

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Иркутский государственный аграрный университет  
им. А.А. Ежевского**

**Кафедра «Эксплуатация машинно - тракторного парка,  
безопасность жизнедеятельности и профессиональное обучение»**

**П.И. Ильин**

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС МТА  
Методические указания к расчётно - графической работе  
для студентов инженерного факультета  
направлений подготовки 35.03.06 Агроинженерия,  
44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям)**

**Молодёжный, 2020**

УДК 631.3.004.1

Рекомендовано к изданию учебно - методической комиссией инженерного факультета Иркутского ГАУ (протокол № 9 от «21» мая 2020 г.)

Рецензент:

Бураев М.К. – заведующий кафедрой «Технический сервис и общеинженерные дисциплины», д.т.н., профессор

В методических указаниях рассмотрена методика определения тяговых свойств трактора для заданных условий эксплуатации, которые могут применяться в различных областях народного хозяйства.

Методические указания предназначены для студентов инженерного факультета направлений подготовки 35.03.06 Агроинженерия, 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям) при изучении дисциплин «Эксплуатация машинно - тракторного парка» / Автор: П.И. Ильин – Молодежный : Изд - во Иркутского ГАУ, 2020. - 21 с. – Текст : электронный.

© П.И. Ильин, 2020

© Иркутский ГАУ им. А.А. Ежовского, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ЗАДАНИЯ

**Цель задания:** определение тяговых свойств трактора для заданных условий эксплуатации.

### Содержание задания

1. Рассчитать тяговый баланс трактора
2. Построить график движущей силы
3. Построить график тягового баланса трактора
4. Рассчитать баланс мощности трактора
5. Построить график баланса мощности трактора
6. Дать анализ тяговых свойств трактора

### Исходные данные (приложение)

1. Трактор (марка трактора):
  - тип ходового аппарата;
  - номинальная мощность двигателя  $N_e$ , кВт;
  - эксплуатационная масса, кг.
2. Условия эксплуатации:
  - состояние поля;
  - уклон, %.

### Оформление задания

Задание оформляется в виде расчётно-пояснительной записки на одной стороне стандартного листа бумаги (210 x 297 мм) с полями: слева – 30, справа – 15, сверху и снизу по 20 мм.

Записка должна включать исходные данные, методику расчётов и примеры выполнения расчётов для 1 - 2 точек. Результаты всех расчётов сводятся в таблицы. В записке необходимо давать ссылки на литературные источники, по которым определены числовые значения принятых коэффициентов. Используемую литературу отмечают цифрой в квадратных скобках, соответствующей порядковому номеру в прилагаемой в конце записки списке использованной литературы.

### Графическая часть

Графики движущей силы, тягового баланса, баланса мощности выполняют карандашом на миллиметровой бумаге. Формат каждого графика 297 x 210 мм (формат 2).

Записку оформляют аккуратно, без ошибок, подчисток. Все материалы записки, включая графическую часть, переплетают, страницы нумеруют.

# 1 ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ БУКСОВАНИЯ ОТ КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ВЕСА ТРАКТОРА $\varphi_{кр}$

При выборе тягового усилия и соответствующей передачи трактора необходимо, чтобы буксование движителей не превышало допустимые значения: до 5 % – для гусеничных тракторов, до 15 % – для колёсных 4 х 4 и до 18 % – для колёсных 4 х 2 тракторов.

Буксование  $\delta$  непосредственно зависит от тягового усилия  $P_{кр}$  трактора. Однако чтобы получить обобщённые зависимости для однотипных тракторов на одноимённых почвенных фонах, значение  $\delta$  удобнее определять в функции [1]:

$$\delta = f(\varphi_{кр}),$$

где  $\varphi_{кр}$  – коэффициент использования эксплуатационного веса, который рассчитывается по формулам

$$\varphi_{кр} = \frac{P_{кр}}{G_э} \quad \text{или} \quad \varphi_{кр} = \frac{P_{кр}}{m_э \cdot q} \quad (1)$$

где  $P_{кр}$  – сила тяги трактора, кН;

$G_э$  – эксплуатационный вес трактора, кН;

$m_э$  – эксплуатационная масса трактора, т;

$q$  – ускорение свободного падения, м / сек<sup>2</sup>,  $q = 9,81$  м / сек<sup>2</sup>.

