

Тяговый расчет машин для земляных работ.

Задание. Составить уравнение силового баланса на тяговом и транспортном режимах работы машины, обеспечивающее нормальное условие движения ее без буксования.

Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.2.

Последовательность выполнения

1. Изучить и усвоить методику тягового расчета машин для земляных работ.
2. Составить уравнение силового баланса при движении машины на: а) рабочем режиме, б) транспортном режиме.
3. Привести расчетные формулы для определения сил, входящих в уравнение силового баланса с объяснением входящих в них величин.
4. Определить или выбрать по таблицам численные значения указанных величин.
5. Рассчитать силы, входящие в уравнение силового баланса.
6. В случае, если уравнение силового баланса не отвечает нормальному условию движения машины на соответствующем режиме, произвести анализ принятых параметров ее режима работы и выбрать такие их значения, при которых бы обеспечивалось условие нормального движения машины.

Методика тягового расчета машины

Тяговый расчет включает в себя составление уравнения силового баланса для двух характерных режимов работы машины – рабочего и транспортного.

Уравнение силового баланса показывает, каким образом движущее усилие, создаваемое двигателем на ведущих колесах или звездочках, распределяется по отдельным видам сопротивлений движению машины.

Нормальным и достаточным условием движения машины, как на рабочем, так и на транспортном режимах, является условие, при котором максимальное

тяговое усилие $T_{\text{дв}}$, развиваемое двигателем машины и передаваемое на ее движитель, будет больше суммы всех сопротивлений ее движению ΣW и меньше максимальной силы тяги движителя по условию его сцепления с поверхностью $T_{\text{сц}}$, т.е.:

$$T_{\text{сц}} \geq T_{\text{дв}} \geq \Sigma W. \quad (4.1)$$

В случае, если:

$$T_{\text{сц}} < T_{\text{дв}} \geq \Sigma W, \quad (4.2)$$

будет иметь место буксование ведущих колес движителя.

В случае, если:

$$T_{\text{сц}} \geq T_{\text{дв}} < \Sigma W, \quad (4.3)$$

машина двигаться не сможет и двигатель заглохнет.

Исходными данными при тяговом расчете могут быть: требования к машине и ее рабочему оборудованию из условия технологической схемы работы, тип движителя, коэффициенты сопротивления движению, вид и состояние грунта и др.

В общем случае суммарное сопротивление движению машины ΣW (Н) равно:

$$\Sigma W = W_{\text{к}} + W_{\text{вн}} + W_{\text{кр}} \pm W_{\text{ук}} \pm W_{\text{и}} + W_{\text{в}} + W_{\text{р}}, \quad (4.4)$$

где $W_{\text{к}}$ – сила сопротивления перекачиванию; $W_{\text{вн}}$ – внутреннее сопротивление в движителях; $W_{\text{кр}}$ – сопротивление повороту при движении машины по кривой; $W_{\text{ук}}$ – сопротивление при движении машины по уклону; $W_{\text{и}}$ – сопротивление от силы инерции при трогании с места или торможении; $W_{\text{в}}$ – сопротивление воздуха; $W_{\text{р}}$ – рабочее сопротивление, возникающее при взаимодействии рабочего органа с грунтом.

При тяговом расчете на рабочем режиме из уравнения силового баланса (4.4) исключают: сопротивление повороту $W_{\text{кр}}$, так как процесс копания осуществляют, как правило, при движении машины по прямому участку; и сопротивление воздуха $W_{\text{в}}$, ввиду малых скоростей движения.

Тогда:

$$\Sigma W_{\text{р}} = W_{\text{к}} + W_{\text{вн}} \pm W_{\text{ук}} \pm W_{\text{и}} + W_{\text{р}}. \quad (4.5)$$

При тяговом расчете на транспортном режиме из уравнения силового баланса (4.4) исключают рабочее сопротивление W_p .

