

МИНИСТРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

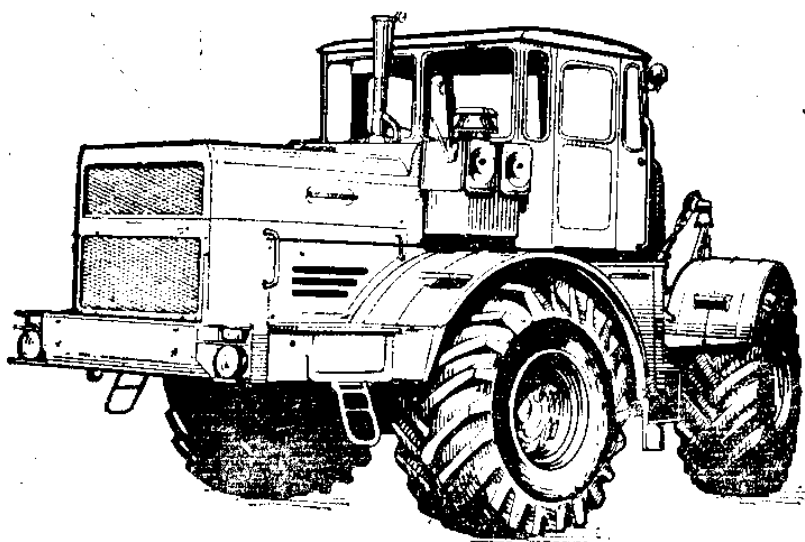
«Курганский государственный университет»

Кафедра «Автомобили»

ТЯГОВЫЙ РАСЧЕТ ТРАКТОРА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению контрольных работ, курсовых и дипломных проектов
студентами направления 23.05.01
«Наземные транспортно-технологические средства»



Курган 2016

Кафедра: «Автомобили»

Дисциплина: «Теория автомобиля и трактора».

Направление 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства».

Составил: канд. техн. наук, доц. Б.М. Тверсков.

При составлении методических указаний использованы методические указания В.А. Савочкин. Тяговый расчет трактора. – М.: 2001. – 48 с.

Утверждены на заседании кафедры « 14 » апреля 2016 г.

Рекомендованы методическим советом университета « 17 » декабря 2015 г.

Целью тягового расчета трактора является определение его основных характеристик, позволяющих выполнять требуемые работы в сельскохозяйственных или промышленных условиях. Тракторы делятся на колёсные и гусеничные, на сельскохозяйственные и промышленные.

Исходными данными для тягового расчета являются: сила тяги на крюке, служащем для сцепки трактора с сельскохозяйственными орудиями (плуг, сеялка др.), и толкающее усилие для работы с бульдозерным ножом и другими орудиями в промышленных условиях (отрыв котлованов, строительство дорог), а также скорости выполнения этих работ.

Если выполняется проверочный тяговый расчет, в задании указываются: марка существующего трактора, если расчет проектировочный, указывается тип трактора, номинальная сила тяги на крюке или толкающее усилие, теоретическая скорость, число передач в коробке передач и др.

Колёсные тракторы характеризуются колесной формулой:

4К4а – четырехколесный полноприводный трактор с разными передними и задними колесами;

4К4б – четырехколесный полноприводный трактор с одинаковыми передними и задними колесами;

4К2 – четырехколесный трактор с задними ведущими колесами;

3К2 – трактор с одним или двумя сближенным передними управляемыми колесами.

По величине тягового усилия на крюке в тоннах тракторы делятся на следующие классы, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Тяговые классы тракторов

Тяговый класс	Значения номинального тягового усилия $P_{крн}$, кН	Тяговый класс	Значения номинального тягового усилия $P_{крн}$, кН
0,2	от 1,8 до 5,4	3	св. 27 до 36
0,6	св. 5,4 до 8,1	4	св. 36 до 45
0,9	св. 8,1 до 12,6	5	св. 45 до 54
1,4	св. 12,6 до 18	6	св. 54 до 72
2	св. 18 до 27	8	св. 72 до 108

Обозначения, используемые в тяговом расчете

i – номер оси колесного трактора, $i = 1, 2$ (1 – передняя, 2 – задняя оси);

j – номер передачи в трансмиссии;

$G_э, m_э$ – эксплуатационные вес и масса трактора;

$M_к$ – конструкционная масса трактора; $G_{сч}$ – сцепной вес трактора;

$G_{сц}$ – сцепной вес трактора;

Y_i – нормальная реакция от грунта на колеса i -той оси трактора;

$\lambda_{ст}, \lambda_d$ – статический и динамический коэффициенты нагрузки задних колес трактора;

λ_H – динамический коэффициент нагрузки задних колес трактора в номинальном режиме движения;

λ – коэффициент использования веса трактора для создания движителем силы тяги;

f, P_f – коэффициент сопротивления и сила сопротивления качению трактора;

$P_k, P_{кн}, P_{км}$ – касательные силы тяги соответственно: текущая, номинальная и максимальная (по двигателю);

$P_{кр}, P_{крн}, P_{крм}$ – силы тяги на крюке соответственно: текущая, номинальная и максимальная (по двигателю);

$P_k^{пр}, P_{кр}^{пр}$ – предельные касательная сила тяги и сила тяги на крюке (по сцеплению);

P_{kj} – касательная сила тяги на j -ой передаче ($j=1,2,3,..$) при работе двигателя в номинальном режиме, т.е. при $n = n_n$;

$\varphi_{кр}, \varphi_{крн}, \varphi_{крм}$ – соответствующие удельные силы тяги трактора на крюке;

$\varphi_{кр}^{пр}$ – удельная предельная по сцеплению сила тяги на крюке;

V_T, V – теоретическая и действительная скорости трактора;

$\delta, \delta_n, \delta_{пр}$ – коэффициенты буксования соответственно: текущий, в номинальном режиме движения (допускаемый) и предельный (в режиме движения, когда $P_k = P_k^{пр}$);

k – показатель степени в формуле для расчета текущего значения коэффициента буксования;

n – частота вращения коленчатого вала двигателя;

$n_{хх}, M_{хх}, N_{хх}$ – соответственно частота вращения вала, крутящий момент и эффективная мощность двигателя в режиме его холостой работы;

n_n, M_n, N_n – соответственно частота вращения вала, крутящий момент и эффективная мощность двигателя в его номинальном режиме работы;

n_m, M_m, N_m – то же при работе двигателя в максимальном режиме работы;

ω, ω_i – угловые скорости вала двигателя и соответственно колеса i -той оси трактора;

K_m, K_n – коэффициенты приспособляемости двигателя по крутящему моменту и соответственно по частоте вращения вала двигателя;

$N_{кр}, N_{f}$ – тяговая (крюковая) мощность и соответственно мощность, затраченная на преодоление силы сопротивления качению трактора;

$N_{мех}, N_{\delta}$ – механические потери мощности в трансмиссии и потери мощности на буксование трактора;

$\eta_{мех}, \eta_{тр}$ – механический КПД трансмиссии и привода трактора;

η_T – тяговый КПД трактора;

$r, r_{ст}, r_d, r_k$ – радиусы колеса соответственно: свободный, статический, динамический и кинематический;

$p_{ш}$ – давление воздуха в пневмошине в статическом положении;

L – база колесного трактора;

$h_{кр}$ – высота линии тяги над плоскостью контакта движителя трактора с грун-

том (высота линии прицепа крюка);

$r_d, t_2, z_{зв}$ – динамический радиус ведущего колеса гусеничного трактора, шаг гусеницы и число звеньев (траков), укладываемых за один оборот ведущего колеса.

Для того, чтобы сила тяги на крюке трактора соответствовала требуемой, должен быть определен сцепной вес трактора (вес, приходящийся на ведущие колеса, если трактор колесный или гусеницы, если – гусеничный). Легкий трактор не сможет создать нужную силу тяги даже при высокой мощности двигателя – его колеса или гусеницы будут буксовать. Скорость трактора может быть получена, если мощность его двигателя будет достаточной для этого. Так как в тяговом режиме на грунте имеет место буксование, которое снижает скорость и увеличивает затраты мощности на перемещение трактора, буксованию в тяговом расчете уделяется необходимое внимание. На мягком грунте, где коэффициент сцепления небольшой, из-за буксования сила тяги снижается и мощность на крюке на высшей передаче больше, чем на низшей, где передаточное число больше, но скорость меньше.

Для устойчивой работы трактора имеет значение коэффициент приспособляемости двигателя (степень увеличения крутящего момента двигателя при возрастании сопротивления движению, когда обороты коленчатого вала падают). С помощью коэффициента приспособляемости рассчитываются обороты коленчатого вала при увеличении нагрузки на крюке, которые наносятся на графике тяговой характеристики трактора. Численные значения коэффициентов приспособляемости равны: для дизелей – 1,1...1,15, для бензиновых двигателей – 1,3...1,4.

Определив число передач в коробке передач, их передаточные числа и передаточные числа трансмиссии, находят силы тяги на колесах и крюке трактора на этих передачах, а также находят коэффициенты буксования, развиваемые при этом мощности, скорости движения, часовой и удельный расход топлива (см. рисунок 7). Полученные значения откладываются на графике потенциальной тяговой характеристики трактора. Внешнюю скоростную характеристику двигателя можно взять в Приложении А или рассчитать по известным зависимостям. Параметры двигателей приведены в таблице 3А Приложения А.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ТЯГОВОГО РАСЧЕТА ТРАКТОРА

Определяются:

- 1 – эксплуатационный вес трактора;
- 2 – сила сопротивления качению трактора и номинальная касательная сила;
- 3 – коэффициенты буксования;
- 4 – КПД трансмиссии;
- 5 – потребная номинальная мощность двигателя;
- 6 – потенциальная тяговая характеристика;
- 7 – мощностные и топливно-экономические параметры трактора.

