

# Построение тяговой характеристики гусеничной машины

						Лист
Изм	Лист	№ докум	Под-	Дата		

## Содержание

Введение.....	3
1. Исходные данные к построению тяговой характеристики.....	4
2. Регуляторная характеристика двигателя .....	5
3. Построение основных зависимостей тяговой характеристики.....	5
3.1 Построение кривой коэффициента буксования движителя.....	6
3.2 Построение зависимости окружной силы движителя от крутящего момента двигателя.....	6
3.3 Построение кривой действительной скорости движения машины. ....	6
3.4 Построение кривой часового расхода топлива.....	7
4. Построение производных зависимостей тяговой характеристики	
4.1 Построение кривой тяговой мощности.....	
4.2 Построение кривой часового расхода топлива.....	
4.3 Построение кривой удельного расхода топлива.....	
Заключение.....	20
Список использованных источников .....	21

									Лист
Изм	Лист	№ докум	Пол-	Дата					

## Введение

Машина, в широком смысле, это устройство, предназначенное для преобразования энергии, материалов и информации. В зависимости от основного назначения машины классифицируют на энергетические, информационные и рабочие.

Рабочие машины предназначены для выполнения работы и подразделяются на технологические и транспортные. Технологические машины преобразуют обрабатываемую продукцию ( которая может находится в твердом, жидком и газообразном состоянии) изменяя ее форму, свойства, состояние и положение. Транспортные машины преобразуют продукцию изменяя только ее положение, при этом под продукцией понимают перемещаемый предмет.

В соответствии с классификацией строительные и дорожные машины (СДМ) относятся, в основном, к рабочим машинам. В зависимости от режимов работы на строительстве самоходные СДМ можно разбить на следующие группы:

- 1) машины с ярко выраженным разделением режимов работы на рабочий и транспортный. При рабочем режиме реализуется максимальная тяговая мощность двигателя при значительных рабочих сопротивлениях, при транспортном – использование мощности двигателя ограничивается дорожными условиями, безопасностью и т. д.;
- 2) машины, работающие длительное время в тяговом режиме при сравнительно небольших колебаниях нагрузки на рабочем органе. Максимальная тяговая мощность двигателя используется практически полно при значительных рабочих сопротивлениях и работе длительное время на одной передаче;
- 3) машины, работающие циклично на площадках небольших размеров в условиях частого изменения нагрузок на рабочем органе и частого изменения направления движения. Двигатель таких машин часто работает с перегрузкой, а трансмиссия – при частом изменении передаточного числа.
- 4) машины, работающие с очень малыми скоростями, при длительных и незначительно изменяющимися по величине рабочими нагрузками и высокой степенью использования мощности двигателя.
- 5) машины, рабочий режим которых осуществляется при неподвижной ходовой части. Загрузка двигателя при этом определяется нагрузочным режимом рабочих механизмов машины.

										Лист
Изм	Лист	№ докум	Под-	Дата						

Таким образом, работа СДМ в условиях строительства имеет свою специфику. С одной стороны, это тяжелые условия эксплуатации. С другой стороны, режим работы большинства СДМ характеризуется резкими колебаниями рабочих нагрузок, реализацией максимальной мощности двигателя на различных передачах, частыми изменениями направления и скорости движения. Для оценки тяговых, динамических, потребительских свойств, топливно-экономических показателей СДМ удобно использовать их тяговые характеристики.

Тяговая характеристика тягача, трактора это основная характеристика отражающая его функциональные свойства и соответствие назначению.

Тяговые характеристики представляют собой графическое выражение реальных выходных тяговых параметров машины, определяемых результатами совместной работы двигателя, трансмиссии и двигателя. По существу тяговая характеристика-это построенная в других координатах регуляторная характеристика двигателя, снятая через трансмиссию с учетом взаимодействия движителей с грунтом. Тяговые характеристики строятся для конкретного вида работы и конкретных грунтовых условий.

При построении тяговых характеристик следует учитывать расход мощности двигателя на привод вспомогательных механизмов, что ведет к уменьшению крутящего момента идущего на движитель. Расход мощности на привод вспомогательных механизмов рассчитывают по известным методикам.

