

Лекция № 2.3

Использование тяговой характеристики и баланса мощности трактора в эксплуатационных расчетах

В О П Р О С Ы

1

Уравнение тягового баланса трактора. Схема образования и правило определения движущей силы.

2

Зависимость тяговой силы трактора от условий работы. Графики тягового баланса. Способы улучшения тягово-сцепных свойств трактора.

3

Уравнение баланса мощности трактора. Определение составляющих. График мощностного баланса. Показатели использования тяговых и энергетических возможностей трактора.

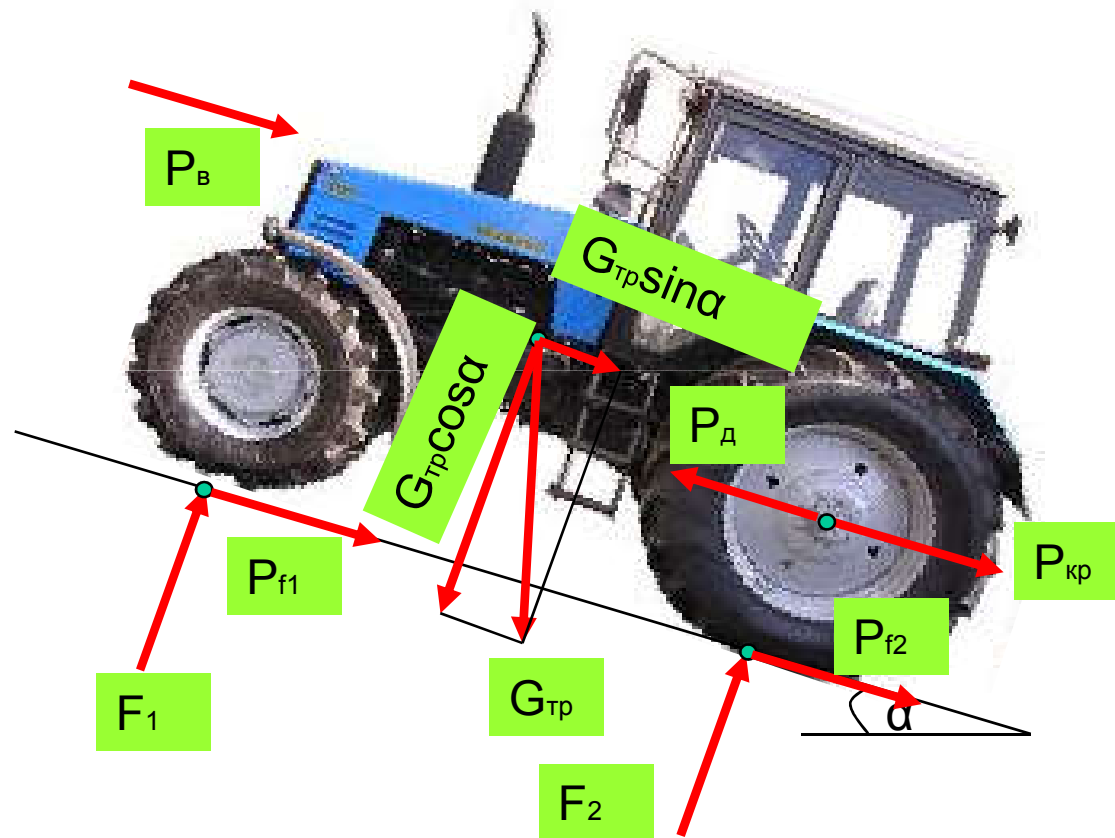
4

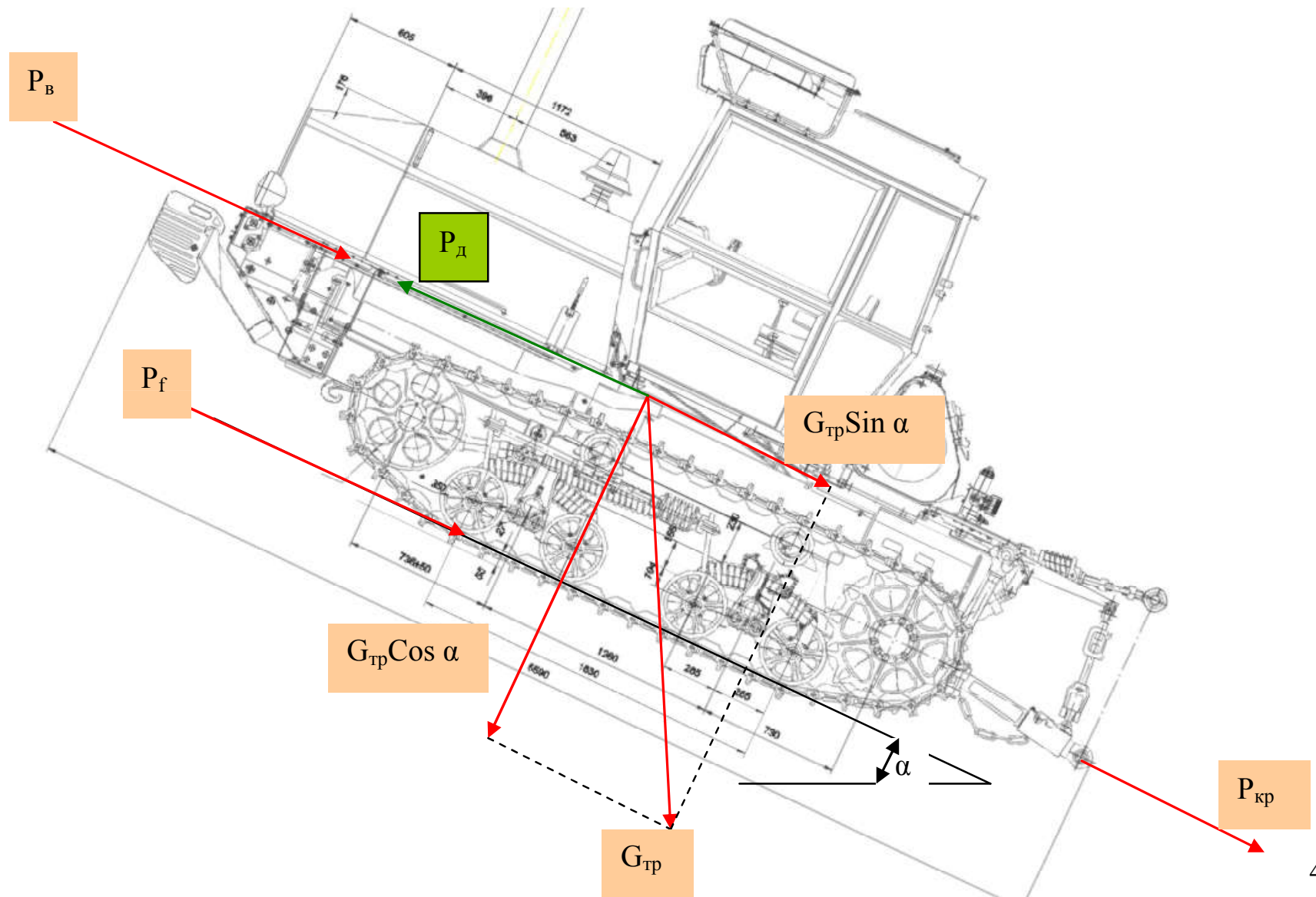
Тяговая характеристика трактора. Использование тяговой характеристики трактора в эксплуатационных расчетах.