Эксплуатационный вес трактора

Минимальный эксплуатационный вес трактора – вес с топливом, инструментом и трактористом. Конструкционный (сухой) вес – без этих нагрузок. Удельный конструкционный вес трактора принимается:

- колесный трактор на пневмошинах – 45...55 кг/л.с.;
- гусеничный трактор – 65...75 кг/л.с.

Максимальный эксплуатационный вес равен минимальному эксплуатационному плюс вес балласта, навешиваемого на трактор для создания силы тяги.

Вес на ведущих колесах складывается из веса трактора, приходящегося на эти колеса и перераспределения веса при создании силы тяги на крюке.

$$G_T = \frac{P_{кр}}{\varphi \cdot \lambda},$$

где $P_{кр}$ – сила тяги на крюке, φ – удельная сила (коэффициент сцепления), приведены в таблице 2; λ – динамический коэффициент загрузки задних колес, он же – коэффициент использования сцепного веса, приведены в таблице 2.

$$\varphi_{кр} = \frac{P_{кр}}{G_{сц}},$$

где $G_{сц}$ – сцепной вес (вес, приходящийся на ведущие колеса).

Правильный выбор сцепного веса трактора обеспечивает возможность реализации тяговой силы, определяющей класс трактора.

Предельная сила сцепления определяется с учетом статического и динамического коэффициентов загрузки задних колес.

$$\text{Эксплуатационная масса трактора} \quad m_э = \frac{P_{крн}}{g \varphi \cdot \lambda},$$

где $P_{крн}$ – номинальная сила тяги на крюке; g – ускорение свободного падения.

Номинальными называются сила, мощность, частота вращения коленчатого вала, с которыми двигатель может работать неограниченно долго, в отличие от максимальных значений этих параметров, с которыми работа допускается непродолжительное время.

$$\text{Эксплуатационный вес трактора} \quad G_э = m_э \cdot g.$$

$$\text{Конструкционная масса трактора} \quad m_k = \frac{m_э}{k_k},$$

где k – коэффициент (1,15 для колесных тракторов, 1,08 – для гусеничных тракторов).

Номинальная весовая динамическая нагрузка на задние ведущие колеса трактора:

$$Y_{2н} = Y_{2ст} + \frac{h_{кр} \cdot P_{крн}}{L},$$

$Y_{2ст}$ – весовая статическая нагрузка на задние ведущие колеса; $h_{кр}$ – высота расположения крюка (0,4 м); L – база трактора.

$h_{кр}$ и L приведены в таблице 1А Приложения А.

Нагрузка на передние колеса будет на эту величину меньше.

Динамический радиус пневмошин определяется по эмпирической зависимости. Для задних колес

$$r_{d2} = 0,5D_2 - (0,14 \dots 0,18) b,$$

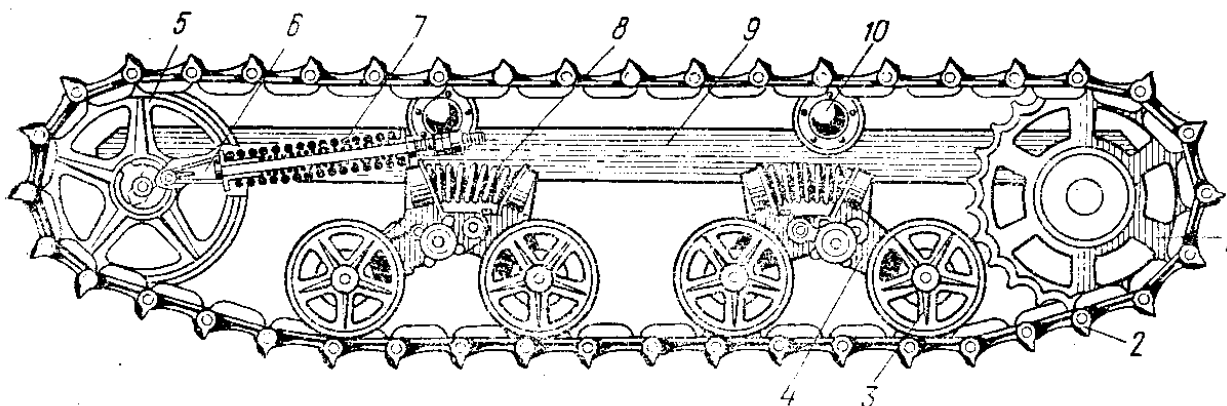
где D_2 – свободный диаметр шины; b – ширина профиля шины. (D_2 и b приводятся в таблице 5А Приложения А).

Аналогично определяется динамический радиус передних колес.

Динамический радиус ведущего колеса гусеничного трактора (рисунок 1) рассчитывается по выражению

$$r_d = \frac{t_2 \cdot Z_{зв}}{2\pi},$$

где t_2 – шаг гусеницы; $Z_{зв}$ – число звеньев (траков), укладываемых на ведущем колесе за один его оборот. Приведены в таблице 2А.



1 – ведущее колесо; 2 – гусеница; 3 – опорный каток; 4 – баланси́р; 5 – направляющее колесо; 6 – упор натяжного устройства гусеницы; 7 – пружина натяжного устройства; 8 – пружина подвески; 9 – о́стов трактора; 10 – поддерживающий каток

Рисунок 1 – Гусеничный движитель

Буксование трактора, коэффициент буксования

Создание тягового усилия на крюке трактора всегда сопровождается появлением буксования его ведущих колес или гусениц.

Повышение тяговой силы на крюке $P_{кр}$ ведет к увеличению буксования. Для уменьшения величины буксования необходимо увеличивать сцепной вес. Буксование колес тракторов обычно составляет 10%. Характеризуется буксование коэффициентом буксования δ .

$$\delta = \frac{V_T - V}{V_T},$$

где V_T – теоретическая скорость трактора; V – действительная скорость трактора.

Коэффициент буксования изменяется в пределах от 0 ($V = V_T$) до 1 ($V = 0$).

Буксование зависит от тяговой силы, веса трактора и от механических свойств грунта. На рисунке 4А Приложения А приведены зависимости удельной тяговой силы на крюке $\varphi_{кр}$ трактора «Кировец» К-701 от коэффициента буксования δ для различных грунтов.

Наилучшие тяговые показатели трактор имеет на бетонированной дороге, где тяговая сила $\varphi_{кр}$ при допустимом буксовании 10% для трактора К-701 составляет 0,65—0,75 от сцепного веса. Наиболее низкие показатели имеют место на поле, подготовленном под посев. Здесь тяговая сила составляет лишь 0,15—0,35 от $G_{сц}$. Таким образом, для реализации тяговой силы, соответствующей классу трактора, на бетоне необходим сцепной вес $G_{сц} = 5/0,7 = 7,15$ тс, в то время как на поле, подготовленном под посев, он составит $G_{сц} = 5/0,25 = 20$ тс. Но из-за большой металлоемкости трактора это неприемлемо. В то же время на севе и не требуется полное использование тяговой силы, поскольку посевные орудия имеют сравнительно низкое сопротивление перемещению и посевные работы могут выполняться на более высоких скоростях. Так, по статистическим данным, сопротивление полного набора сеялок, предназначенных для агрегатирования с тракторами «Кировец», составляет от 2 до 4 тс. Эталонном при расчете тракторов принимается стерня. Удельная тяговая сила $\varphi_{кр}$ при буксовании 10% на стерне лежит в пределах 0,3—0,44 (рисунок 4А в Приложении А). Принимая в расчет среднее значение $\varphi_{кр} = 0,37$, получаем сцепной вес трактора

$$G_{кр} = 5/0,37 = 13,5 \text{ тс.}$$

Учитывая, что на сельскохозяйственных работах трактор движется с включенным задним мостом, сцепной вес трактора можно считать равным полному весу трактора, т. е. $G_T = 13,5$ тс.

На бетонной дороге трактор, обладающий таким весом, может развить тягу

$$P_{кр} = 13,5 - 0,7 = 9,5 \text{ тс.}$$

Аналогичным образом, на поле, подготовленном под посев, тяговая сила составляет 2 - 4,5 тс.

Для различных значений касательной силы тяги на ведущих колесах коэффициенты буксования рассчитываются по выражению

$$\delta = \delta_{пр} \cdot \left[1 - \left\{ 1 - \frac{P_k}{P_k^{пр}} \right\}^k \right],$$

где δ — коэффициент буксования; $\delta_{пр}$ — предельный коэффициент буксования, когда касательная сила равна предельной силе по сцеплению ($P_k = P_k^{пр}$); P_k — текущее значение касательной силы тяги на ведущих колесах; $P_k^{пр}$ — предельное (максимальное) значение касательной силы, при которой начинается полное буксование; k — показатель степени в формуле для определения коэффициента буксования.

При расчетах используются параметры тракторов, изложенные в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры тракторов для тягового расчета

№	Тип трактора	Параметры							
		$\varphi_{крн}$	$\varphi_{кр}^{пр}$	$\lambda_{ст}$	λ	f	δ_n	$\delta_{пр}$	k
1	4К2а	0,53	0,7	0,65	0,7	0,12	0,18	0,4	0,380
2	4К2б	0,56	0,7	0,65	0,7	0,12	0,18	0,4	0,340
3	4К2с	0,56	0,7	0,6	0,74	1,12	0,18	0,4	0,340
4	4К4а	0,4	0,6	0,65	1	0,1	0,16	0,5	0,310
5	4К4б	0,45	0,67	0,4	1	0,1	0,16	0,5	0,310
6	гусенич.	0,6	0,8	1	1	0,08	0,05	0,3	0,131

После определения коэффициентов буксования строится график буксования трактора – рисунок 2.