Тяговые характеристики получают экспериментально или расчетным путем- графическим, графо-аналитическим или аналитическим способами.

В данных методических указаниях рассматривается графо-аналитический способ построения тяговой характеристики.

										Лист
Изм	Лист	№ докум	Под-	Дата						

# 1 Исходные данные к построению тяговой характеристики гусеничной машины



Рисунок 1 –Трактор с бульдозерным оборудованием

Марка трактора –

Марка двигателя -

Мощность двигателя -

Ширина гусеницы-

Длина опорной ветви -

Количество нагруженных грунтозацепов -

Высота грунтозацепа-

Диаметр начальной окружности ведущей звездочки-

Передаточное число трансмиссии на заданной передаче-

КПД, механический, трансмиссии на заданной передаче-

Вид грунта, его состояние и влажность-

Масса эксплуатационная машины-

Регуляторная характеристика двигателя.

Изм	Лист	№ докум	Под-	Дата		Лист

Тяговая характеристика, при выполнении курсовой (контрольной) работы, строится на листе миллиметровки формата А3, А2.

Расчетные условия при построении данной характеристики тягача: машина движется прямолинейно по горизонтальной поверхности; навесное рабочее оборудование отсутствует; вся мощность двигателя и крутящий момент расходуются на привод двигателя.

## 2 Регуляторная характеристика двигателя

Стандартные регуляторные характеристики двигателей приводятся в каталогах и строятся в функции мощности двигателя. Для построения регуляторной характеристики стандартную характеристику двигателя следует перестроить в функции момента  $M_e$ .

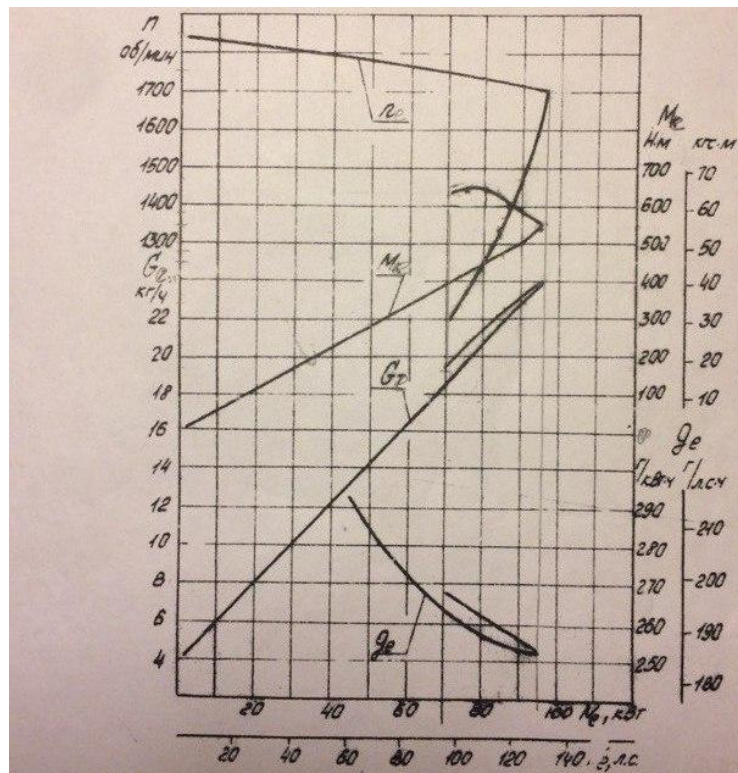


Рисунок 2 – Регуляторная стандартная характеристика двигателя

Параметры регуляторной характеристики  $N_e$ ;  $M_e$ ;  $n_e$ ;  $G_e$ , заносят в таблицу 1. При этом все точки перелома кривых на рисунке 2 должны быть занесены в таблицу 1. На регуляторной ветви характеристики следует взять 3-4 точки, данные занести в таблицу 1.