В практических расчётах зависимость буксования  $\delta$  от  $\varphi_{кр}$  достаточно точно описывает эмпирическая формула [1]:

$$\delta = \frac{a \cdot \varphi_{кр}}{b - \varphi_{кр}}, \quad (2)$$

где  $a$  и  $b$  – эмпирические коэффициенты, значение которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Усреднённые значения эмпирических коэффициентов  $a$  и  $b$

Тип трактора	Стерня		Поле, подготовленное под посев	
	$a$	$b$	$a$	$b$
Колёсный 4 х 2	0,141	0,615	0,248	0,712
Колёсный 4 х 4 (типа МТЗ - 82)	0,193	0,919	0,212	0,880
Колёсный 4 х 4 (типа Т - 150К)	0,110	0,773	0,0834	0,609
Гусеничный	0,0089	0,777	0,0441	0,869

По допустимому буксованию  $\delta_д$  определить соответствующее допустимое значение  $\varphi_{кр.д}$ .

$$\varphi_{кр.д} = \frac{b \cdot \delta_д}{a + \delta_д}$$

### Пример расчёта буксования и построения графика $\delta = f(\varphi_{кр})$

Исходные данные:

- трактор МТЗ - 80.
- эксплуатационная масса 3160 кг;
- тип ходового аппарата 4 х 2;
- допустимое буксование  $\delta_d = 0,18$ ;
- поле – стерня,  $\alpha = 0$ .

1. Определить допустимое значение коэффициента использования эксплуатационного веса  $\varphi_{кр.д}$  по допустимому буксованию (3).

$$\varphi_{кр.д} = \frac{b \cdot \delta_d}{a + \delta_d} = \frac{0,615 \cdot 0,18}{0,141 + 0,18} = 0,345$$

Значение эмпирических коэффициентов  $a$  и  $b$  для колёсного трактора 4 х 2 на стерне (таблица 1):

$$a = 0,141; \quad b = 0,615.$$

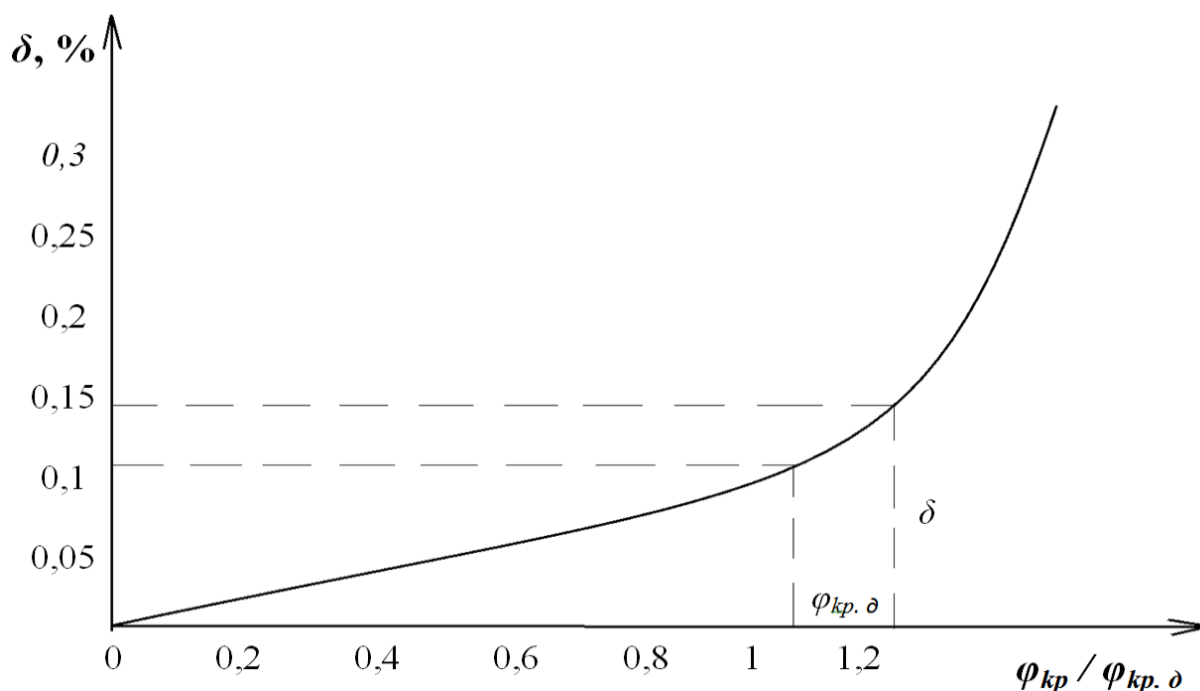
2. Рассчитать буксование на шести нагрузочных режимах по формуле (2).

$$\delta = \frac{a \cdot \varphi_{кр}}{b - \varphi_{кр}}.$$

Нагрузочный режим определяется значением  $\varphi_{кр}$  в долях от  $\varphi_{кр.д}$ , т. е. отношения  $\varphi_{кр} / \varphi_{кр.д}$ . Результаты расчётов занести в таблицу 2.