Тогда:

$$\sum W_T = W_k + W_{вн} + W_{кр} \pm W_{ук} \pm W_u + W_v. \quad (4.6)$$

В уравнениях (4.5) и (4.6):

W_k – сила сопротивления перекачиванию движителя (колесного и гусеничного) пропорциональна силе тяжести машины, нормальной к опорной поверхности, (Н):

$$W_k = G_M \cdot f \cdot \cos \alpha, \quad (4.7)$$

где G_M – сила тяжести машины, Н; f – коэффициент сопротивления перекачиванию, зависящий от типа движителя и вида опорной поверхности (табл. 4.1); α – угол уклона местности, град;

$W_{вн}$ – внутреннее сопротивление в движителях составляет, (Н):

для гусеничного движителя

$$W_{вн} = (0,06 \dots 0,09) G_M, \quad (4.8)$$

для колесного движителя

$$W_{вн} = (0,04 \dots 0,06) G_M, \quad (4.9)$$

$W_{кр}$ – сопротивление повороту при движении машины по кривой, принимают, (Н):

для колесного движителя

$$W_{кр} = (0,25 \dots 0,5) W_k, \quad (4.10)$$

для гусеничного движителя

$$W_{кр} = (0,4 \dots 0,7) W_k, \quad (4.11)$$

$W_{ук}$ – сопротивление при движении машины по уклону, определяют по формуле, (Н):

$$W_{ук} = \pm G_M \sin \alpha, \quad (4.12)$$

где α – угол уклона местности, по которой движется машина (максимально допустимые углы уклона: для гусеничных машин до $20^\circ \dots 25^\circ$, для колесных до $15^\circ \dots 20^\circ$); знак "+" ставится при движении машины на подъем, знак "-" при движении под уклон;

при расчете на транспортном режиме исключают одновременное действие сил сопротивления от подъема и поворота, так как при необходимости повернуть машину на подъеме можно движением колес или гусениц в сторону уклона;

W_u - сопротивление от сил инерции, возникающих при трогании с места или при торможении; в случае равноускоренного движения это сопротивление определяют из выражения, (Н):

$$W_u = \pm K_u \frac{G_M v_p}{g t_p}, \quad (4.13)$$

где K_u – коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся масс привода, принимают равным 1,05...1,15; v_p – рабочая скорость машины на первой передаче после трогания с места, м/с: для гусеничных машин $v_p = 0,25 \dots 0,3$ м/с; для колесных машин $v_p = 1,0 \dots 1,15$ м/с; t_p – время разгона: для гусеничных машин $t_p = 3 \dots 6$ с; для колесных машин $t_p = 5 \dots 10$ с;

W_ϵ – сопротивление воздуха рассчитывают из условия максимально допустимой ветровой нагрузки, (Н):

$$W_\epsilon = q' \sum F_\epsilon, \quad (4.14)$$

где q' – предельно допустимое удельное динамическое давление ветра, равное 125 Па; F_ϵ – суммарная наветренная площадь машины, м²;

W_p – сопротивление, возникающее при взаимодействии рабочего органа машины с грунтом (Н), принимают по результатам составления уравнения силового баланса на рабочем режиме.

Тяговое усилие $T_{\partial\epsilon}$, развиваемое двигателем машины, можно считать равным суммарной окружной силе $\sum F_o$ всех движителей, приводимых от двигателя привода, (Н):

$$T_{\partial\epsilon} = \sum F_o = \frac{N_{\partial\epsilon} \cdot 10^3 \eta_{TP}}{v_g}, \quad (4.15)$$

где $N_{\partial\epsilon}$ – установленная мощность двигателя машины, кВт; v_g – скорость движения машины на соответствующей передаче, м/с; η_{TP} – к.п.д. трансмиссии

ходового оборудования, принимают: для механической трансмиссии $\eta_{TP} = 0,75 \dots 0,76$; для гидравлической $\eta_{TP} = 0,83 \dots 0,86$.