										Лист
Изм	Лист	№ докум	Под-	Дата						

Построение тяговой характеристики тягача начинают либо с построения кривой буксования, либо с построения регуляторной характеристики двигателя. Для построения регуляторной характеристики двигателя снимают предварительно параметры со стандартной регуляторной характеристики  $N_e$ ;  $M_e$ ;  $n_e$ ;  $G_e$ , (рисунок 1), полученные данные заносят в таблицу 1, а затем во втором квадранте размещают регуляторную характеристику двигателя в функции крутящего момента двигателя  $M_e$  (рисунок 3). Начало координат точка О.

Таблица 1 – Параметры регуляторной характеристики двигателя (пример)

$N_e$ , кВт	$M_e$ , Н·м	$n_e$ , об/мин	$G_e$ , кг/ч
0	0	1837	3,9
20	-	-	-
40	225	1794	-
70	393	1754	18,5
80	450	-	20,6
90	500	1720	22,8
96	550	1700	24
90	587	1463	23,3
80	648	1250	21,25
76,7	653	-	-
70	627	1100	19,6

Численные значения конкретных параметров находят используя методы интерполяции.

Регуляторная характеристика двигателя после построения имеет вид показанный на рисунке 3( см. второй квадрант).

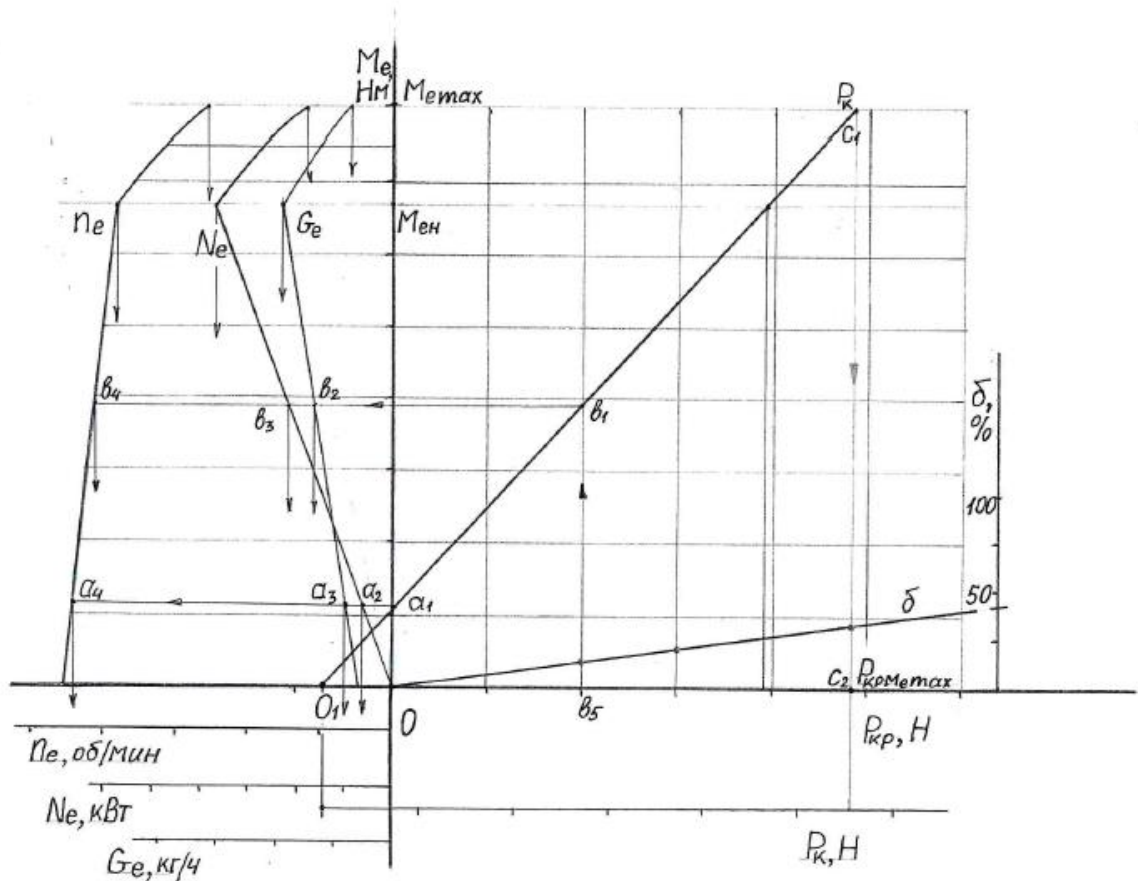


Рисунок 3-Начальные зависимости тяговой характеристики

### 3 Построение основных зависимостей регуляторной характеристики

#### 3.1 Построение кривой коэффициента буксования движителя

В первом квадранте строят кривую коэффициента буксования  $\delta$  в функции силы тяги тягача  $P_{кр}$ .