**Таблица 2 – Результаты расчётов  $\varphi_{кр}$  и  $\delta$**

Режим	$\varphi_{кр}$	$\delta$
1 - й $\varphi_{кр} = 0,5 \varphi_{кр.д}$	0,1725	0,054
2 - й $\varphi_{кр} = 0,7 \varphi_{кр.д}$	0,24	0,09
3 - й $\varphi_{кр} = 0,8 \varphi_{кр.д}$	0,276	0,115
4 - й $\varphi_{кр} = 0,9 \varphi_{кр.д}$	0,31	0,146
5 - й $\varphi_{кр} = 1,0 \varphi_{кр.д}$	0,345	0,18
6 - й $\varphi_{кр} = 1,2 \varphi_{кр.д}$	0,414	0,29



**Рисунок 1 – Зависимость буксования от коэффициента использования эксплуатационного веса трактора МТЗ - 80 на стерне  $G_э = 3160$  кг.**

Построение графика (рисунок 1) производится по данным таблицы 2 в прямоугольных координатах. По оси абсцисс откладывают значение  $\varphi_{kp}$  в долях от  $\varphi_{kp. \delta}$  ( $\varphi_{kp} / \varphi_{kp. \delta}$ ), по оси ординат – значение буксования.

На графике показать допустимые значения буксования и коэффициента использования эксплуатационного веса трактора.

## 2 РАСЧЁТ ТЯГОВОГО БАЛАНСА ТРАКТОРА

Тяговый баланс трактора для равномерного движения:

$$P_q = P_{kp} + P_f \pm P_\alpha, \quad (4)$$

где  $P_q$  – движущая сила, кН;

$P_{kp}$  – сила тяги трактора, кН;

$P$  – сила сопротивления качению трактора, кН;

$P_\alpha$  – сила сопротивления движению на подъём, кН.

Расчёт тягового баланса производится при допустимом значении  $\varphi_{kp. \delta}$  для заданного состояния поля.

Тяговое усилие трактора на горизонтальном участке можно рассчитать по формуле [1, 2]

$$P_{kp} = G_э \cdot \varphi_{kp. \delta} \quad (5)$$

Сопротивление качению трактора

$$P_f = G_э \cdot f \quad (6)$$

где  $f$  – коэффициент сопротивления качению трактора на данном агрофоне

(таблица 3).

Сопротивление движению трактора на подъём

$$P_{\alpha} = \pm G_{\text{э}} \cdot \sin \alpha \quad \text{или} \quad P_{\alpha} = \pm G_{\text{э}} \cdot \frac{i}{100}, \quad (7)$$

где  $\alpha$  – угол подъёма, град;

$i$  – уклон, %.

**Таблица 3 – Примерные значения  
коэффициента сопротивления качению трактора**

Состояние поля или дороги	Коэффициент $f$ для тракторов	
	колесных	гусеничных
Асфальтированная или бетонная дорога в хорошем состоянии	0,014	-
Глинистая укатанная дорога	0,03 - 0,04	0,05 - 0,06
Залеж, целина	0,05 - 0,06	0,06 - 0,07
Стерня	0,08 - 0,10	0,08 - 0,09
Поле, подготовленное под посев	0,16 - 0,20	0,10 - 0,12

Примечание. При работе на мягких грунтах коэффициент сопротивления качению для тракторов с четырьмя ведущими колесами на 10 - 15 % меньше приведённых значений.

Суммарное значение сопротивления самопередвижению  $P_{\psi}$  трактора

$$P_{\psi} = P_f \pm P_{\alpha} = G_{\text{э}} \cdot \frac{i}{100} = G_{\text{э}} \cdot \left( f \pm \frac{i}{100} \right) \quad \text{или} \quad P_{\psi} = G_{\text{э}} \cdot \psi, \quad (8)$$

где  $\psi$  – суммарный коэффициент сопротивления (суммарный) самопередвижению трактора, который определяется:

$$\psi = f \pm \sin \alpha \quad \text{или} \quad \psi = f \pm \frac{i}{100} \quad (9)$$

Движущая сила  $P_q$  определяется как сумма сил сопротивления

$$P_q = P_{kp} + P_f \pm P_{\alpha} \quad \text{или} \quad P_q = P_{kp} + G_{\text{э}} \pm \psi \quad (10)$$

Так как  $P_{kp} = G_{\text{э}} \cdot \varphi_{kp}$  определена при  $\alpha = 0$ , то

$$P_q = P_{kp} + P_f \quad (11)$$

При движении на подъём сила тяги  $P_{kp \alpha}$  будет равна

$$P_{kp \alpha} = P_{kp} - P_{\alpha} \quad (12)$$

и тогда движущая сила

$$P_q = P_{kp \alpha} + P_f + P_{\alpha} \quad (13)$$

Реальное значение движущей силы  $P_q$  зависит от соотношения касательной силы  $P_k$ , трактора и максимальной силы сцепления  $F_{max}$ .