Максимальную силу тяги на опорной поверхности с оптимальной влажностью, развиваемую двигателем при отсутствии буксования, из условия сцепления $T_{сц}$, определяют по формуле, (Н):

$$T_{сц} = G_{сц} \varphi, \quad (4.16)$$

где $G_{сц}$ – сцепной вес машины, т.е. вес, приходящийся на ведущие колеса, Н; φ – коэффициент сцепления двигателя с опорной поверхностью, зависящий от типа двигателя, вида и состояния опорной поверхности (табл. 4.1)

Пример расчета

Согласно одного из вариантов задания исходными данными для тягового расчета являются: тип машины – бульдозер ДЗ-48; тип двигателя – колесный; вид опорной поверхности – грунт слежавшийся; сила тяжести машины - $G_M = 181$, кН; уклон местности - 0° ; скорость движения машины на первой передаче - $v_p = 0,83$ м/с; скорость движения машины: на рабочем режиме – $v_q = 1,23$ м/с, на транспортном режиме – $v_g = 3,05$ м/с; мощность двигателя базовой машины К-702 $N = 147$ кВт; наветренная площадь бульдозера – $F_g = 7,9$ м²;

1. Тяговое усилие, развиваемое, двигателем машины на рабочем режиме при $v_q = 1,23$ м/с определяют, по формуле (4.15):

$$T_{дв.р} = \frac{147 \cdot 10^3 \cdot 0,85}{1,23} = 101585 \text{ Н};$$

на транспортном режиме при $v_g = 3,05$ м/с тяговое усилие будет равно:

$$T_{дв.тр} = \frac{147 \cdot 10^3 \cdot 0,85}{3,05} = 40967 \text{ Н};$$

2. Максимальная сила тяги из условия сцепления двигателя с опорной поверхностью определяется по формуле (4.16): сцепной вес машины принимают равным силе тяжести машины, т.е. $G_{сц} = G_M = 181 \cdot 10^3$ Н; коэффициент сцепления,

принимают по табл. 4.1 для шин низкого давления при движении по слежавшемуся грунту – $\varphi = 0,7$, тогда

$$T_{cy} = 181 \cdot 10^3 \cdot 0,7 = 126700 \text{ Н};$$

3. Суммарное сопротивление на рабочем режиме определяют по формуле (4.5). При этом:

- сопротивление перекачиванию движителя по заданной опорной поверхности будет равно:

$$W_k = 181 \cdot 10^3 \cdot f \cdot \cos \alpha,$$

где f – коэффициент сопротивления движению машины по заданным условиям принимают по табл. 4.1 для шин низкого давления при движении по слежавшемуся грунту – $f = 0,1$; так как машина движется по горизонтальной поверхности $\alpha = 0$, тогда

$$W_k = 181 \cdot 10^3 \cdot 0,1 = 18100 \text{ Н};$$

- внутреннее сопротивление в движителях согласно (4.9) равно:

$$W_{вн} = 0,05 \cdot 181 \cdot 10^3 = 9050 \text{ Н};$$

- сопротивление движению бульдозера по уклону равно нулю, так как угол $\alpha = 0$;

- сопротивление от сил инерции, возникающее при трогании с места, определяют по формуле (4.13)

$$W_u = 1,1 \frac{181 \cdot 10^3 \cdot 0,83}{9,8 \cdot 10} = 1684 \text{ Н};$$

- сопротивление W_p , возникающее в процессе копания, принимают по результатам составления силового баланса на рабочем режиме для выполнения нормального и достаточного условия движения машины.