Уравнение тягового баланса.

Схема образования и правило определения движущей силы.

При равномерном установившемся движении на трактор действуют силы:





сопротивление движению на подъем
(горизонтальная проекция веса трактора на опорную
поверхность) - $P_{\alpha} = G_{\text{тр}} \sin \alpha \approx G_{\text{тр}} i / 100$

сопротивление воздуха $P_{\text{в}}$, которым обычно
пренебрегают вследствие его малости из-за
небольшой скорости движения трактора (менее 30
км/ч)

сопротивление прицепной части агрегата (сельскохозяйственной машины) – **тяговое сопротивление машин (орудий) – R_a** , в случае рассмотрения только трактора эта сопротивление носит название **тяговой силы** и обозначается $R_{кр}$

движущая (толкающая сила), приложенная к остову трактора и вызывающая движение агрегата – R_d

- **вертикальная реакции опорного основания N** , которая равна проекции веса трактора на ось перпендикулярную опорному основанию , т.е.

$$N = G_{\text{тр}} \cos \alpha$$

сопротивление перекатыванию трактора P_f , возникающее вследствие деформации опорных элементов его движителя и опорного основания (почвы); деформированное почвенное основание называется колея и характеризуется глубиной и шириной следа трактора

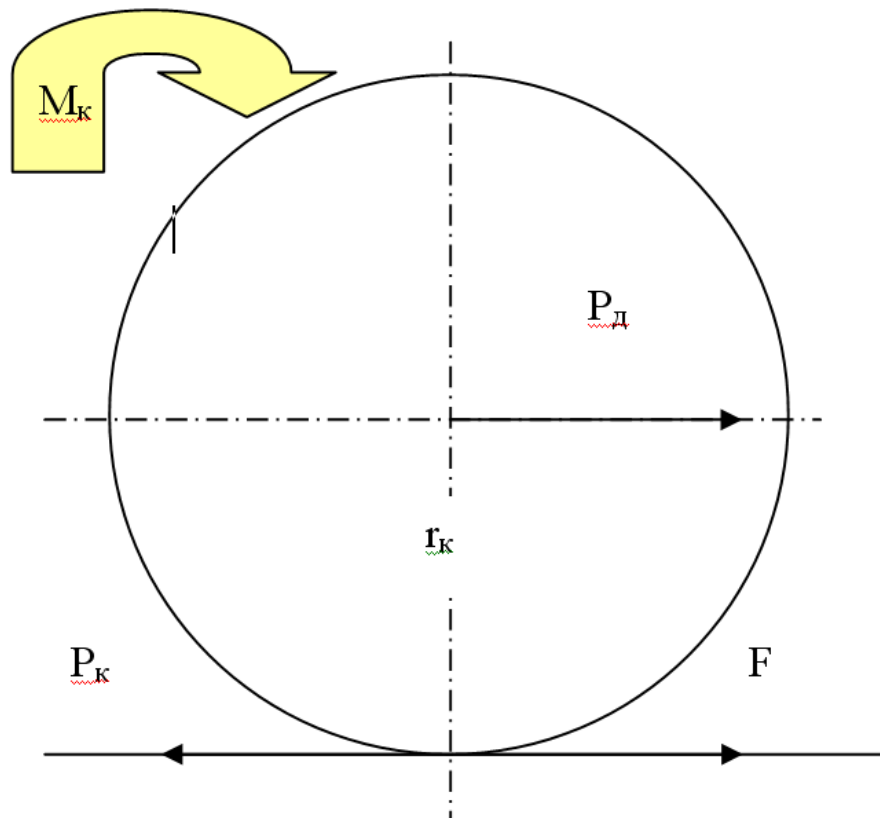
$$P_f = f G_{\text{тр}} \cos \alpha$$

$P_d - P_{кр} - P_f - P_\alpha - P_B = 0$, в случае $P_B = 0$ после преобразований

$$P_d = P_{кр} - P_f \pm P_\alpha$$

Это уравнение - уравнение тягового баланса, которое показывает распределение движущей силы по элементам сопротивления

Движущая сила агрегата возникает в результате передачи крутящего момента от двигателя трактора посредством трансмиссии к движителям



$$M_{кр}^{дв} = 9,55 \frac{N_{ен}}{n_H} \approx 10 \frac{N_{ен}}{n_H}$$

$$M_K = \frac{10 N_{ен} \cdot i_{тр} \cdot \eta_M}{n_H}$$

$$r_K = r_0 + \lambda h_{Ш}$$

$$P_K = \frac{M_K \cdot \eta_K}{r_K} = \frac{10 N_{ен} i_{тр} \eta_M \eta_K}{n_H r_K}$$

Касательная сила тяги – наибольшая окружная сила на ведущих колесах (звездочках) трактора, возникающая вследствие передачи им крутящего момента от двигателя.

