают только наиболее длительную из совмещаемых операций:

$$t_{Ц}^{COBM} = t_1 + t_{2 \rightarrow (4)} + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + t_{10 \rightarrow (11)} . \quad (5.14)$$

Вычисление длительности циклов (несовмещенного и совмещенного) надо иллюстрировать выполненными в масштабе схемами (рис. 5.3). Схема для совмещенных операций выполняется следующим образом. Не совмещаемые операции составляют в один ряд, а совмещаемые показываются сверху или снизу от основной, большей по длительности на совмещаемых, как это показано на рисунке 5.3б.

6. Определяем сменную эксплуатационную производительность башенного крана при работе по совмещенному и не совмещенному циклам:

$$P_{CM} = TQk_{Г}k_{В}n, \text{ т/смену} \quad (5.15)$$

где T – продолжительность смены, ч;

Q – грузоподъемность крана, т, при данном вылете стрелы;

$k_{Г}$ – коэффициент использования крана по грузоподъемности;

$k_{В}$ – коэффициент использования крана по времени на протяжении смены, равный 0,82-0,83;

n – число рабочих циклов крана в час, подсчитываемое по формуле:

$$n = \frac{3600}{t_{Ц}} ,$$

где $t_{Ц}$ – средняя длительность рабочего цикла, с.

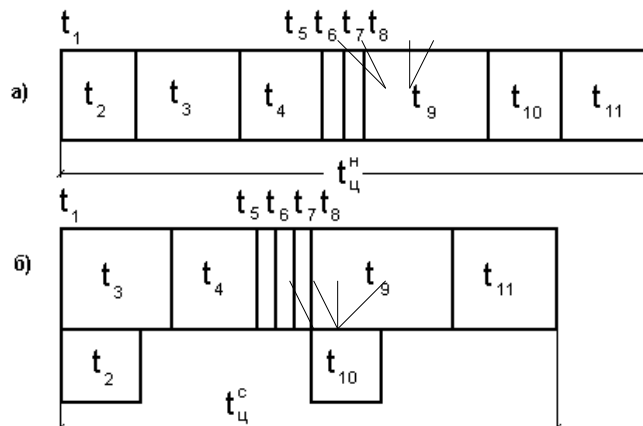


Рисунок 5.3 - Примерная схема построения рабочего цикла крана: а - без совмещения операций;
б - с совмещением операций

Таблица 5.1 – Характеристика изделия

№ п/п	Наименование изделия	Марка изделия	G	$\rho_{изд}$	$l_{стк}$	t_1	t_6	t_7	a	b	c	d	l	H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Плита кровли	Л-3	4,75	0,28	3	1	7,5	0,5	10	50	15	25	12	10
2	Плита кровли	ПК-1	4,15	0,24	3	1	7,5	0,5	10	40	14	20	12	12
3	Плита перекрытия	ПК-8-63-12	4,11	0,22	4	1,5	8	0,6	10	40	13	30	10	13
4	Шахта лифта	2ЛШ-2	3,32	2,79	4	1,5	8	0,6	12	50	12	20	12	14
5	Плита лоджии	ЛП-60-10	3,20	0,22	2,5	1	7,5	0,5	12	40	11	20	10	15
6	Плита лоджии	ЛП-60-10л	3,17	0,22	2,5	1	7,5	0,5	10	45	10	20	12	16
7	Блок внутренней плиты	ВБ-24-26-2-1	2,97	2,38	2,5	1	7,5	0,5	10	45	9	25	12	17
8	Опора лотка	ОЛК-1	2,86	0,24	2	1	7,5	0,5	10	40	8	20	10	4
9	Блок парапета	НБ-76г	2,72	2,24	2,5	1	7,5	0,5	14	45	7	25	12	19
10	Шахта лифта	2ЛШ-1	2,65	1,90	2,5	1	7,5	0,5	12	40	15	20	10	20
11	Плита перекрытия	ПТ-35-12а	2,27	0,22	2	1	7,5	0,5	14	45	14	25	10	21
12	Цокольный блок	Нц-15-15-45	2,21	1,48	2	1,5	7,5	0,5	12	40	13	20	10	22
13	Опора лотка	ОЛК-5	2,04	0,24	2,5	1	7,5	0,5	12	50	12	25	10	3
14	Перегородка внутренняя	ВПК-2-3	1,92	2,55	3	1,5	8,5	0,6	12	40	11	30	10	24
15	Цокольный блок	НЦ-15-13-45	1,73	1,48	4	1	7,5	0,5	12	50	10	25	12	25
16	Козырек входа	КВ-3-5	1,61	0,15	4	1	7,5	0,5	10	45	9	30	10	26
17	Лестница	ЛМ-28-12л	1,52	0,26	3	1,5	8,5	0,6	10	40	8	30	12	27
18	Наружный блок	НБУ-9/7-22,5,5-1	1,38	2,18	3	1,5	8,5	0,6	12	45	7	25	12	28
19	Ограждения лоджии	С-1	1,35	0,95	3	1	7,5	0,5	10	50	15	25	12	29
20	Плита балкона	ПБ-33-5	1,19	0,18	2	1,5	8,5	0,6	12	50	14	30	12	30
21	Перегородка внутренняя	ВПК-10	1,18	2,55	4	1,5	8,5	0,6	12	40	13	25	10	21
22	Лестница	ЛПР-25-12вв	1,16	0,32	3	1	8	0,5	14	45	12	20	12	22
23	Блок внутренней плиты	ВБ-9,26,2-1	1,08	2,54	2,5	1	8	0,5	10	50	11	30	10	23
24	Плита балкона	ПБ-27-5	0,07	0,18	3	1	8	0,5	12	40	10	25	12	24
25	Вентиляционный блок	ВБК	0,85	2,78	3	1	8	0,5	12	45	9	30	12	25

ЛИТЕРАТУРА

1. Бойко Н.И., Чередниченко С.П. Транспортно-грузовые системы и склады. – Ростов н/Д.: Феникс, 2007. – 400 с.
2. Васильев А.П. Ремонт и содержание автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1989. – 287 с.
3. Васильев А.А. Дорожные машины. – М.: Машиностроение, 1987. – 416 с.
4. Ветров Ю.А. Строительные машины. Практические упражнения. – К.: Вища школа, 1970. – 160 с.
5. Гаркави Н.Г. и др. Машины для земляных работ. – М.: Высшая школа, 1982. – 335 с.
6. Гоберман Л.А. Основы теории, расчета и проектирования строительных и дорожных машин. – М.: Машиностроение, 1988. – 464 с.
7. Гриф М.И. Погрузчики мира. Справочник. Выпуск 10. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2005. – 216 с.
8. Додонов Б.П. Грузоподъемные и транспортные устройства. – М.: Машиностроение, 1990. – 248 с.
9. Захарчук Б.З. Бульдозеры и рыхлители. – М.: Машиностроение, 1987. – 240 с.
10. Хальфин М.Н. Грузоподъемные машины для монтажных и погрузочно-разгрузочных работ. – Ростов н/Д.: Феникс, 2006. – 608 с.