Таким образом, суммарное сопротивление движению бульдозера на рабочем режиме составляет:

$$\sum W_p = 18100 + 9050 + 1684 + 72125 = 100959 \text{ Н}.$$

При этом условие нормального движения бульдозера без буксования соблюдается, так как:

$$126700 > 101585 > 100959.$$

4. Суммарное сопротивление движению бульдозера на транспортном режиме определяют по формуле (4.6). При этом:

- сопротивление перекачиванию движения по заданной опорной поверхности:

$$W_k = 18100 \text{ Н};$$

- внутреннее сопротивление в двигателях

$$W_{вн} = 9050 \text{ Н};$$

- сопротивление повороту бульдозера при его движении по кривой определяют по формуле (4.10)

$$W_{кр} = 0,3 \cdot 18100 = 5430 \text{ Н};$$

- сопротивление при движении машины по уклону в данном случае, при угле уклона

$$\alpha = 0, W_{ук} = 0;$$

- сопротивление от сил инерции при трогании с места на первой передаче, как и в случае расчета на рабочем режиме, равно

$$W_u = 1684 \text{ Н};$$

- сопротивление воздуха при движении бульдозера определяют по формуле (4.14)

$$W_g = 125 \cdot 7,9 = 988 \text{ Н}.$$

Таким образом, суммарное сопротивление движению бульдозера на транспортном режиме составляет:

$$\sum W_T = 18100 + 9050 + 5430 + 1684 + 988 = 35252 \text{ Н}.$$

По результатам данного расчета условие нормального движения бульдозера на транспортном режиме соблюдается, так как:

$$126700 > 40967 > 35252$$

При решении задачи по тяговому расчету, в случае несоблюдения условия нормального движения (4.1), необходимо проанализировать решение и выбрать режимы работы машины и параметры ее рабочего процесса, удовлетворяющие

вышеуказанному условию, варьируя при этом такими факторами, как: категория, вид и состояние разрабатываемого грунта и опорной поверхности движения, толщина срезаемой стружки грунта, тип движителя, уклон местности, скорость движения на соответствующей передаче.

Таблица 4.1

Значение коэффициентов сопротивления движению f и сцепление φ

Вид опорной поверхности	Пневмоколесный движитель				Гусеничный движитель	
	Шины высокого давления		Шины низкого давления		f	φ
	f	φ	f	φ		
Цементобетон	0,015...0,02	0,7...0,8	0,02	0,8...0,9	0,06	0,5...0,6
Сухой асфальтобетон	0,015...0,02	0,7...0,8	0,02	0,8...0,9	-	-
Грунтовая дорога:						
сухая, укатанная	0,02...0,06	0,6...0,7	0,025... 0,035	0,7...0,8	0,06... 0,07	0,8...1,0
грязная, влажная	0,15...0,25	0,2...0,3	0,1...0,2	0,3...0,4	0,12... 0,15	0,5...0,6
Грунт:						
рыхлый, свежесыпанный	0,2...0,3	0,3...0,4	0,1...0,2	0,4...0,6	0,07... 0,1	0,6...0,7
слежавшийся, уплотненный	0,1...0,2	0,4...0,6	0,1... 0,15	0,5...0,7	0,08	0,8...1,0
песок:						
влажный,	0,1...0,3	0,3...0,4	0,06... 0,15	0,4...0,5	0,05... 0,1	0,6...0,7
сухой	0,3...0,5	0,25...0,3	0,2...0,3	0,3...0,4	0,15... 0,2	0,4...0,5