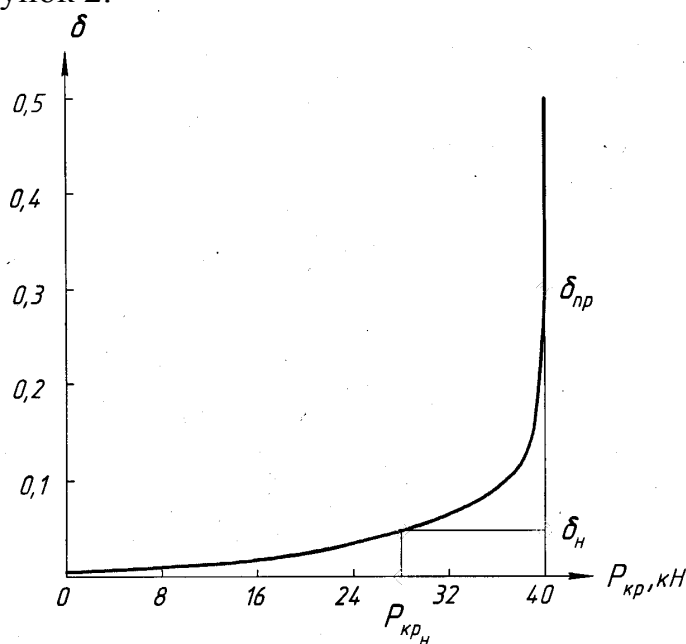


Рисунок 2 – График буксования трактора

Силы сопротивления движению трактора

Силы сопротивления складываются из силы тяги на крюке и сопротивления качению. Предельная по сцеплению касательная сила тяги на колесах

$$P_k^{пр} = P_{кр}^{пр} + P_f,$$

где $P_{кр}^{пр}$ – предельная по сцеплению сила тяги на крюке; P_f – сила сопротивления качению трактора.

$$P_f = G_s \cdot f,$$

где f – коэффициент сопротивления качению (берется в таблице 2).

КПД трансмиссии

По числу зубчатых зацеплений трансмиссии считаем механический КПД трансмиссии. Потери в каждом зацеплении принимаем 1,5%.

$$\eta_{мех} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4,$$

$\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4$ – КПД в полюсах зацеплений зубчатых колес трансмиссии.
Тяговый КПД трактора

$$\eta_T = \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\delta} \cdot \eta_f,$$

где η_{δ} – КПД при буксовании, равный $1 - \delta$; η_f – КПД, учитывающий потери при качении трактора.

$$\eta_f = \frac{P_{\text{кр}}}{P_{\text{кр}} + P_f}.$$

Тяговый КПД трактора $\eta_T = \frac{N_{\text{кр}}}{N_H}.$

Потребная номинальная мощность двигателя

Мощность – произведение силы на скорость ($\text{Н} \cdot \text{м/с} = 1 \text{ вт}$). Определив силы сопротивления движению (сила тяги на крюке плюс сила сопротивления качению движителя, а также учтя потери на буксование и в трансмиссии, задавшись скоростью на первой передаче, рассчитывается мощность двигателя. Далее подбирается или строится внешняя скоростная характеристика двигателя, строится регуляторная характеристика – зависимость мощности двигателя, оборотов коленчатого вала двигателя и часового расхода топлива от крутящего момента двигателя при работе всережимного регулятора числа оборотов (рисунок 3).

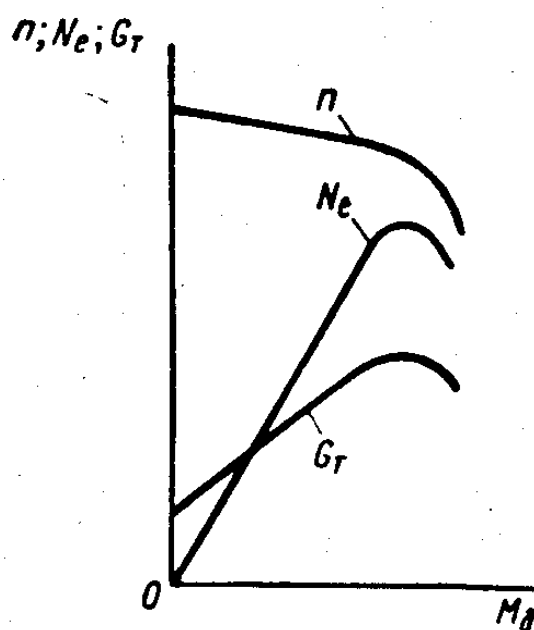


Рисунок 3 – Регуляторная характеристика двигателя

Если в Приложении А нет подходящей внешней скоростной характеристики для указанного в задании двигателя, необходимо взять в таблице 3А «Параметры тракторных двигателей» нужные параметры, рассчитать и постро-

ить характеристику по приведенным ниже формулам.

Внешняя скоростная характеристика двигателя (рисунок 4) считается для максимальной частоты вращения коленчатого вала (n_M), а также номинальной частоты (n_H), холостого хода (n_{XX}) и промежуточных значений частоты (n). При этом определяются: мощность, развиваемая двигателем, крутящий момент, часовой расход топлива, удельный часовой расход топлива.

1 Максимальная частота вращения коленчатого вала

$$\omega_M = \frac{\pi \cdot n_M}{30}; \quad M_M = \frac{N_M}{\omega_M}; \quad G_M = \frac{g_{em} \cdot N_M}{1000}.$$

2 Номинальная частота вращения коленчатого вала

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30}; \quad M_H = \frac{N_H}{\omega_M}; \quad G_H = \frac{g_{eH} \cdot N_H}{1000}; \quad G_M = 1,25 \dots 1,3 G_H.$$

3 Частота вращения коленчатого вала при холостом ходе

$$N_{XX} = 0; \quad M_{XX} = 0; \quad G_M = (0,25 \dots 0,3) G_H.$$

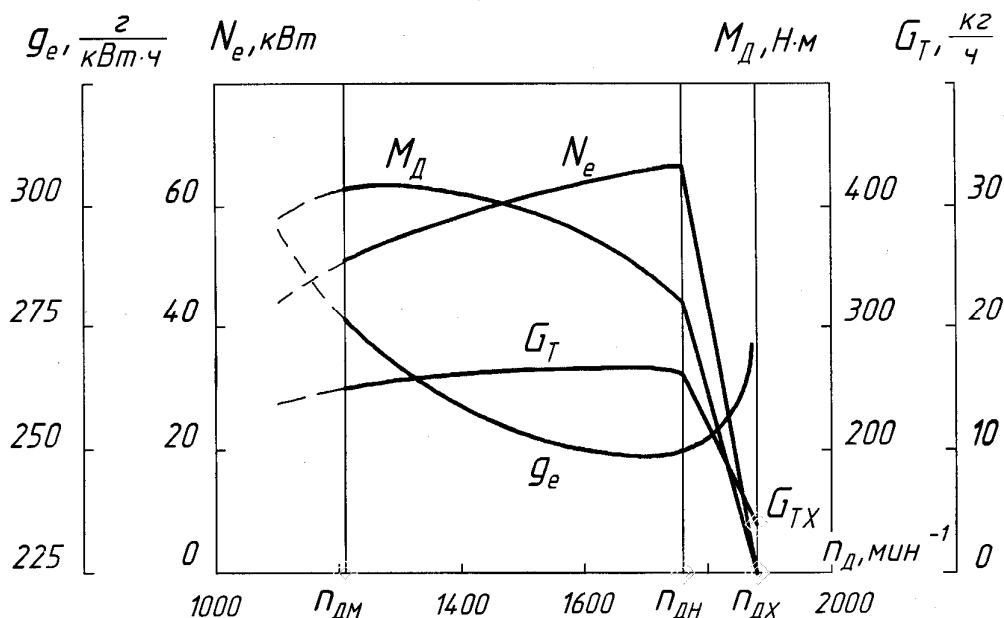


Рисунок 4 – Внешняя скоростная характеристика двигателя А-41 трактора ДТ-75М

Мощность механических потерь в трансмиссии и движителе

$$N_{мех} = (1 - \eta_M) \cdot N_H; \quad N_K = N_H - N_{мех}.$$

Для нескольких значений крутящих моментов, взятых в регуляторной характеристике, при оборотах от минимальных до максимальных рассчитать силы тяги на крюке по выражению

$$P_{кр} = \frac{M_e \cdot \eta_{мех} \cdot i_{тр}}{r_d} - G_3 \cdot f,$$

где $i_{тр}$ – передаточное число трансмиссии.

Для этих оборотов рассчитать теоретические скорости

$$V_T = 0,377 \cdot \frac{r_d \cdot n}{i_{тр}},$$

где r_d – динамический радиус колеса; n – частота вращения коленчатого вала.

По найденным значениям $P_{кр}$ на кривой буксования определить коэффициент буксования δ и рассчитать КПД буксования

$$\eta_\delta = 1 - \delta.$$

Действительная скорость с учетом буксования равна $V = V_T \cdot \eta_\delta$.

Мощность на крюке, кВт

$$N_{кр} = \frac{P_{кр} \cdot V}{1000}.$$

При расчете находятся мощности:

– Мощность, расходуемая на буксование трактора $N_\delta = N_k \cdot \delta = N_k(1 - \eta_\delta)$;

– Мощность сопротивления качению трактора $N_f = P_f \cdot V$;

– Тяговая (крюковая) мощность трактора $N_{кр} = N_e - N_{мех} - N_\delta - N_f$.

$$\text{Номинальная мощность трактора } N_H = \frac{P_{кн} \cdot V_1}{k_3 \cdot \eta_M},$$

где $P_{кн}$ – касательная номинальная сила тяги; V_1 – скорость трактора на первой передаче в коробке передач (6...8,5 км/ч); k_3 – коэффициент запаса мощности (0,9); η_M – механический КПД трансмиссии.