Коэффициент буксования  $\delta$  гусеничной машины, определяется по формуле [1].

$$\delta = \frac{2 \cdot P_{кр}}{K \cdot F \cdot L \cdot (1 + n)} \cdot 100\% , \quad (1)$$

где  $P_{кр}$  – сила тяги на крюке, Н;

$F$  – боковая площадь грунтозацепа,  $m^2$ ;



$L$  – длина опорной ветви гусеницы, м;

$n$  – число нагруженных грунтозацепов;

$K$  – допустимая удельная нагрузка движителя на грунт, Н/см<sup>3</sup>.

$R_{кр} =$  ;  $K =$  ;  $L =$  ;  $n =$  . ( указываются принятые численные значения параметров для расчета, с размерностями).

Численные значения  $K$  принимают исходя из типа грунта и удельной вертикальной деформации грунта, создаваемой движителем машины на опорную поверхность ( прил. ).

Число нагруженных грунтозацепов  $n$  определяют, для заданного тягача, по общему виду машины ( машину ставят на горизонтальную поверхность и считают нагруженные грунтозацепы). Нагруженным грунтозацепом считают грунтозацеп, внедренный в грунт.

Боковая площадь грунтозацепа  $F$  определяется по формуле 2.

$$F = h \cdot l, \quad (2)$$

где  $h$  – высота грунтозацепа, м;

$l$  – ширина грунтозацепа, м.

$$h = ; l = .$$

При расчетах, силой тяги на крюке  $R_{кр}$  задаются сами, при этом, часто определяют силу тяги тягача максимальную, по сцеплению  $T_{max}$ , которую используют, как ориентир, при выборе  $R_{кр}$ . Следует помнить, что при буксовании более 25- 30 % начинается срыв грунтозацепами грунтовых кирпичей и скорость машины падает.

$$P_{кр} = T - P_f, \quad (3)$$

где  $T$  – сила тяги, максимальная, Н ;

$P_f$  – сила сопротивления движению ( качению) машины, Н.

Силу тяги тягача максимальную, по сцеплению, определяют по формуле.

$$T_{max} = G_{сц} \cdot \varphi_{сц max}, \quad (4)$$

где  $G_{сц}$  – сцепной вес машины, Н;

										Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата						

$\varphi_{\text{сц max}}$  - коэффициент сцепления движителя с грунтом .

$$G_{\text{сц}} = \quad ; \quad \varphi_{\text{сц max}} = \quad .$$

Силу сопротивления качению машины , можно определить по формуле 5.

$$P_f = G \cdot f , \tag{5}$$

где  $G$ –сила тяжести машины, Н;

$f$ –коэффициент сопротивления движению машины.

$$G = \quad ; \quad f = \quad .$$

После нахождения всех параметров определяют по формуле 1 коэффициент буксования для 3-5 значений силы  $R_{\text{кр}}$ , начиная с  $R_{\text{кр}}=0$ . Численные значения  $R_{\text{кр}}$  принимают ориентируясь на  $T_{\text{max}}$ . По полученным данным строят график (рисунок 3). При  $\delta = 25 - 30 \%$  расчеты заканчивают.

### 3.2 Построение зависимости $R_k$ движителя в функции $M_e$ двигателя

Для построения зависимости  $P_k(M_e)$  откладывают значение  $P_f$  (формула 5)

влево от точки  $O$  в масштабе силы  $R_{\text{кр}}$  (точка  $O_1$ ). Из точки  $O_1$ , вправо, располагают шкалу окружной силы движителя  $R_k$  в масштабе силы тяги на крюке (рисунок 3).