Касательная сила тяги, соответствующая номинальным оборотам и в большинстве случаев максимальной эффективной мощности двигателя, называется номинальной касательной силой тяги трактора.

Движущей силой является приложенная к остову трактора в направлении движения **внешняя сила**, создаваемая его двигателем и равная горизонтальной реакции опорного основания (почвы), представляющей собой сумму сил сопротивления , действующих на агрегат в направлении его движения.

Горизонтальную реакцию почвы, соответствующую наибольшему допустимому буксованию, называют максимальной силой сцепления или просто силой сцепления P_c , т.е.

$$P_c = F_{\text{макс}}$$

$$P_c = \mu G_{\text{сц}}$$

Коэффициентом сцепления ведущего аппарата с почвой называется отношение наибольшей касательной силы тяги при допустимом буксовании к нормальной реакции почвы на ведущий аппарат трактора на горизонтальном участке при установившейся работе, т. е.

$$\mu = \frac{P_{\text{макс}}}{G_{\text{сц}}}$$

$G_{сц}$ —нормальная реакция почвы на ведущий аппарат, равная по величине сцепному весу.

$$G_{сц} = G_{тр} \cos \alpha \approx G_{тр}$$

— для тракторов со всеми ведущими колесами и гусеничных;

$$G_{сц} = \frac{2}{3} G_{тр} \cos \alpha \approx \frac{2}{3} G_{тр}$$

— для тракторов с одним ведущим мостом;

Правило определения движущей силы:

**движущая агрегат сила – меньшая из
силы сцепления и касательной силы
тяги, т.е.**

$$P_d = \min(P_k; P_c).$$

Величина движущей силы, перемещающей агрегат, в зависимости от условий работы ограничивается двумя независимыми факторами:

а) величиной касательной силы тяги на ведущей оси, развиваемой в результате работы двигателя с полной отдачей мощности;

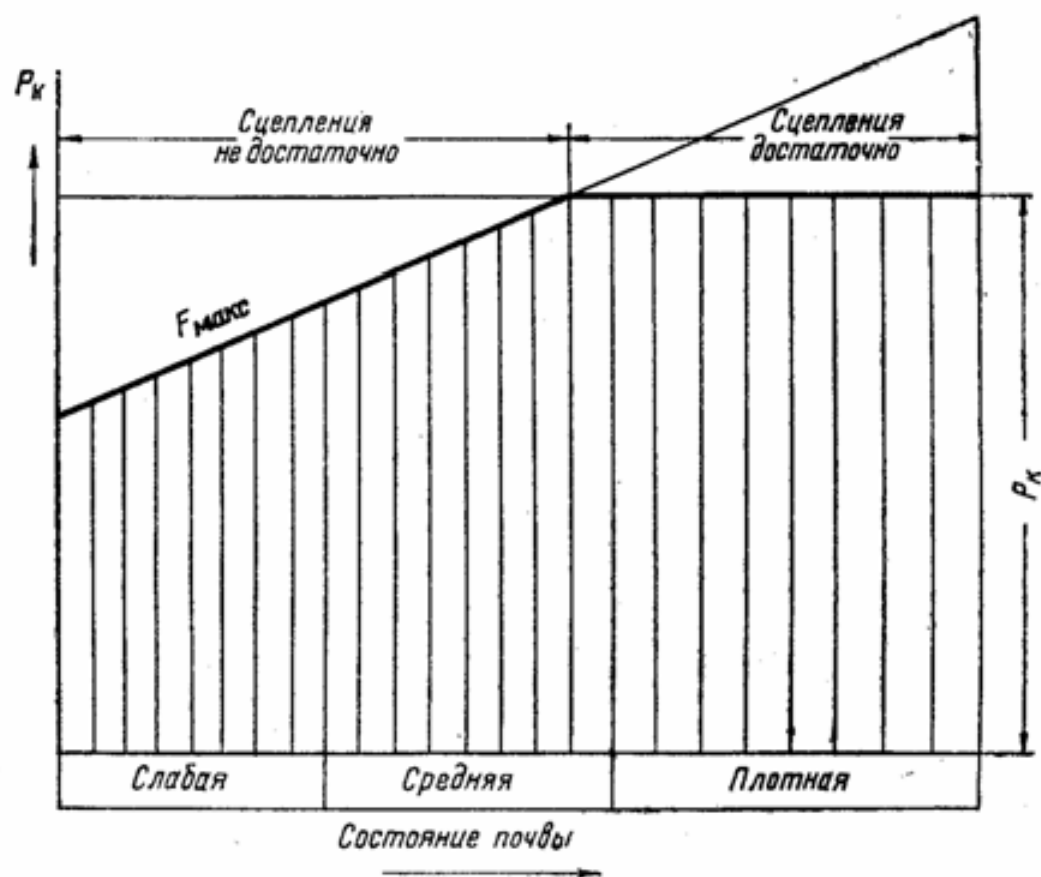
б) силой сцепления ведущего аппарата с почвой, определяемой по величине допустимого буксования.

Зависимость тяговой силы трактора от условий работы. Графики тягового баланса. Способы улучшения тягово-сцепных свойств трактора.