Определив максимальную (номинальную) мощность двигателя, величина мощности для построения графика внешней скоростной характеристики двигателя может быть определена по выражению

$$N_e = N_H \cdot \left[a \cdot \frac{n_e}{n_H} + b \cdot \left(\frac{n_e}{n_H} \right)^2 - c \cdot \left(\frac{n_e}{n_H} \right)^3 \right],$$

где n_e – обороты коленчатого вала, взятые для построения графика внешней скоростной характеристики двигателя; n_H – обороты коленчатого вала при максимальной (номинальной) мощности; N_e – рассчитываемая мощность двигателя при выбранных оборотах; N_H – номинальная (максимальная) мощность двигателя; a, b, c – коэффициенты, равные для дизелей соответственно 0,53, 0,56, 1,09.

Крутящий момент двигателя (Н·м), если известны мощность (кВт) и обороты коленчатого вала двигателя в минуту, равен

$$M_e = 9550 \frac{N_e}{n_e}.$$

Скорость на первой передаче задается – 6...9 км/ч.

$$\text{Теоретическая скорость трактора } V_T = \frac{N_k}{P_k} = \frac{N_k}{P_{кр} + P_f}.$$

Тяговая мощность и тяговый КПД определяются для каждой передачи

$$N_{крj} = V_j \cdot P_{крj}; \quad \eta_{тj} = \frac{N_{крj}}{N_e}.$$

Передаточные числа трансмиссии

Передаточные числа трансмиссии трактора на всех передачах в коробке передач распределяются по закону геометрического ряда. В этом случае после включения очередной следующей передачи момент двигателя M_{min} не выходит за пределы минимального значения, что требуется для сохранения высокой силы тяги трактора (рисунок 5). Это можно показать с помощью лучевого графика, где приводится зависимость номинальных и минимальных моментов двигателя после включения передач и силы тяги на ведущих колёсах P_k . В точках А, В, D происходит переключение передач соответственно: в точке А – с первой на вторую, в точке В – с второй на третью, в точке D – с третьей на четвертую. Все эти точки располагаются на одной горизонтальной прямой.

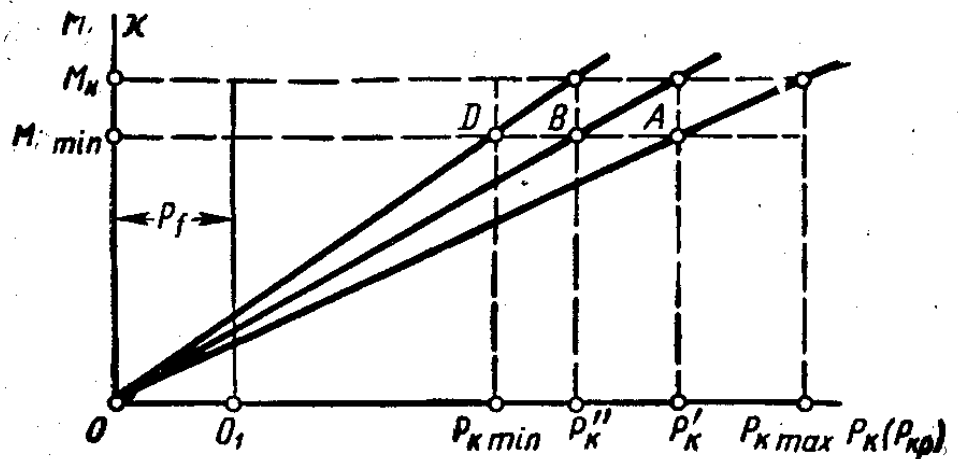


Рисунок 5 – Лучевой график для определения передаточных чисел трансмиссии

Передаточные числа трансмиссии трактора, по которым строятся лучи на графике, можно выразить:

$$i_2 = i_1 \cdot q; \quad i_3 = i_2 \cdot q = i_1 \cdot q^2,$$

где i_1 – передаточные числа трансмиссии на первой передаче; q – знаменатель геометрической прогрессии.

Передаточные числа на других передачах определяются по выражению

$$i_j = i_1 \cdot q^{j-1},$$

где i_j – передаточное число трансмиссии на любой j -той передаче в коробке передач.

Если знаменатель q выразить через отношение скоростей, он примет вид

$$q = \left(\frac{i_1}{i_j} \right)^{\frac{1}{j-1}} = \left(\frac{V_{T1}}{V_{Tn}} \right)^{\frac{1}{j-1}},$$

где V_{T1} – скорость на первой передаче; V_{Tn} – скорость на j -ной высшей передаче при работе двигателя в номинальном режиме.

График потенциальной тяговой характеристики трактора

Главным в тяговом расчете является построение графика теоретической (потенциальной) тяговой характеристики трактора, представляющей собой зависимость силы тяги на крюке от скорости, мощности, часового и удельного расходов топлива, частоты вращения коленчатого вала на каждой передаче, потерь на буксование трактора (рисунок 6 или 7). Для этого рассчитываются:

- 1 мощности двигателя на каждой передаче (N_{ei} от $P_{кр}$);
- 2 мощности на крюке на каждой передаче ($N_{кр}$ от $P_{кр}$);
- 3 изменение топливно-экономических параметров ($g_{кр}$ и G_T от $P_{кр}$).

Отдельно строятся графики скоростных параметров трактора:

1 регуляторная характеристика двигателя (зависимость n_e , N_e , G_T , g_e от M_e – рисунок 2);

2 кривая буксования (δ от $P_{кр}$).

Так как P_k на первой передаче больше, чем на второй, буксование колёс на первой передаче также больше и больше потери мощности на буксования на первой передаче. Показанная на рисунках 6 и 7 максимальная полезная мощность на крюке на второй передаче выше, чем на первой.

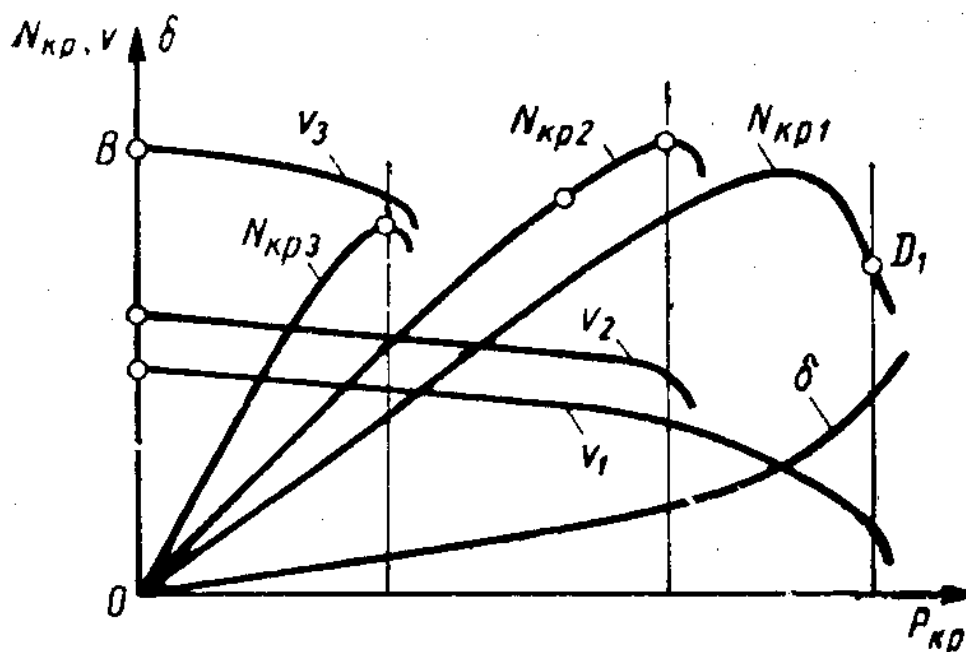


Рисунок 6 – Теоретическая тяговая характеристика колесного трактора

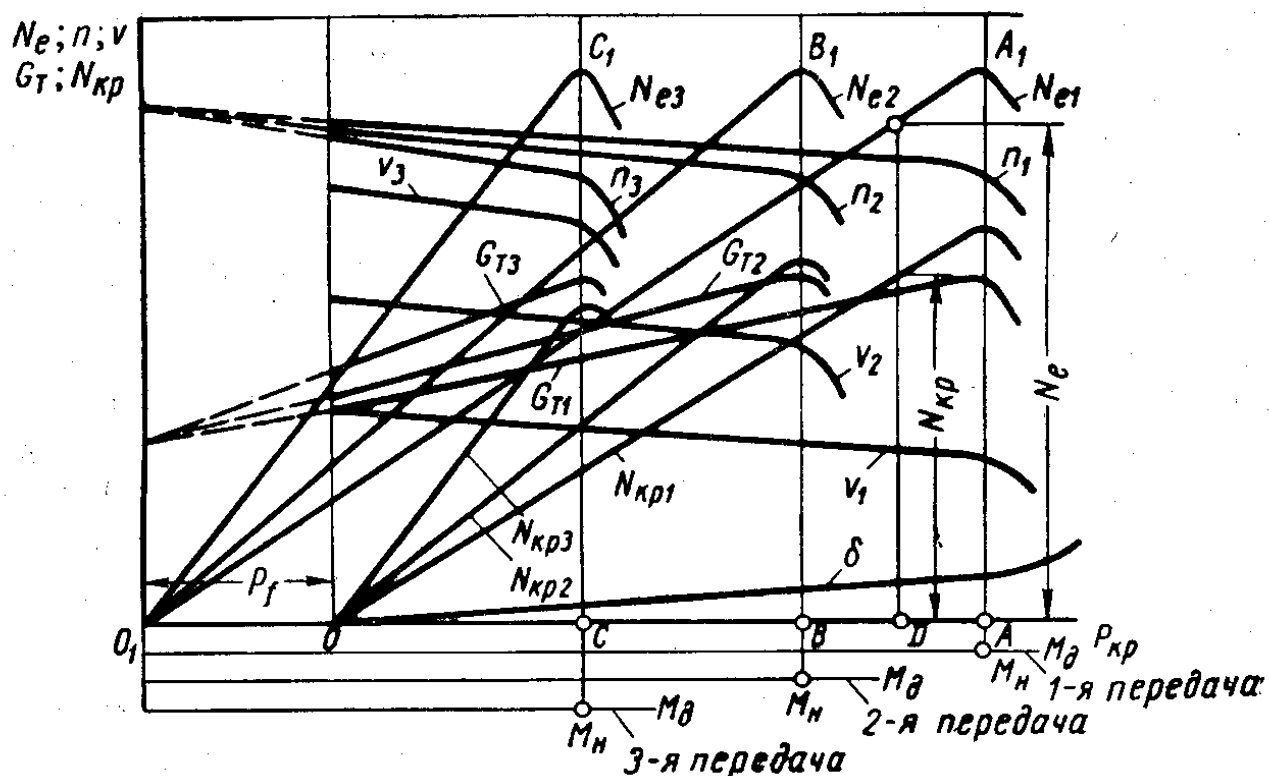


Рисунок 7 – Теоретическая тяговая характеристика гусеничного трактора

На рисунке 7 отложены:

По оси ординат – скоростные параметры n , V_T , δ , мощностные параметры N_e , $N_{кр}$, η_T и топливно-экономические параметры G_T и $g_{кр}$;

По оси абсцисс – сила сопротивления качению P_f и сила тяги на крюке $P_{кр}$ для всех передач.