Варианты заданий

№ Варианта	Тип машины, модель	Тип двигателя	Вид опорной поверхности	G_M , кН	α град,	v_p м/с	V_q^* м/с	N_d кВт	F_e м ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Бульдозер ДЗ-24	Гусеничны й	Песок сухой	183,4	0	0,79	1,28/ 2,4	126,5	9,6
2	Бульдозер ДЗ-25	Гусеничны й	Грунт слежавшийся	193,2	3	0,79	0,79/ 3,3	126,5	11,2
3	Бульдозер ДЗ-60ХЛ	Гусеничны й	Песок влажный	433,2	-3	0,5	1,0/ 2,5	243,0	18,0
4	Бульдозер ДЗ-124ХЛ	Гусеничны й	Песок сухой	531,0	4	0,5	1,3/ 3,2	243,0	17,2
5	Бульдозер ДЗ-54С	Гусеничны й	Грунт уплотненный	137,8	0	0,65	0,65/ 2,8	79,5	8,6
6	Бульдозер ДЗ-18	Гусеничны й	Грунт слежавшийся	139,0	-5	0,65	0,65/ 1,8	79,5	10,6
7	Бульдозер ДЗ-90С	Гусеничны й	Грунт рыхлый	165,0	0	0,88	1,05/ 2,4	106,0	8,6
8	Бульдозер ДЗ-109ХЛ	Гусеничны й	Песок сухой	166,0	2	1,00	1,05/ 2,46	118,0	11,5
9	Скрепер ДЗ-87	Колесный	Грунт слежавшийся	112,0	-2	1,4	1,4/ 4,77	110,0	6,8
10	Скрепер ДЗ-74	Колесный	Песок влажный	212,0	3	0,63	1,0/ 6,83	147,0	10,1
11	Скрепер ДЗ-11	Колесный	Грунт рыхлый	190	0	1,1	1,55/ 8,3	158,0	8,9
12	Скрепер ДЗ-32	Колесный	Грунт уплотненный	220,0	2	1,1	1,1/ 8,3	158,0	10,4
13	Скрепер ДЗ-13	Колесный	Песок сухой	315,0	-3	1,15	1,55/ 11,1	265,0	10,8
14	Скрепер ДЗ-67	Колесный	Песок сухой	640,0	-4	1,1	1,6/ 12,2	625	17,4
15	Скрепер ДЗ-107	Колесный	Песок влажный	685,0	4	1,15	1,72/ 13,9	478,0	17,2
16	Автогрейде р ДЗ-40А	Колесный	Грунт слежавшийся	86,0	0	0,77	0,77/ 6,1	44,0	4,6
17	Автогрейде р ДЗ-40	Колесный	Грунт уплотненный	77,0	-2	1,03	1,03/ 6,9	55,0	4,6

18	Автогрейдер ДЗ-40Б	Колесный	Грунт свежесыпанный	82,5	2	1,03	1,16/5,5	55,0	4,6
19	Автогрейдер ДЗ-61А	Колесный	Песок влажный	87,0	0	1,05	1,16/5,5	66,0	4,9
20	Автогрейдер ДЗ-31А	Колесный	Песок сухой	121,0	3	1,0	1,28/8,3	79,5	6,6
21	Автогрейдер ДЗ-31С	Колесный	Грунт рыхлый	123,4	-3	1,0	1,16/8,3	81,0	6,7
22	Автогрейдер ДЗ-98	Колесный	Грунт слежавшийся	186,0	0	1,1	1,1/6,9	184,0	7,0
23	Автогрейдер ДЗ-105	Колесный	Грунт свежесыпанный	200,0	2	1,15	1,18/6,9	184,0	7,0
24	Экскаватор ЭО-3322	Колесный	Грунт уплотненный	127,0	0	1,15	5,46	55,2	8,8
25	Экскаватор ЭО-4321В	Колесный	Грунт уплотненный	185,7	0	1,1	5,4	73,6	7,6
26	Экскаватор ЭО-4123	Гусеничный	Грунт уплотненный	185,7	0	0,58	0,58	55,2	7,6
27	Экскаватор ЭО-4121	Гусеничный	Грунт слежавшийся	209,0	0	0,77	0,77	73,6	7,8
28	Экскаватор ЭО-5126	Гусеничный	Грунт слежавшийся	320,0	0	1,0	1,0	125,0	9,8
29	Экскаватор ЭО-5221	Гусеничный	Песок сухой	425,0	0	1,0	1,0	125,0	14,1
30	Экскаватор ЭО-4225А	Гусеничный	Песок влажный	271,0	0	1,0	1,0	125,0	9,7

* - В числителе приведена скорость движения машины на рабочем режиме, в знаменателе – на транспортном.