Тяговая сила трактора – результат решения уравнения тягового баланса, характеризует способность трактора двигаться с допустимым буксованием под нагрузкой от сопротивления агрегатируемых машин не превышающей полученное значение.

$$P_{кр} = P_{д} - P_{f} \pm P_{\alpha}$$

Пределную величину движущей силы на слабых почвах ограничивает сила сцепления (условия недостаточного сцепления), на плотных почвах — наибольшая касательная сила тяги (условия достаточного сцепления)



**Тяговая сила трактора в условиях
достаточного сцепления,
определяемая значением
номинальной касательной силы
тяги, при отсутствии
сопротивления подъему –
номинальная тяговая сила и
обозначается обычно $P_{крн}$.**

При увеличении действующей на трактор нагрузки он может остановиться по двум причинам:

-заглох двигатель, что характеризует наступление предела движущей силы по касательной силе тяги;

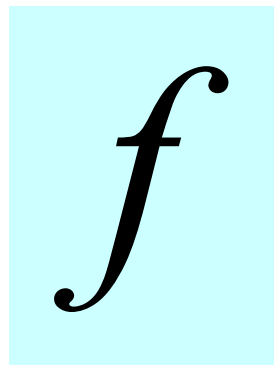
-полное буксование, что свидетельствует о достижении предела движущей силы по сцеплению с почвой.

Условия работы, определяющие величину тяговой силы трактора:

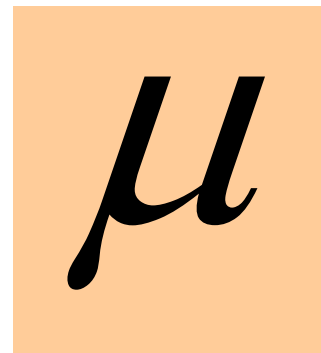
- а) вес, приходящийся на ведущий аппарат трактора,—**сцепной вес**, характеризуемый нормальной реакцией почвы на ведущий аппарат;
- б) физико-механические свойства почвы (тип почвы и ее состояние, форма и размер почвенных частиц, влажность и т. п.), растительный покров;
- в) конструкция и состояние ведущего аппарата, почвозацепочных устройств и их размеры (диаметр колеса, ширина обода и гусеничной ленты, конструкция и число почвозацепов , длина опорной поверхности, давление воздуха в шинах и т. п.).
- г) рельеф.



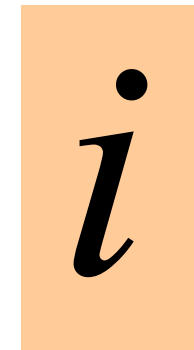
$G_{сц}$



f



μ



i

Возможность создания трактором тяговой силы при определенной силе сцепления его движителя с почвой характеризуется **тягово-сцепными свойствами.**

Способы улучшения тягово-сцепных свойств трактора

Увеличение сцепного веса

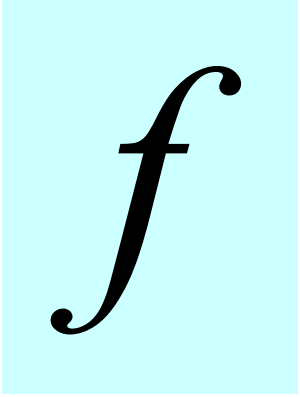
Увеличение коэффициента сцепления

Уменьшение буксования

Уменьшение коэффициента сопротивления качению и глубины колеи



1. Балластирование грузами на колеса, штатным балластом на передний мост, заливка в шины догружающих растворов.
2. Применение автоматизированных систем догрузки ведущих колес и остова трактора.
3. Применение многомостовой компоновки ходовой системы (пример МЭС)



f



μ

1. Снижение давления в шинах (до 0,06МПа можно).
2. Применение сдвоенных колес, гусеничных тележек, полугусеничного хода.
3. Разработка шин сверхнизкого давления с оптимальным протектором (схемой почвозацепов).

A stylized lowercase letter 'i' in a black serif font, positioned on a solid orange rectangular background. The letter has a distinct dot above it and a slight curve at the bottom.

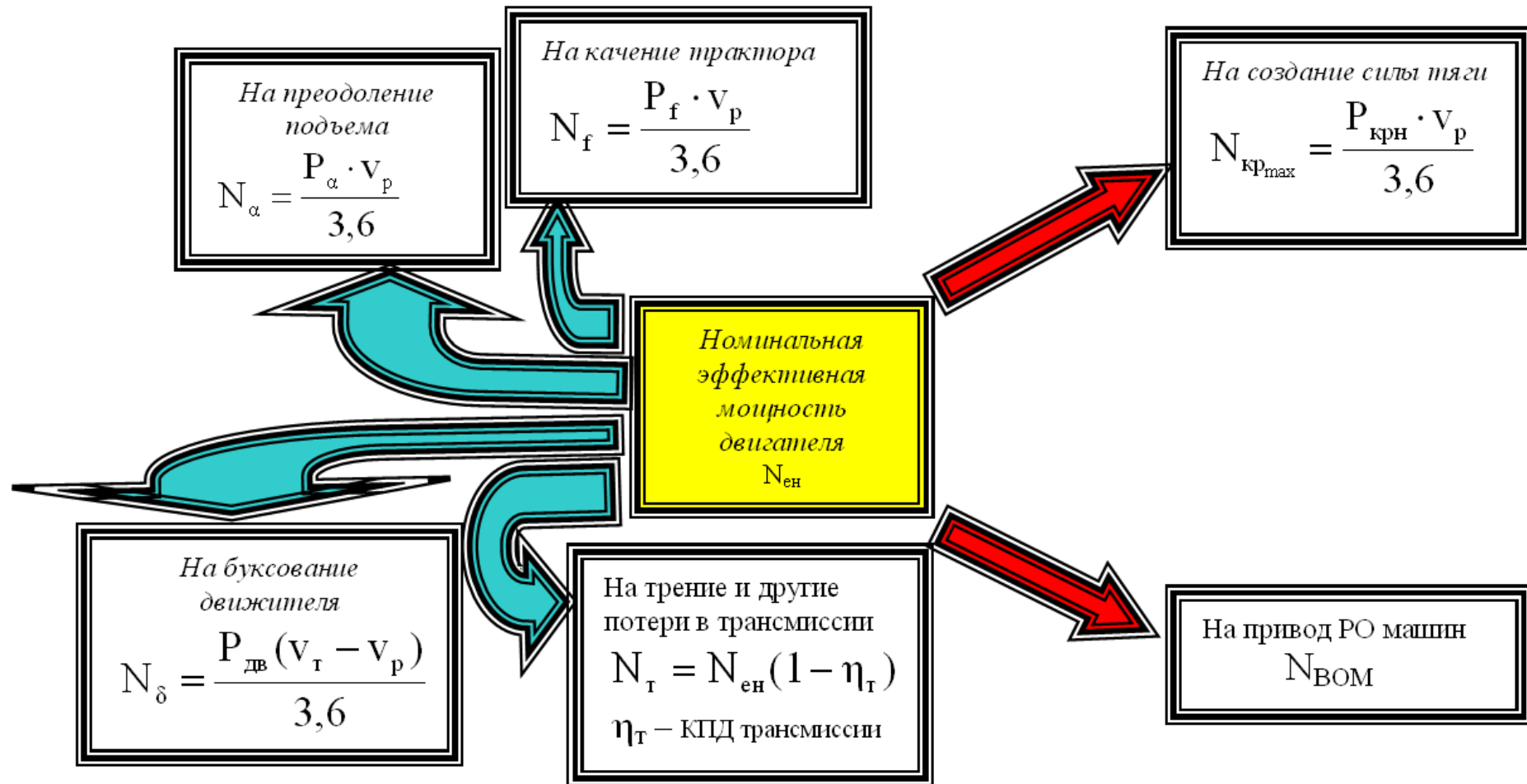
1. Оптимальный выбор направления движения (поперек склона).
2. Выравнивание полей с небольшими уклонами.