Тяговая характеристика гусеничного трактора ДТ-75М имеется в Приложении рисунок 9А.

Приложение А

Таблица 1.А – Параметры колесных тракторов

Марка трактора	Класс	m_k , кг	L , мм	$h_{кр}$, мм
Т-25	0,6	2030	1630	340-500
Т-16М	0,6	1810	2500	590
Т-40М	0,9	2250	2250	200-950
Т-50	0,9	2570	2160	200-950
МТЗ-80	1,4	3520	2370	420-480
МТЗ-82	1,4	3730	2450	420-480
МТЗ-102	1,4	3950	2570	420-480
Т-54С	2,0	4000	1895	200-500
ДТ-54А	2,0	5440	1622	340-490
Т-150К	4,0	8135	2860	400
К-703	5,0	12400	3200	400

Таблица 2.А – Параметры гусеничных тракторов

Марка трактора	m_s , кг	t_z , мм	z_{36}	z_{6k}
Т-50В	3680	176	13,5	27
Т-54С	4120	176	11,5	23
Т-38М	4150	176	14	14
ДТ-54А	5630	170	12	12
Т-74	5980	170	12	12
ДТ-75М	6620	170	13	13
ДТ-55А	6458	182	11	11
Т-150	7900	170	14	14
Т-4М	8100	176	13	13
Т-100М	11450	203	13	26
Т-130	12800	203	13	13
Т-180	15650	240	10,5	21
ДЭТ-250	26800	218	13,5	27
ТДТ-40М	6680	120	12	12
ТДТ-55	9500	134	9	9
ТДТ-75	10720	150	11	11

Таблица 3.А – Параметры тракторных двигателей

Марка двигателя	N_n , кВт	M_n , Н·м	ω_n , рад/с	k_n	k_n	g_e , г/(кВт·ч)
Д-21А	18	96	188,5	1,12	1,39	250
Д-120	21	101	209,4	1,12	1,33	238
Д-48М, Л, Т	36	216	167,6	1,12	1,46	272
Д-37Е	37	196	188,5	1,12	1,34	258
Д-144	37	196	188,5	1,12	1,38	238
Д-50	40	225	178,0	1,12	1,55	265
Д-144А	44	210	209,4	1,12	1,38	265
Д-65М	44	240	183,3	1,12	1,55	252
Д-241	51	232	219,9	1,12	1,50	258
Д-240	55	239	230,4	1,12	1,57	245
СМД-14АН, БН	59	313	188,5	1,12	1,34	254
Д-260Т	61	263	230,4	1,12	1,47	245
А-41	66	361	183,3	1,15	1,45	245
СМД-18Н	70	370	188,5	1,15	1,34	254
СМД-17КН, 18КН	74	370	199,0	1,10	1,35	245
Д-108Б	80	709	112,1	1,10	1,42	238
А-01МЛ	82	490	167,6	1,15	1,41	252
СМД-19, 20	89	445	199,0	1,10	1,35	245
А-01М	96	540	178,0	1,15	1,41	238
Д-160Б	103	920	112,1	1,10	1,42	238
СМД-60	110	525	209,4	1,15	1,32	257
Д-160	118	902	130,9	1,10	1,47	247
СМД-62	121	550	219,9	1,15	1,32	258
Д-180	130	1130	115,2	1,05	1,42	252
СМД-72	147	669	219,9	1,10	1,50	245
ЯМЗ-238НБ	147	826	178,0	1,10	1,36	237
СМД-80	184	836	219,9	1,15	1,37	238
ЯМЗ-240	199	1000	199,0	1,10	1,27	240
В-31	220	1400	157,1	1,11	1,43	238
ДВТ-330	251	1404	178,0	1,12	1,31	238

Марки двигателей, заводы их изготавливающие, тракторы, на которые они устанавливаются

Д-21А, -120, -144 – Владимирский тракторный (тракторы Т-30, -30СШ, -45;

Д-144 – на тракторах Т-40, ЛТЗ-55 Липецкого тракторного завода);

Д-48М; Д-50, -240 – Минский тракторный (тракторы МТЗ-80,-82);

СМД -14, -17Н, -18Н, -19, -20 – Белгородский моторный (тракторы ДТ-75, - 175 Волгоградского завода);

СМД-62, -63, -64 – Харьковский тракторный (тракторы Т-150, ТК-150);

А-01М, А-41 – Алтайский моторный, г. Барнаул (тракторы Т-4А, Т-250, Т-404 в г. Рубцовске);

Д-160, -180, В-31 – Челябинский тракторный (тракторы Т-130, Т-170, ДЭТ-250);

ДВТ-330 – Чебоксарский тракторный (промышленный трактор Т-330);

ЯМЗ-238НБ, -240 – Ярославский моторный (тракторы К-700 и К-701 и др.).

Таблица 4.А – Шины, устанавливаемые на тракторах

Марка шины	Марка трактора
Шины ведущих колес	
9,5-32	Т-25А
11,2-20	МТЗ-82
11,2-28	Т-16М
13,6R38	Т-40, Т-40АМ
14,9-30	Т-40М
15,5R38	МТЗ-80, МТЗ-82, ЮМЗ-6Л
16,9R30	МТЗ-82Н, МТЗ-100, МТЗ-102
16,9R38	МТЗ-80, МТЗ-82, МТЗ-100, МТЗ-102, ЮМЗ-6Л
21,3R24	Т-150К
30,5R32	К-701М
18,4L30	МТЗ-80Х
Шины направляющих колес	
18,4К34	МТЗ-100, МТЗ-102
9-20	МТЗ-80, МТЗ-100, ЮМЗ-6Л
6,5-16	Т-25, Т-16М, Т-40М
11,2-20	МТЗ-102

Таблица 5.А – Параметры тракторных шин

№	Марка шины	Разметы шины		Нормы экпл. режимов при $v = 30$ км/ч		
		Наружный диаметр D , мм	Ширина профиля без нагрузки b , мм	Максимальн. допуск. нагрузка на шину, кН	Давление в шине, соотв. этой нагрузке, кПа	Стат. радиус шины, соотв. этой нагрузке $r_{ст}$, мм
Шины ведущих колес						
1	9,5-32	1240±12	241	10,65	210	590±6
2	11,2-20	985±9	284	11,75	210	460±5
3	11,2-28	1210±12	284	11,2	180	567±6
4	13,6R38	1540±15	345	18	160	717±7
5	14,9-30	1402±15	378	16,65	140	650±7
6	15,5R38	1570±15	394	20,6	180	730±7
7	16,9R30	1462±15	429	22,45	170	662±7
8	16,9R38	1685±17	429	25,75	160	780±8
9	18,4L30	1520±15	490	28,20	180	693±8
10	18,4R34	1640±16	467	25,65	140	750±8
11	21,3R24	1400±15	540	25	160	640±8
12	30,5R32	1830±18	775	47,15	170	830±8
Шины направляющих колес						
1	6,5-16	760±8	175	6,15	310	362±5
2	9-20	945±9	241	11	260	442±5

Таблица 6.А – Показатели трактора МТЗ-82

$m_э,$ кг	Передача	Показатели при наибольшей мощности $N_{кр\max}$					
		$N_{кр},$ кВт	η_T	$P_{кр},$ кН	$v,$ км/ч	$G_T,$ кг/ч	$g_{кр},$ г/(кВт·ч)
Трактор МТЗ-82							
3780	2	19,4	0,35	20,6	3,4	9,1	467
	3	30,4	0,55	18,1	6,0	13,9	457
	4	33,1	0,6	14,9	8,3	14,6	442
	5	33,7	0,609	13,1	9,2	14,2	420
	6	33,6	0,61	10,9	11,1	14,1	419
	7	33,4	0,608	9,6	12,5	13,0	389
	8	32,1	0,58	7,6	15,2	12,9	401

Таблица 7.А – Показатели трактора ДТ-75М

$m_э,$ кг	Передача	Показатели при наибольшей мощности $N_{кр\max}$					
		$N_{кр},$ кВт	η_T	$P_{кр},$ кН	$v,$ км/ч	$G_T,$ кг/ч	$g_{кр},$ г/(кВт·ч)
Трактор ДТ-75М							
6460	1	50	0,757	35,3	5,1	16,6	332
	2	50,6	0,766	31,4	5,8	16,7	330
	3	50,2	0,76	28,9	6,3	16,7	332
	4	49,6	0,75	25,5	7	16,6	336
	5	48,2	0,73	22,6	7,7	16,6	345
	6	46,3	0,7	19,6	8,5	16,6	359