Задаваясь значениями  $M_e$  в первом квадранте строят зависимость окружной силы  $R_k$  в функции  $M_e$  .

$$P_k = \frac{M_e \cdot i_m \cdot \eta_m}{r_d} , \tag{6}$$

где  $M_e$  – крутящий момент двигателя( значения принимают сами), Нм;

$i_m$ – передаточное число трансмиссии на заданной передаче;

$\eta_m$  – механический КПД трансмиссии на заданной передаче;

$r_d$  – радиус начальной окружности ведущей звездочки, м.

$$i_m = \quad ; \quad \eta_m = \quad ; \quad r_d = \quad .$$

									Лист
Изм	Лист	№ докум	Под-	Дата					

Передаточное число и механический КПД трансмиссии ( для рассматриваемой передачи) определяют расчетом по кинематической схеме машины либо находят в литературе.

Радиус начальной окружности ведущей звездочки машины ищут в литературе на машину, ориентировочные значения даны в приложении 2.

Численные значения  $M_e$  принимают по регуляторной характеристике двигателя.

Для построения зависимости  $R_k$  достаточно двух, трех точек, так как зависимость прямолинейна. Начальная точка  $O_1$ , конечной точкой может быть точка  $c_1$ , при  $M_{e_{max}}$  (рисунок 3). Затем из точки  $c_1$  опускают вертикаль на шкалу  $R_{кр}$ ; точка  $c_2$ , на шкале  $R_{кр}$ , дает силу тяги на крюке при максимальном крутящем моменте двигателя  $R_{кр_{max}}$ . Следует помнить, что численное значение  $R_k$  зависит от передаточного числа трансмиссии. С изменением значения  $i_m$  кривая  $R_k$  также будет изменять свое положение на графике.

### 3.3 Построение основной зависимости тяговой характеристики - кривой действительной скорости движения машины $V_d$

В первом квадранте строят основную зависимость тяговой характеристики – кривую действительной скорости движения машины  $V_d$  в функции силы тяги на крюке  $R_{кр}$ .

$$v_d = 0,377 \cdot \frac{n_e \cdot r_d}{i_{mp}} \cdot \left(1 - \frac{\delta}{100}\right), \quad (7)$$

где  $V_d$  - действительная скорость машины, км/ч;

$n_e$ - число оборотов двигателя, об/мин;

$r_d$  – радиус начальной окружности ведущей звездочки, м;

$i_{mp}$ – передаточное число трансмиссии на заданной передаче;

$\delta$  – коэффициент буксования.

$$i_m; r_d; n_e; \delta;$$

Для определения численных значений  $V_d$  задаются силой тяги на крюке ( начинают с  $R_{кр}=0$ ), после чего определяют другие параметры формулы 7. Задавшись значе-

									Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата					

нием  $R_{кр} = 0$  проводят вертикаль. Из точки  $a_1$ , пересечения с  $R_k$ , проводят горизонталь во второй квадрант до пересечения с кривыми регуляторной характеристики (  $a_2, a_3, a_4$ ) (рисунок 4).

Точка  $a_4$  дает численное значение  $n_e$ - число оборотов двигателя при  $R_{кр} = 0$ .

Точка  $a_3$  дает численное значение  $G_e$ .- часовой расход топлива при  $R_{кр} = 0$ .

Точка  $a_2$  дает численное значение  $N_e$  – мощность двигателя при  $R_{кр} = 0$ .

Коэффициент буксования при  $R_{кр} = 0$  равен нулю (точка  $O$  ).

По формуле 7 определяют  $V_d$  при  $R_{кр}$  равном нулю. Результаты расчета заносят в таблицу 2.