Уравнение баланса мощности трактора

$$N_{ен} = N_{крн} + N_T + N_f + N_\delta + N_\alpha + N_{ВОМ}$$

Баланс мощности трактора – это уравнение, показывающее взаимозависимость между составляющими расхода мощности двигателя трактора (энергосредства) при работе машинно-тракторного агрегата.

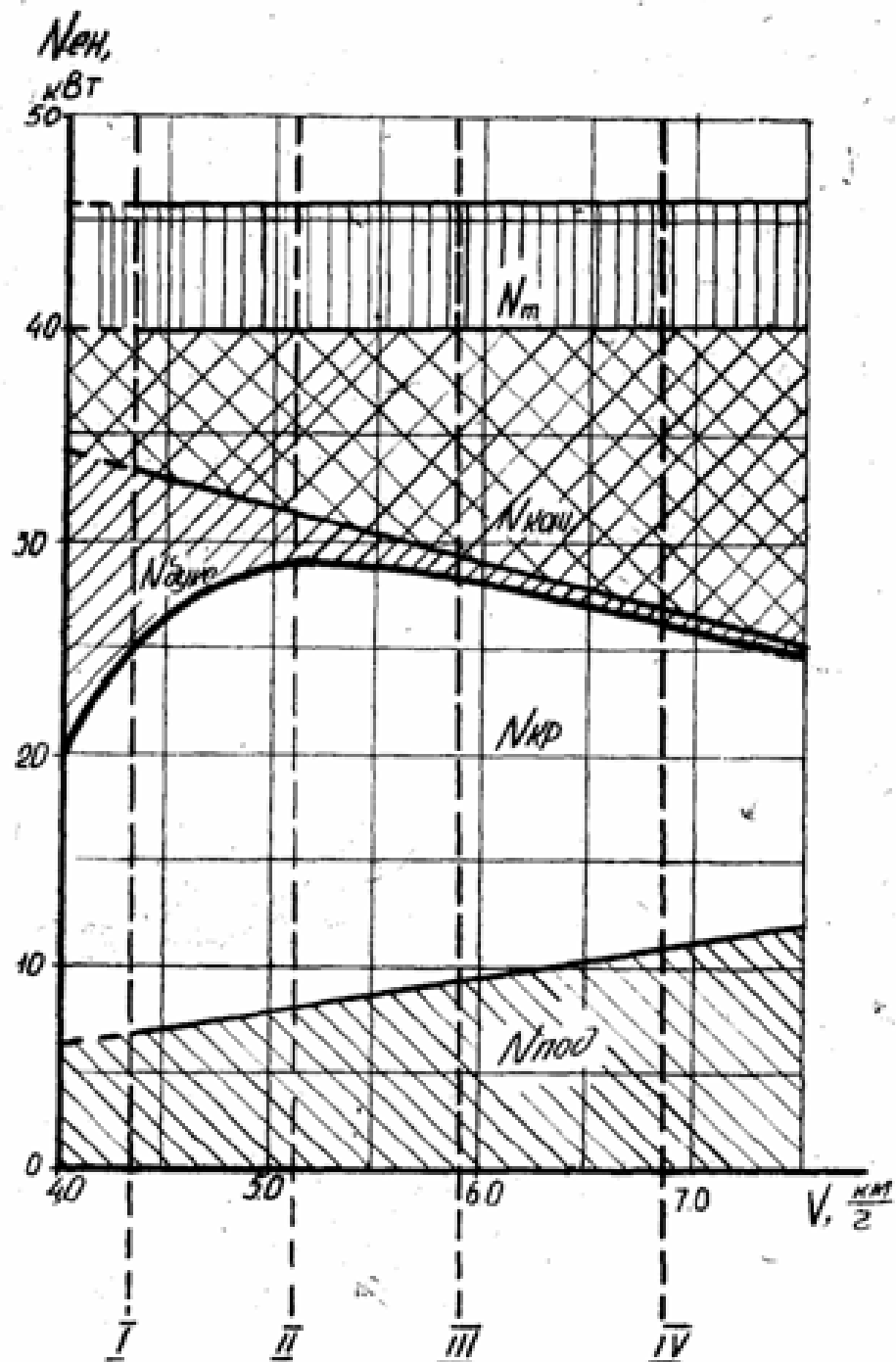
Определение составляющих.



Уравнение баланса мощности трактора в агрегате

$$N_e = N_{кр} + N_T + N_f + N_\delta + N_\alpha + N_{BOM}$$

$$N_{кр} = \frac{R_a \cdot v_p}{3,6}$$



**График
мощностного
баланса**

Показатели использования тяговых и энергетических возможностей трактора.