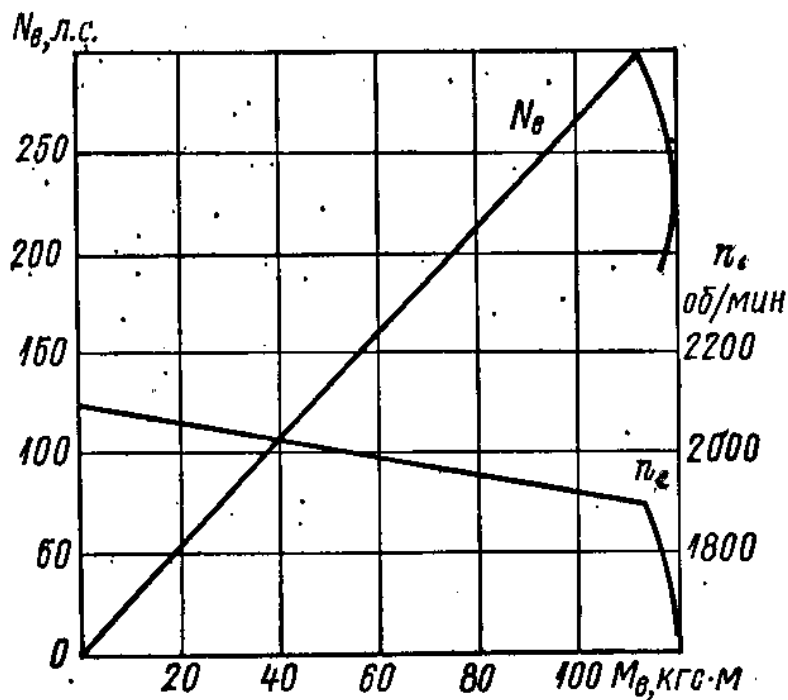


Рисунок 1.А – Регуляторная характеристика двигателя ЯМЗ-240Б, устанавливаемом на тракторе «Кировец» К-701 ($N_e = N_H$)

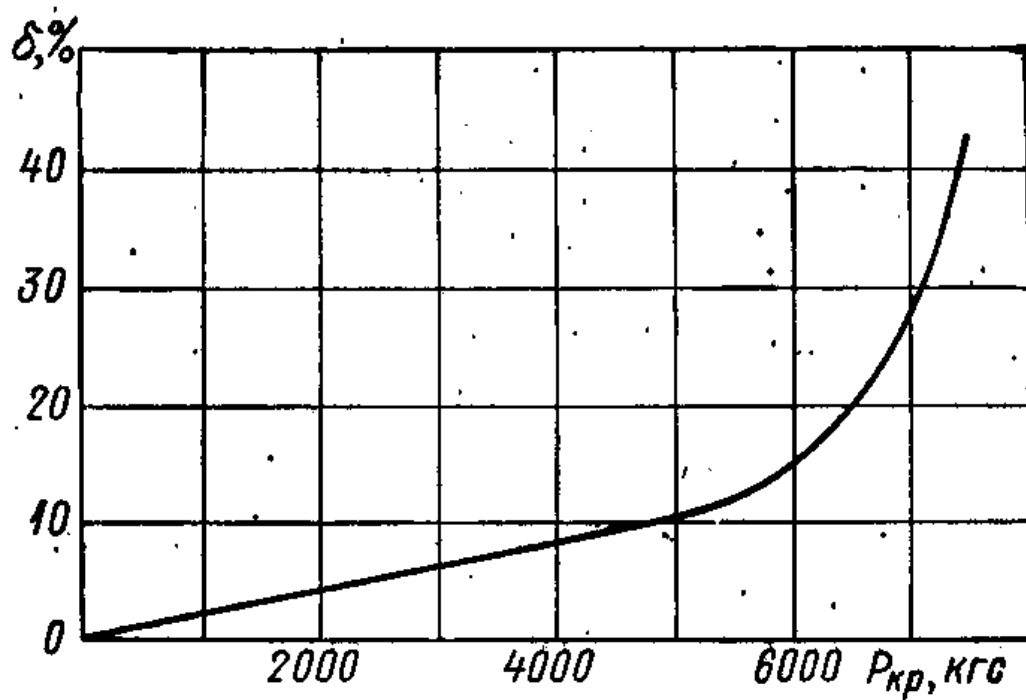


Рисунок 2.А – Характеристика буксования шины ФД-12 колес, устанавливаемых на тракторе «Кировец» К-701

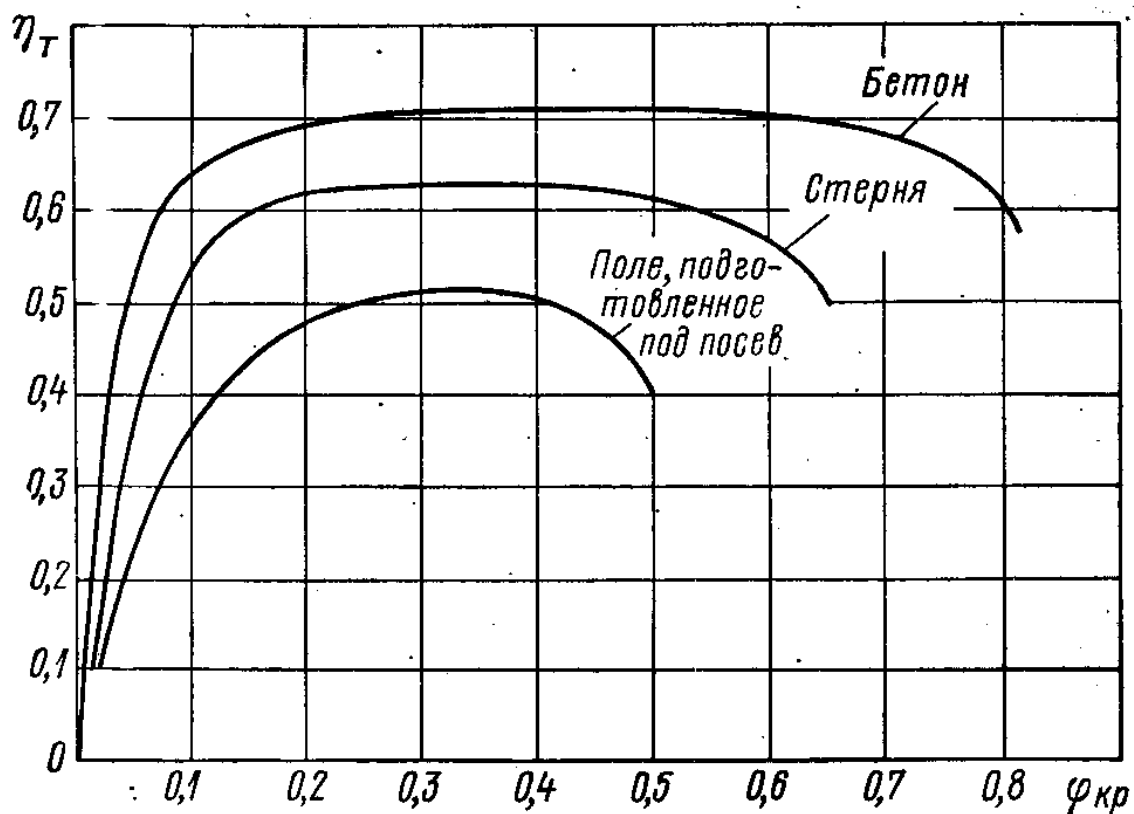


Рисунок 3.А – Тяговый КПД трактора «Кировец» К-701 на различных грунтах

Здесь $\phi_{кр}$ – удельная крюковая сила

Тяговый КПД равен $\eta_T = \frac{N_{кр}}{N_e}$; $N_{кр}$ – максимальное значение крюковой мощности, снижающейся из-за буксования колес; N_e = мощность двигателя трактора «Кировец» К-701 – 300 л.с.