Затем принимают другое значение  $R_{кр}$ , проводят вертикаль  $b_5b_1$ . Из точки  $b_1$ , пересечения вертикали с  $R_k$ , проводят горизонталь во второй квадрант, до пересечения с кривыми регуляторной характеристики, точки (  $b_2, b_3, b_4$  ) которые дают численные значения параметров при другом, принятом значении  $R_{кр}$ . По формуле 7 определяют  $V_d$ , результаты - в таблицу 2. После нахождения 4-5 значений  $V_d$  строят кривую ( рисунок 4 ). При этом найденные значения  $V_d$  откладывают на вертикалях соответствующих сил  $R_{кр}$  в выбранном масштабе. Шкалу численных значений  $V_d$ , и все последующие шкалы, располагают с правой стороны характеристики. Одновременно в таблицу 2 можно заносить другие параметры регуляторной характеристики  $G_e$ ,  $N_e$ ,  $n_e$ , которые в дальнейшем будут использованы. Параметры при  $R_{кр_{мен}}$  и  $R_{кр_{мет}}$  должны быть использованы при расчетах обязательно и внесены в таблицу 2.

Таблица 2-Результаты расчетов  $V_d$  ( пример) Добавить столбец для  $N_e, G_t$

$R_{кр}, Н$	$\delta, \%$	$n_e, \text{об/мин}$	$v_d, \text{км/ч}$	$G_e, \text{кг/ч}$
0	0	2275	11,078	7
10000	3,604	2250	10,562	13,5
12000	4,61	2245	10,428	14,75
15000	7,65	2240	10,073	16,75
18000	16,83	2220	8,991	18,5
20000	30,021	2215	7,548	-
-	-	-	-	-