1. Степень использования номинальной эффективной мощности двигателя определяется **коэффициентом загрузки двигателя по мощности**

$$\eta_N = \frac{N_e}{N_{eH}}$$

2. Степень использования номинального тягового усилия определяется **коэффициентом использования номинального тягового усилия** (коэффициент загрузки двигателя по тяге)

$$\eta_{\text{и}} = \frac{R_{\text{а}}}{P_{\text{крн}}} \quad \eta_{\text{и}} = \frac{R_{\text{а}}}{P_{\text{крн}} - G_{\text{тр}} \frac{i}{100}}$$

3. Степень использования тяговой мощности определяется **коэффициентом использования максимальной тяговой мощности**, который можно определить по зависимости

$$\eta_{\text{им}} = \frac{N_{\text{кр}}}{N_{\text{кр max}} - N_{\alpha}} = \eta_{\text{и}} \frac{v_{\text{р}}}{v_{\text{рн}}}$$

4. **Тяговый КПД** – это доля тяговой мощности в общем балансе мощности трактора.

$$\eta_{\text{т}} = \frac{N_{\text{кр}}}{N_{\text{е}}}$$

фактический тяговый КПД

$$\eta_{\text{т max}} = \frac{N_{\text{кр max}}}{N_{\text{ен}}}$$

максимальный тяговый к.п.д.

$$\eta_{\text{ту}} = \frac{N_{\text{кр}}}{N_{\text{ен}}}$$

условный тяговый КПД

Тяговая характеристика трактора.

Тяговое усилие трактора в условиях достаточного сцепления, определяемое значением номинальной касательной силы тяги при отсутствии сопротивления подъему – номинальная тяговая сила и обозначается $P_{кр}$.

$v_p = f(P_{кр})$ – зависимость скорости трактора на различных передачах от тягового усилия;

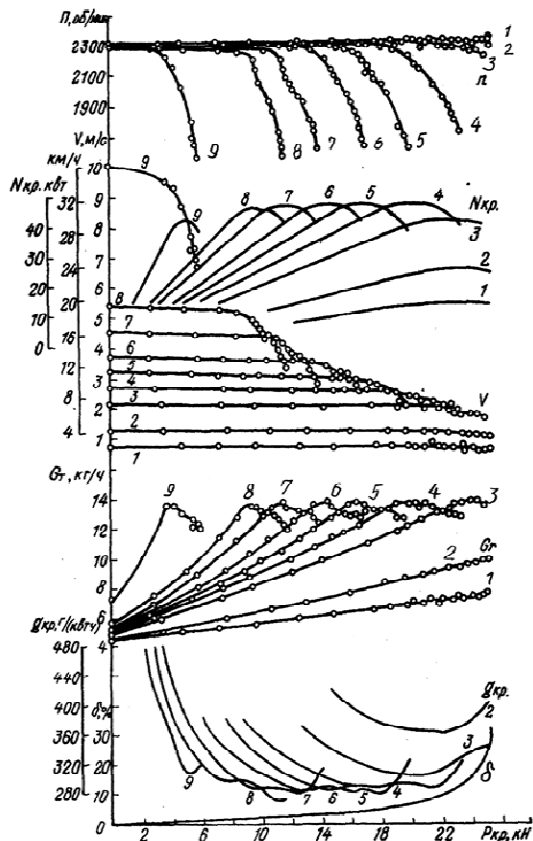
$N_{кр} = f(P_{кр})$ – зависимость тяговой мощности на различных передачах от тягового усилия;

$\delta = f(P_{кр})$ – зависимость буксования от тягового усилия;

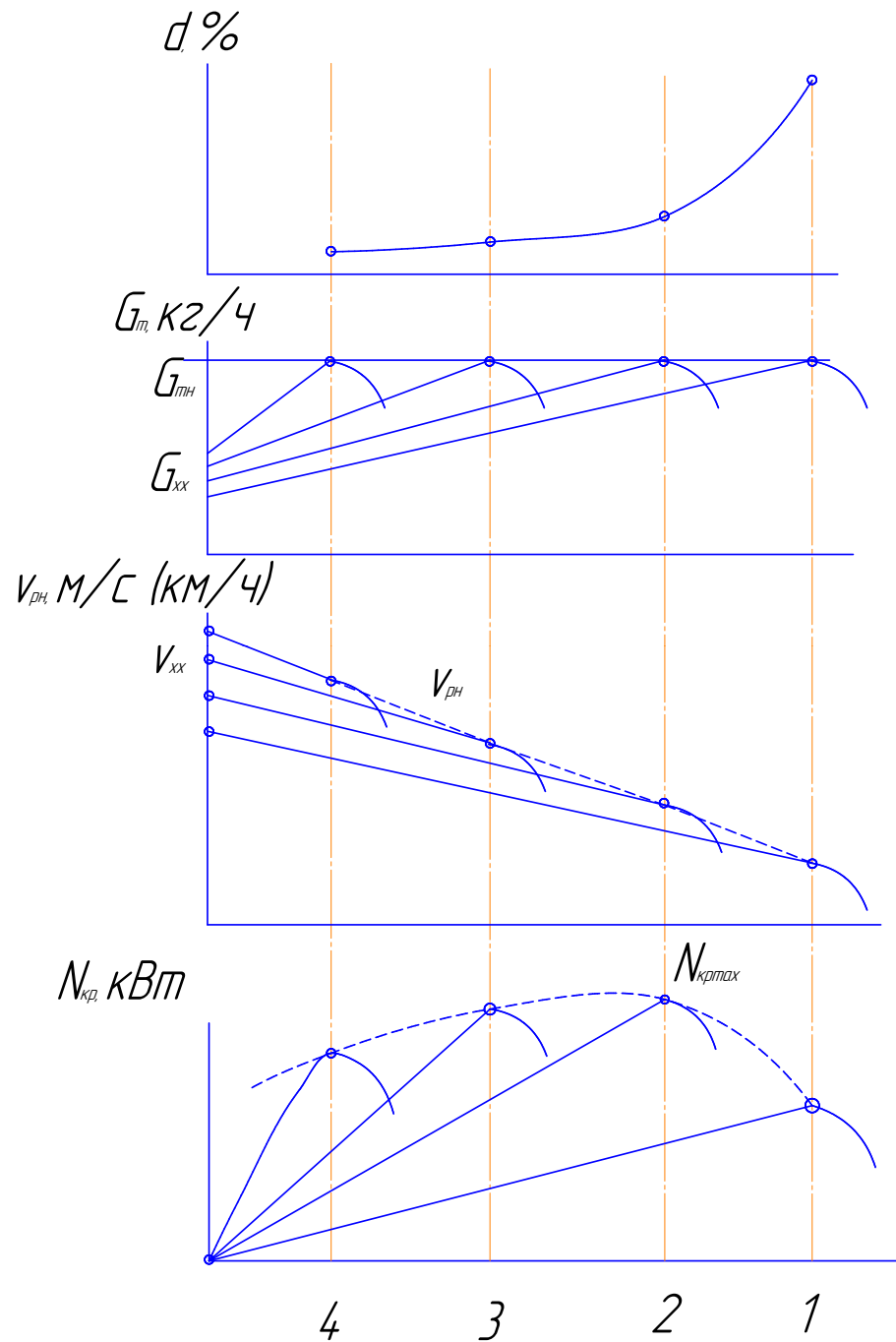
$n = f(P_{кр})$ – зависимость частоты вращения коленчатого вала двигателя от тягового усилия;