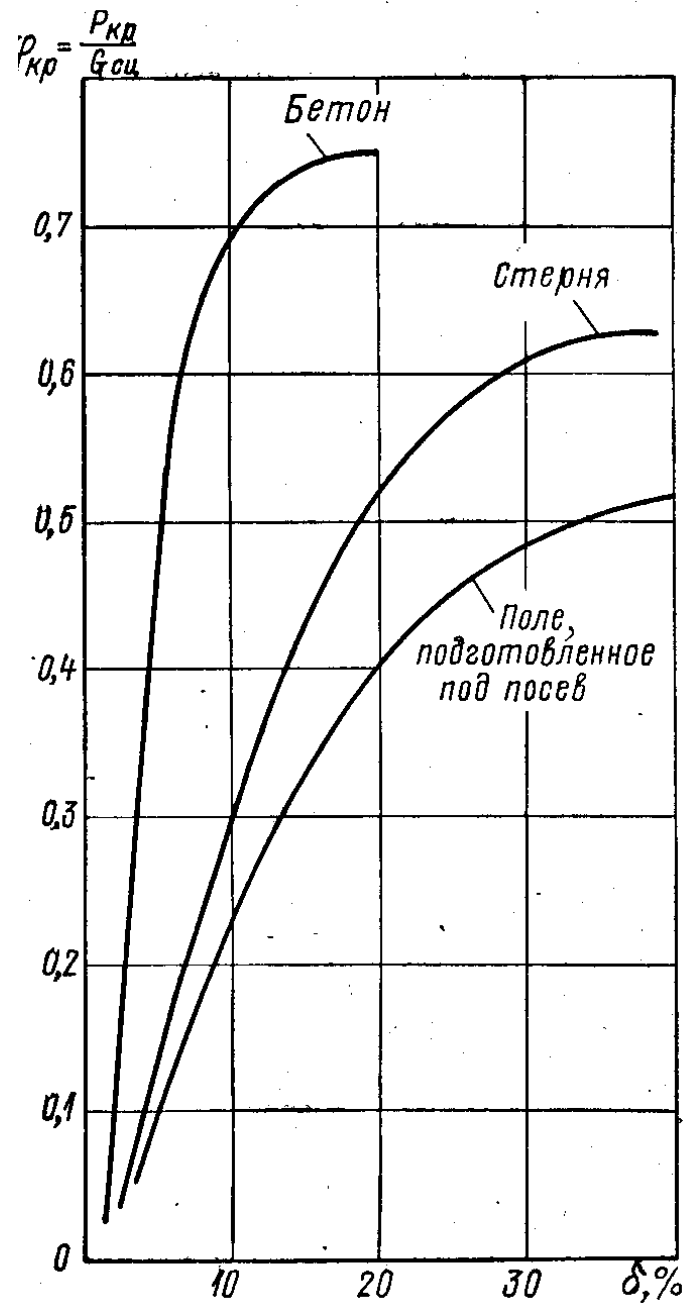


Рисунок 4.А – График буксование трактора «Кировец» К-701 на различных грунтах

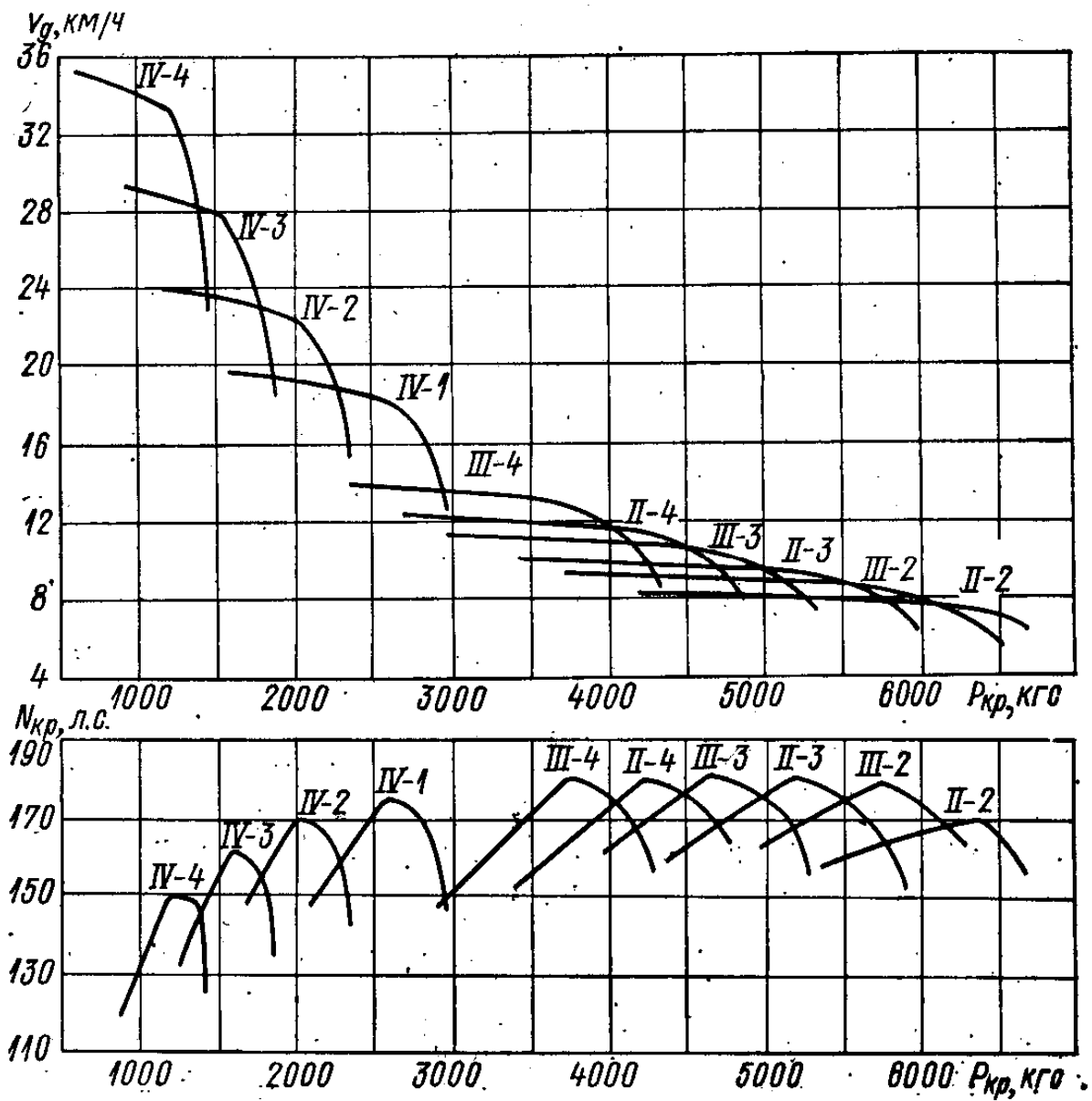


Рисунок 5.А – Тяговая характеристика трактора «Кировец» К-701 на стерне

Показанная на рисунке 5А максимальная крюковая мощность 185 л.с., номинальная мощность двигателя – 300 л.с. Отсюда тяговый КПД трактора