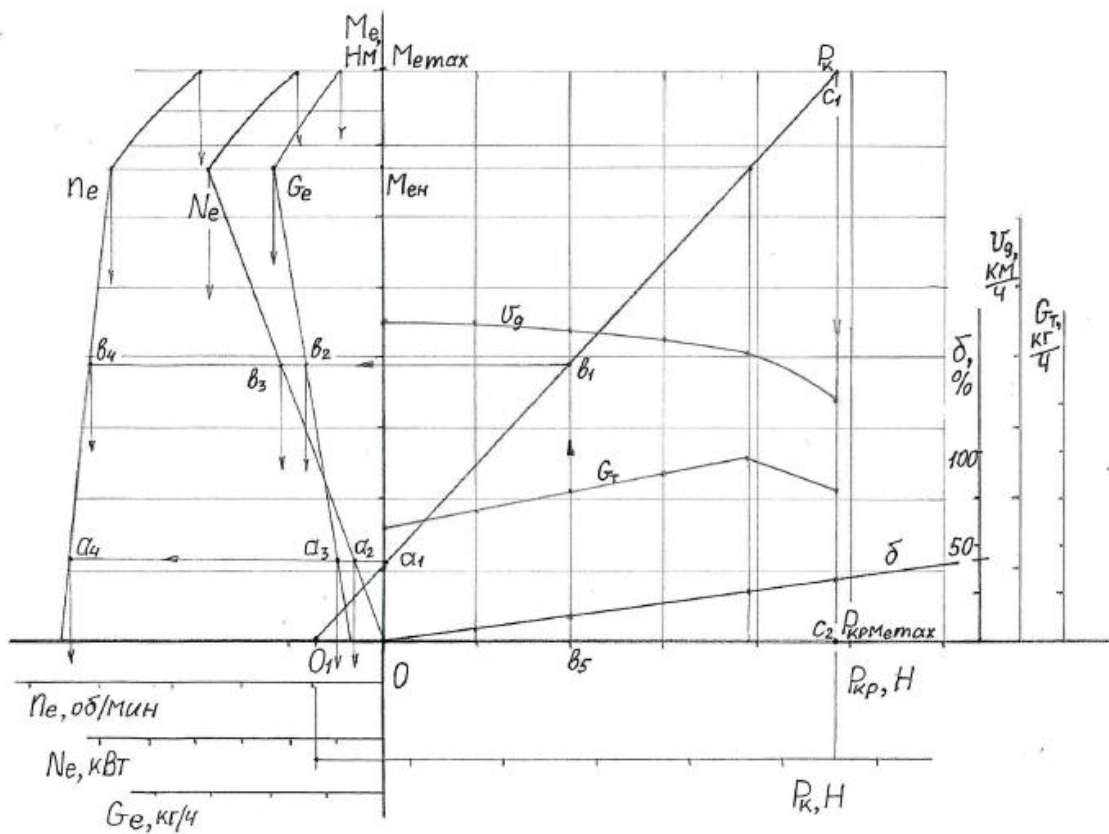


Рисунок 4- Построение зависимостей Vд и Gт

### 3.4 Построение основной зависимости тяговой характеристики- кривой часового расхода топлива Gт

В первом квадранте строят основную зависимость тяговой характеристики – кривую часового расхода топлива Gт в функции Rкр. Для построения кривой Gт задаются значением силы тяги на крюке Rкр проводят вертикаль до Pк (точки a1, b1), из этих точек – горизонтали до кривой Ge (точки a3, b2). После нахождения 4-5 точек строят кривую Gт. Результаты расчетов заносят в таблицу 3. Шкалу численных значений Gт располагают в первом квадранте (рисунок 4). Если значения Ge уже имеются в таблице 2, сняты ранее, то их также используют для построения кривой часового расхода топлива.

## 4 Построение производных зависимостей тяговой характеристики

К производным зависимостям тяговой характеристики относят кривые: тяговой мощности  $N_t$ ; удельного расхода топлива  $g_t$ ; тягового кпд  $\eta_t$  - которые строят в функции силы тяги на крюке  $R_{кр}$ , в первом квадранте.

### 4.1 Построение кривой тяговой мощности $N_t$

Тяговая мощность определяется по формуле 8.

$$N_t = 0,000272 \cdot V_{д} \cdot R_{кр}, \quad (8)$$

где  $N_t$  – тяговая мощность машины, кВт ;

$R_{кр}$ - сила тяги на крюке, Н;

$V_{д}$  – действительная скорость движения машины, км/ч .

Для построения кривой  $N_t$  требуется знать значение  $V_{д}$  и соответствующее ей значение  $R_{кр}$ . Для этого задаются численным значением силы тяги на крюке  $R_{кр}$ , проводят вертикаль ( например, в5-в1 ), пересечение которой с кривой  $v_{д}$  ( точка с4 ) дает нужное значение действительной скорости. После нахождения 4-5 значений  $N_t$  строят кривую. Данные расчетов заносят в таблицу 3.

Таблица 3-Результаты расчетов  $N_t$ ,  $G_t$ ,  $g_t$

$R_{кр}, Н$	$V_{д}, км/ч$	$N_t, кВт$	$G_t, кг/ч$	$g_t, г/кВт ч$
0	Берут	0	Берут	7
10000	из табл.2	9.803	из табл. 2	13,5
12000				14,75
15000				16,75
18000				18,5
20000				20
-				

## 4.2 Построение кривой удельного расхода топлива $g_t$

Удельный расход топлива  $g_t$  определяют по формуле 9.

$$g_t = 1000 \frac{G_{ti}}{N_{ti}} . \quad (9)$$

где  $g_t$  – удельный расход топлива ,г/кВт ч;

$N_{ti}$  – тяговая мощность, кВт;

$G_{ti}$  - часовой расход топлива, кг/ч.

Для построения кривой  $g_t$  требуется знать значение  $N_{ti}$  и соответствующее ей значение  $G_{ti}$ . Для этого задаются численным значением силы тяги на крюке  $R_{кр}$ , проводят вертикаль (например, в5-в1), пересечение которой с кривыми  $N_t$  и  $G_t$ , (точки с4, с5) дает нужные значения тяговой мощности и часового расхода топлива. Данные расчетов заносят в таблицу 3. После нахождения 4-5 значений строят кривую  $g_t$  в функции силы тяги  $R_{кр}$ .

## 4.3 Построение кривой тягового КПД $\eta_t$

Тяговый КПД определяют по формуле 10.

$$\eta_t = \frac{N_{ti}}{N_{ei}} . \quad (10)$$

где  $N_{ti}$  – тяговая мощность, кВт;

$N_{ei}$  - мощность двигателя, кВт.