$g_e = f(P_{кр})$ и $G_m = f(P_{кр})$ – зависимость удельного и часового расхода топлива от тягового усилия.

Тяговая характеристика трактора – это графическая или табличная зависимость основных его эксплуатационных показателей от номинальной силы тяги



Тяговая характеристика трактора «Беларусь»-820 на стерне нормальной влажности



Тяговая характеристика трактора (графическая форма)
 $P_{кр, кН}$

Тяговая характеристика трактора – табличная форма

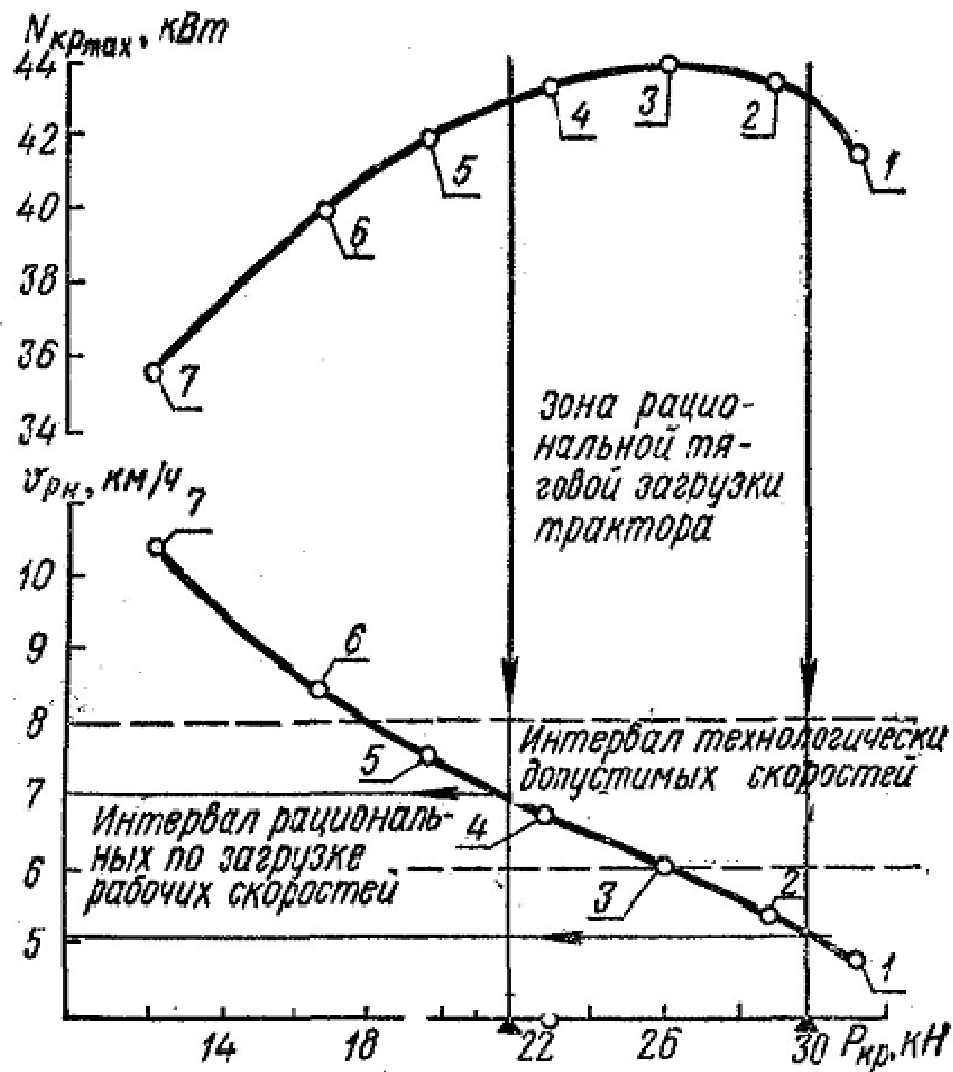
Таблица 1.1 Тяговая характеристика «Беларус»-820 (агрофон стерня)

Режим эксплуатации	Показатели	Передача						
		2	3	4	5	6	7	8
$P_{кр}=0$	v_x , км/ч	4,0	7,7	9,7	11,6	13,65	16,55	20,0
	G_x , кг/ч	4,4	4,8	5,4	5,8	6,2	6,5	6,8
$P_{крн}$	$P_{крн}$, кН	21,1	17,9	15,0	13,1	11,0	9,7	7,65
	$N_{крмаx}$, кВт	19,8	30,8	33,3	33,8	34,0	33,4	32,2
	$v_{рн}$, км/ч	3,4	6,2	8,0	9,3	11,2	12,4	15,0
	δ , %	29,5	20,5	14,5	12,6	10,4	9,2	7,4
	G_H , кг/ч	9,3	13,6	14,5	14,1	14,1	13,1	12,8

Применяется для расчета таких режимных параметров МТА, как рабочая скорость и скорость на холостом ходу, часовой расход топлива на рабочем и холостом ходу.