$$\eta_{т} = \frac{N_{кр}}{N_{н}} = 0,62.$$

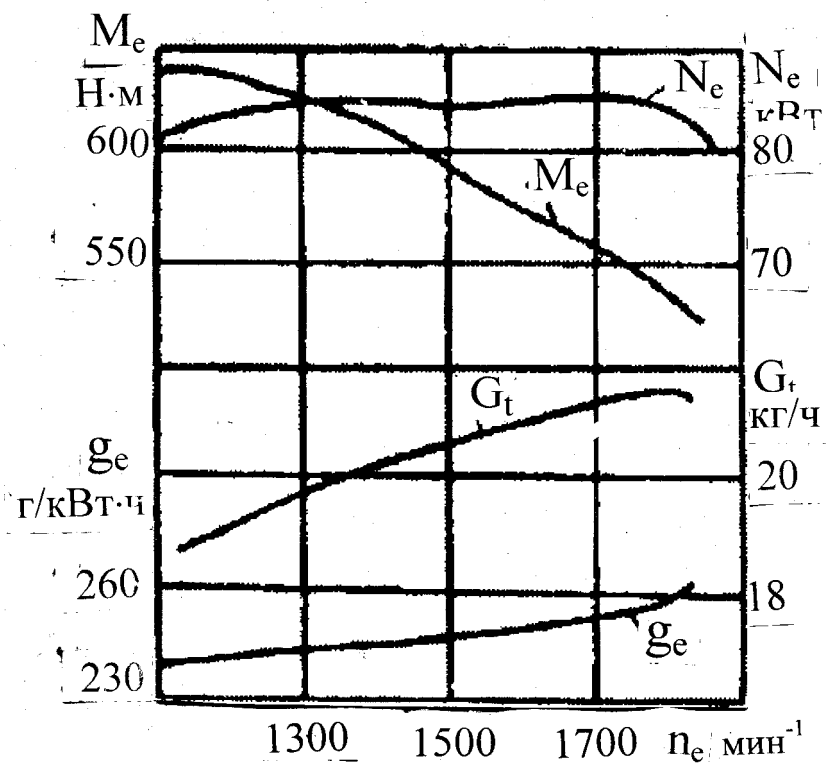


Рисунок 6.А – Внешняя скоростная характеристика двигателя СМД-18Н

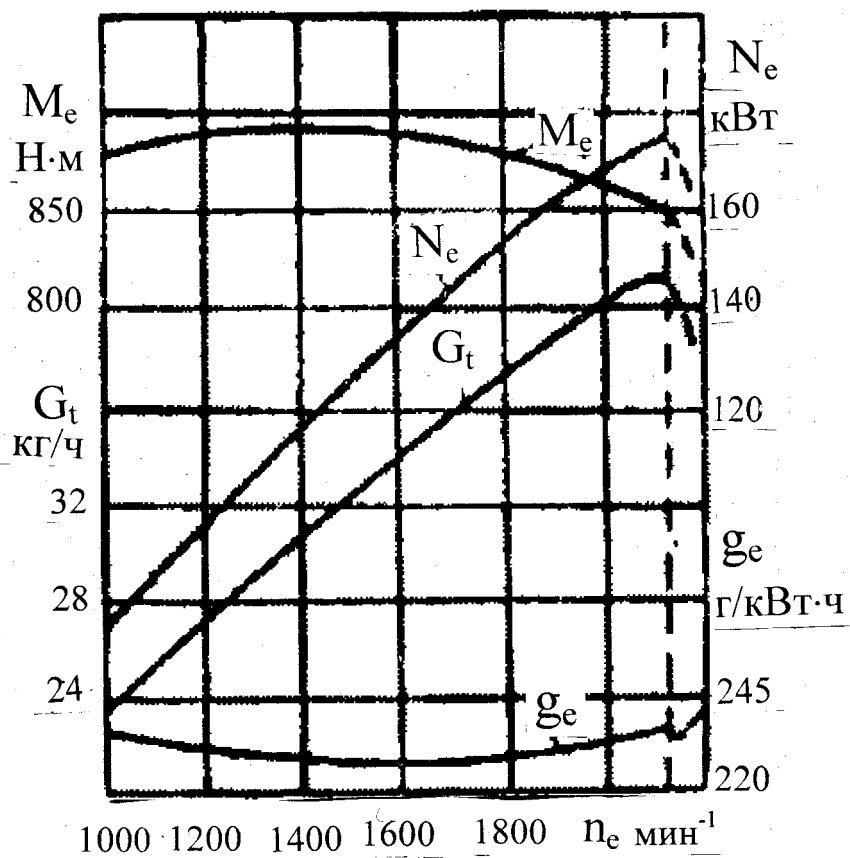


Рисунок 7.А – Внешняя скоростная характеристика двигателя ЯМЗ-238

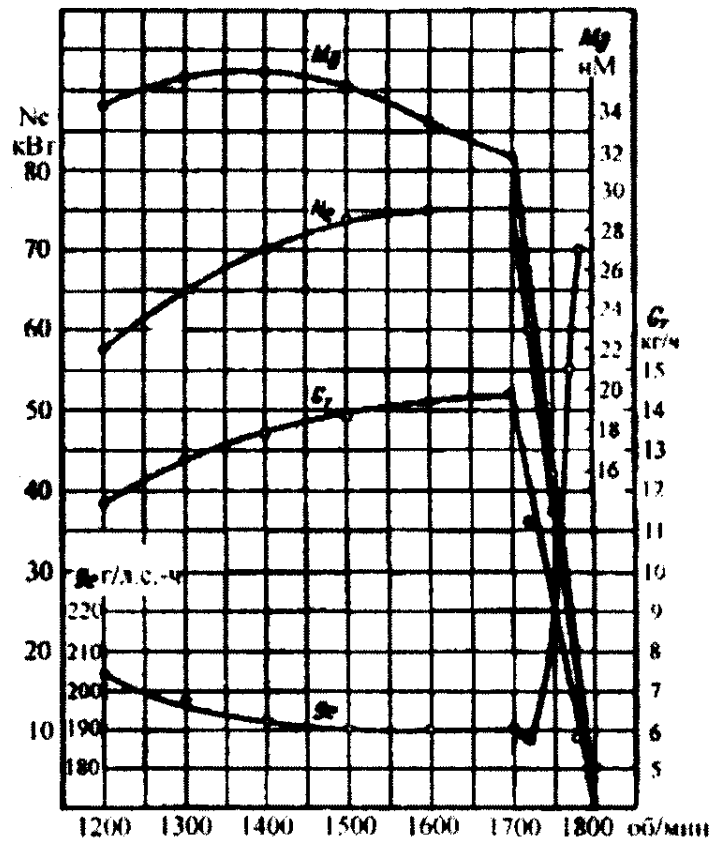


Рисунок 8.А – Внешняя скоростная характеристика двигателя СМД-17КН

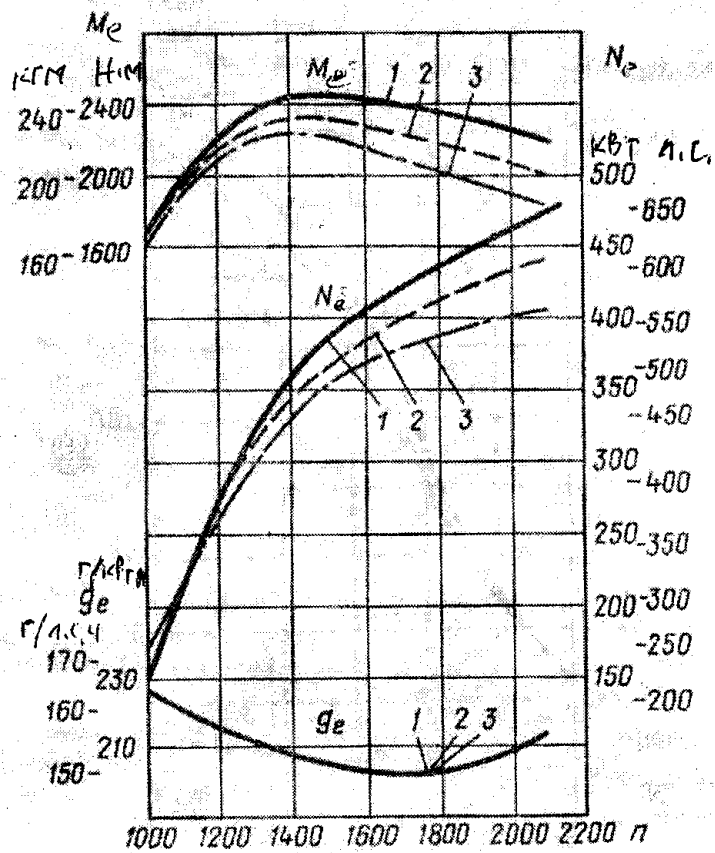


Рисунок 9.А – Внешние скоростные характеристики двигателей ЯМЗ-8401 модификаций: 1) – 10-03; 2) – 10-05; 3) – 10-06

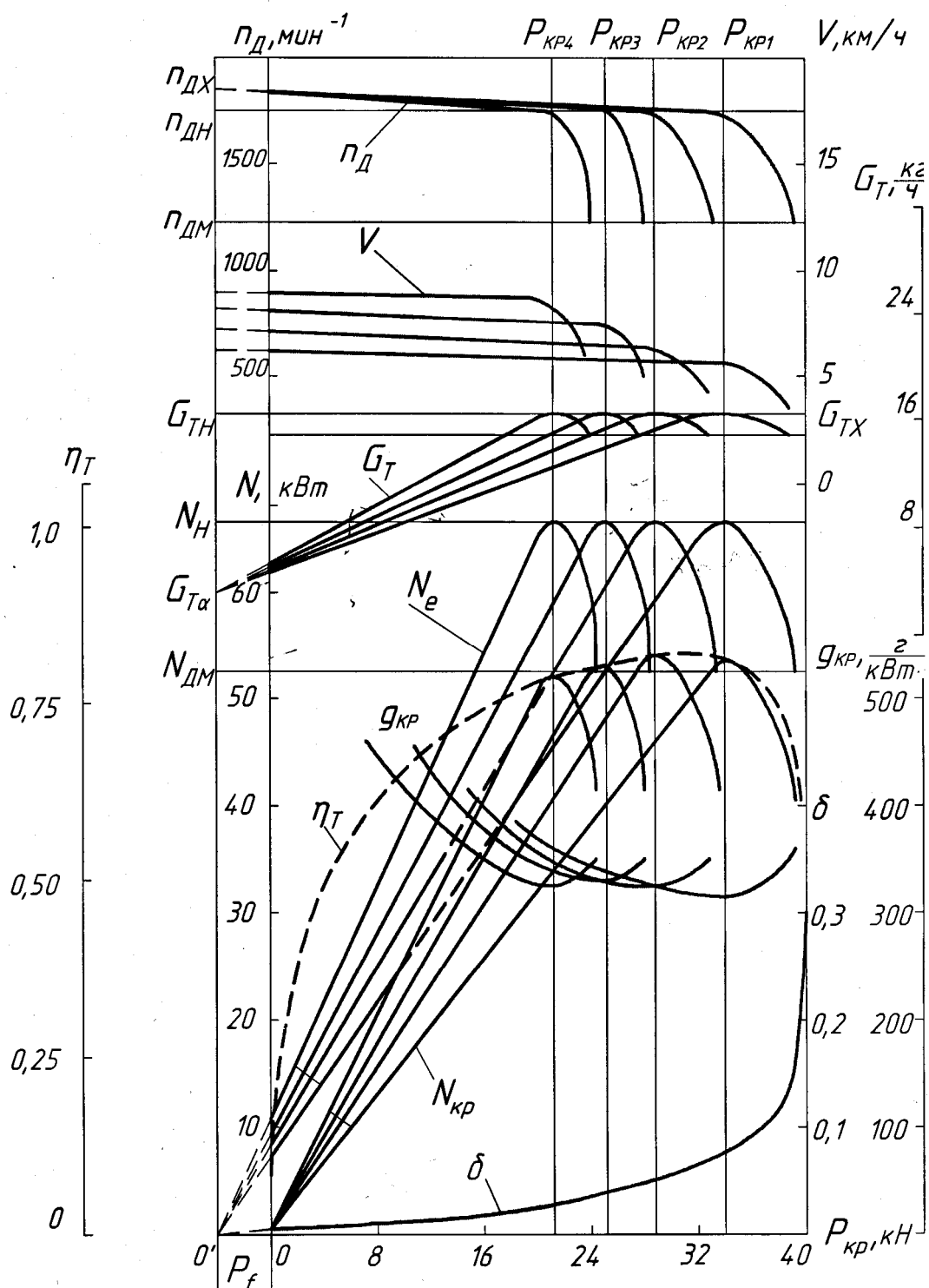


Рисунок 9.А – Тяговая характеристика гусеничного трактора ДТ-75М

Максимальная транспортная скорость трактора ДТ-75М – 17,5 км/ч; число передач переднего хода – 7; максимальное число оборотов коленчатого вала – 1830 об/мин; $n_H = 1780$ об/мин; $g_{eH} = 245$ г/кВт.ч; $N_H = 58,8$ кВт (80 л.с.); $P_{кр} = 3$ т.

Список литературы

- 1 Львов Е. А. Теория трактора. – М. : Машгиз, 1960. – 252 с.
- 2 Савочкин В. А. Тяговый расчет трактора. – М. : МАМИ, 2001. – 48 с.
- 3 Тракторы. Теория. Учебник для студентов вузов / под редакцией В. В. Гуськова. – М. : Машиностроение, 1988.
- 4 Теория и расчет трактора «Кировец» / под общей редакцией А. В. Бойкова. – Л. : Машиностроение, 1980. – 208 с., ил.

Тверсков Борис Михайлович

ТЯГОВЫЙ РАСЧЕТ ТРАКТОРА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению контрольных работ, курсовых и дипломных проектов
студентами направления 23.05.01
«Наземные транспортно-технологические средства»

Редактор Г.В. Меньщикова

Подписано в печать	Формат 60x84 1/16	Бумага 65 г/м ²
Печать цифровая	Усл. печ. л. 1,75	Уч.-изд. л. 1,75
Заказ	Тираж 25	Не для продажи

Редакционно-издательский центр КГУ.
640000, г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.