Для построения кривой  $\eta_t$  требуется знать значение  $N_{ti}$  и соответствующее ей

									Лист
Изм	Лист	№ докум	Под-	Дата					

значение  $N_{ei}$ . Для этого задаются численным значением силы тяги на крюке  $R_{кр}$ , проводят вертикаль (например  $b_5-b_1$ ), пересечение которой с кривой  $N_t$  (точка  $c_4$ ) дает нужное значение тяговой мощности. Горизонталь из точки  $b_1$  во второй квадрант дает точку  $b_3$ - нужное значение  $N_{ei}$ . Данные расчета - в таблицу 4. После нахождения 4-5 значений строят кривую  $\eta_t$  в функции силы тяги  $R_{кр}$ .

Таблица 4- Результаты расчета тягового КПД

$R_{кр}, Н$	$N_e, км/ч$	$N_t, кВт$	$\eta_t$	
0		0		
10000		9.803		
12000				
15000				
18000				
20000				

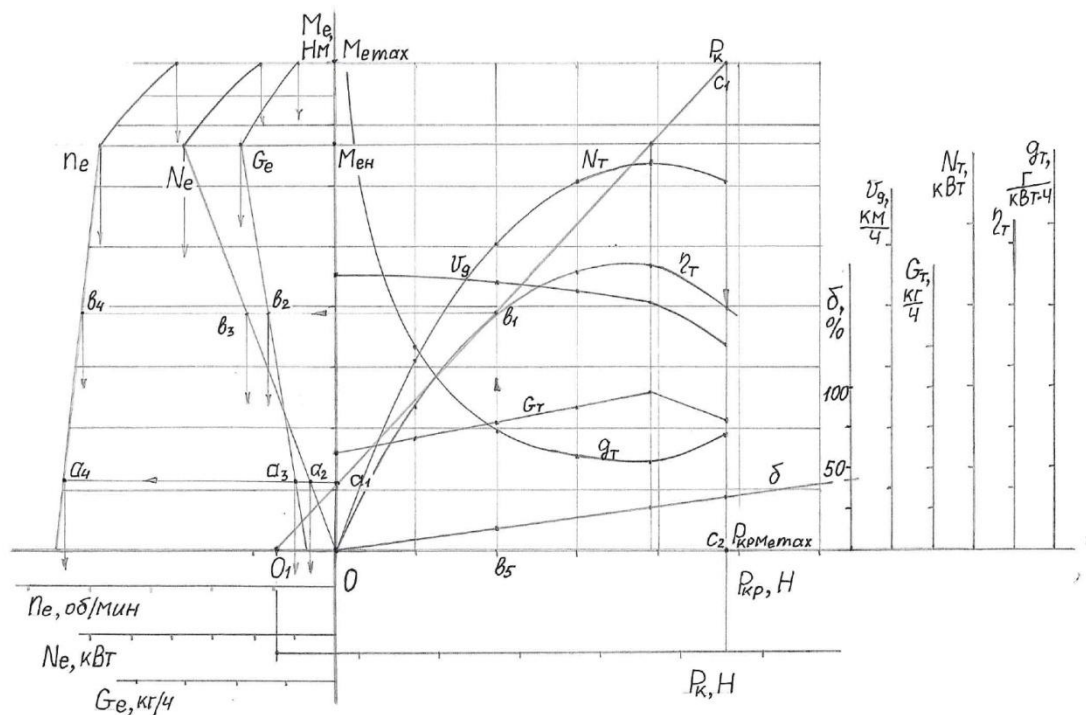


Рисунок 5- Тяговая характеристика машины



## Список использованных источников

1. Ульянов, Н.А. Теория самоходных колесных землеройно-транспортных машин: учебник / Н.А. Ульянов; ред. Л.П. Стрелецкая. – М.: Машиностроение, 1969. – 518с.
2. Дорожные машины: учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. Ч.1: Машины для земляных работ / Т.В. Алексеева. М. : Машиностроение – 1972. – 504 с.
4. Гологорский Е.Г. Ремонт трактора: справочник / Е.Г. Гологорский, М.И. Гуревич и др. – М. : Машиностроение, 1986. – 304с.
5. Савочкин В.А. Тяговый расчет трактора: методические указания  
[/http://mospolytech.ru/storage/files/kaf/auto/books/49.pdf /](http://mospolytech.ru/storage/files/kaf/auto/books/49.pdf).

						Лист
Изм	Лист	№ докум	Под-	Дата		