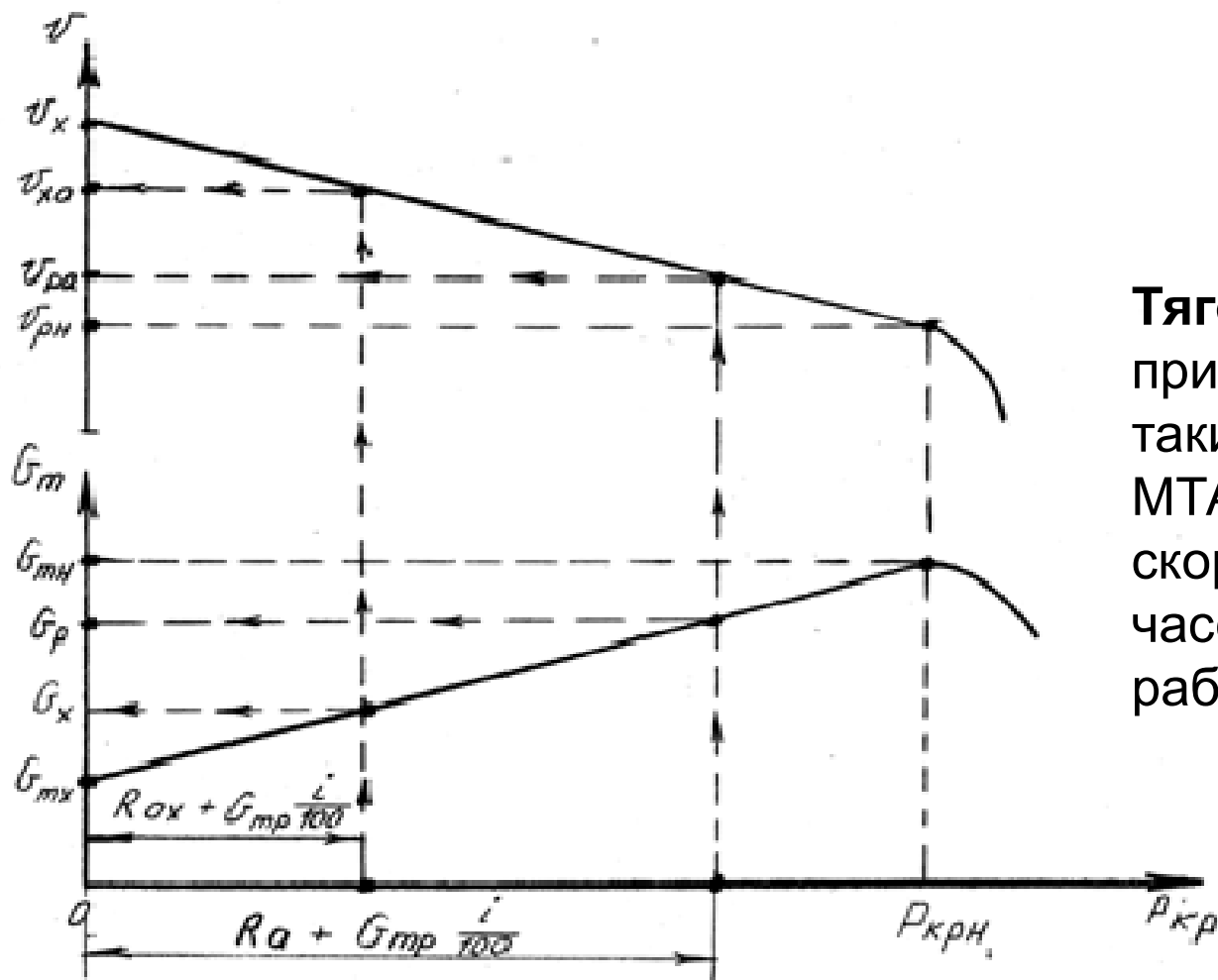
Если соединить точки максимальных тяговых мощностей и скоростей движения на передачах, соответствующих номинальным оборотам двигателя, то можно получить семейство огибающих кривых, называемое **потенциальной тяговой характеристикой трактора.**

Применяется для обоснованного выбора расчетных передач при выполнении МТА конкретной технологической операции



Потенциальная тяговая характеристика используется для предварительного выбора передач трактора

Иллюстрация к примененно потенциальной тяговой характеристике для выбора расчетных передач



Тяговая характеристика применяется для расчета таких режимных параметров МТА, как рабочая скорость и скорость на холостом ходу, часовой расход топлива на рабочем и холостом ходу.

Иллюстрация к применению тяговой характеристики трактора для определения режимных параметров

Графики позволяют получить расчетные зависимости для
определения:

рабочей скорости МТА

$$V_{pa} = V_x - \eta_{ир} (V_x - V_{рн});$$

**скорости на холостом ходу (поворот) без переключения
передачи**

$$V_{ха} = V_x - \eta_{их} (V_x - V_{рн});$$

часового расхода топлива на рабочем ходу

$$G_p = G_{ТХ} + \eta_{ир} (G_{ТН} - G_{ТХ});$$

**часового расхода топлива на холостом ходу без
переключения передачи**

$$G_x = G_{ТХ} + \eta_{их} (G_{ТН} - G_{ТХ}).$$

$\eta_{ир}$ - коэффициент использования номинального тягового усилия трактора на рабочем ходу, равный

$$\eta_{ир} = \frac{R_a}{P_{крн} - G_T \frac{i}{100}}$$

$\eta_{их}$ - коэффициент использования номинального тягового усилия трактора на холостом ходу

$$\eta_{их} = \frac{R_{ах}}{P_{крн} - G_T \frac{i}{100}}$$