Касательная сила  $P_k$  определяется мощностью двигателя и передаточным числом трансмиссии трактора.

Максимальная сила сцепления  $F_{max}$  определяется по аналогии с силой трения скольжения:

$$F_{max} = G_c \cdot \mu = \lambda \cdot G_{\text{э}} \cdot \mu, \quad (14)$$

где  $G_c$  и  $G_э$  – сцепной и эксплуатационный вес трактора, кН;

$\mu$  – коэффициент сцепления (таблица 4);

$\lambda$  – доля эксплуатационного веса  $G_э$  приходящаяся на движители.

В зависимости от типа трактора приближённо можно принять  $\lambda = 0,75$  – для колёсных тракторов 4 х 2,  $\lambda = 1$  – для колёсных 4 х 4 и гусеничных.

$$P_q = P_k, \quad (15)$$

Таблица 4 – Примерные значения коэффициента сцепления  $\mu$  ведущего аппарата трактора с почвой

Состояние поля или дороги	Коэффициент $\mu$ для тракторов	
	колёсных	гусеничных
Асфальтированная или бетонная дорога в хорошем состоянии	0,8 - 0,9	1,0
Глинистая укатанная дорога	0,8	1,0
Залеж, целина	0,6 - 0,7	1,0
Стерня	0,5 - 0,6	0,8 - 0,9
Поле, подготовленное под посев	0,4 - 0,5	0,6 - 0,7

#### Пример расчёта тягового баланса трактора

Исходные данные:

- трактор МТЗ - 80;
- тип ходового аппарата 4 х 2;
- эксплуатационный вес  $G_э = 3160$  кг;
- условия эксплуатации – стерня,  $\alpha = 0$ ;

$\varphi_{кр} = 1,0 \cdot \varphi_{кр. \delta} = 0,345$  (см. таблицу 2);

$\lambda = 0,75$ ;  $\delta_{\delta} = 0,18$ ;  $f = 0,08$ ;  $\mu = 0,6$ .

1. По уравнению (5)

$$P_{кр} = G_э \cdot \varphi_{кр. \delta} = 31,6 \cdot 0,345 = 10,9 \text{ кН.}$$

2. По уравнению (6)

$$P_f = G_э \cdot f = 31,6 \cdot 0,08 = 2,53 \text{ кН.}$$

3. По уравнению (11) при  $\alpha = 0$

$$P_q = P_{кр} + P_f = 10,9 + 2,53 = 13,5 \text{ кН.}$$

4. По уравнению (14)

$$F_{max} = \lambda \cdot G_э \cdot \mu = 0,75 \cdot 31,6 \cdot 0,6 = 14,2 \text{ кН.}$$

5.  $F_{max} > P_q$  – сцепление достаточное.

6. По уравнению (15)

$$P_q = P_k = 13,5 \text{ кН.}$$



### 3 ГРАФИК ТЯГОВОГО БАЛАНСА ТРАКТОРА

График тягового баланса строят в функции коэффициента сцепления  $\mu$  в прямоугольных координатах. По оси абсцисс откладывают значения коэффициента сцепления  $\mu$  от 0 до 1, по оси ординат – значения  $F_{max}$ ,  $P_k$  и других составляющих тягового баланса.

Так как  $F_{max}$  и составляющая тягового баланса  $P_f$  имеют линейную зависимость от коэффициента сцепления (состояния поля), то для построения графика достаточно двух точек  $\mu_1$  и  $\mu_2$  (соответственно состоянию поля).

Значения  $F_{max}$  и составляющих тягового баланса определяют соответственно заданному состоянию поля ( $\mu_1$ ); значения, соответствующие  $\mu_2$ , рассчитывают для произвольно выбранных условий.

Результаты расчётов заносят в таблицу 5.

Величины  $P_k$  и  $P_a$  не зависят от состояния поля и при работе на одной передаче остаются постоянными.

Таблица 5

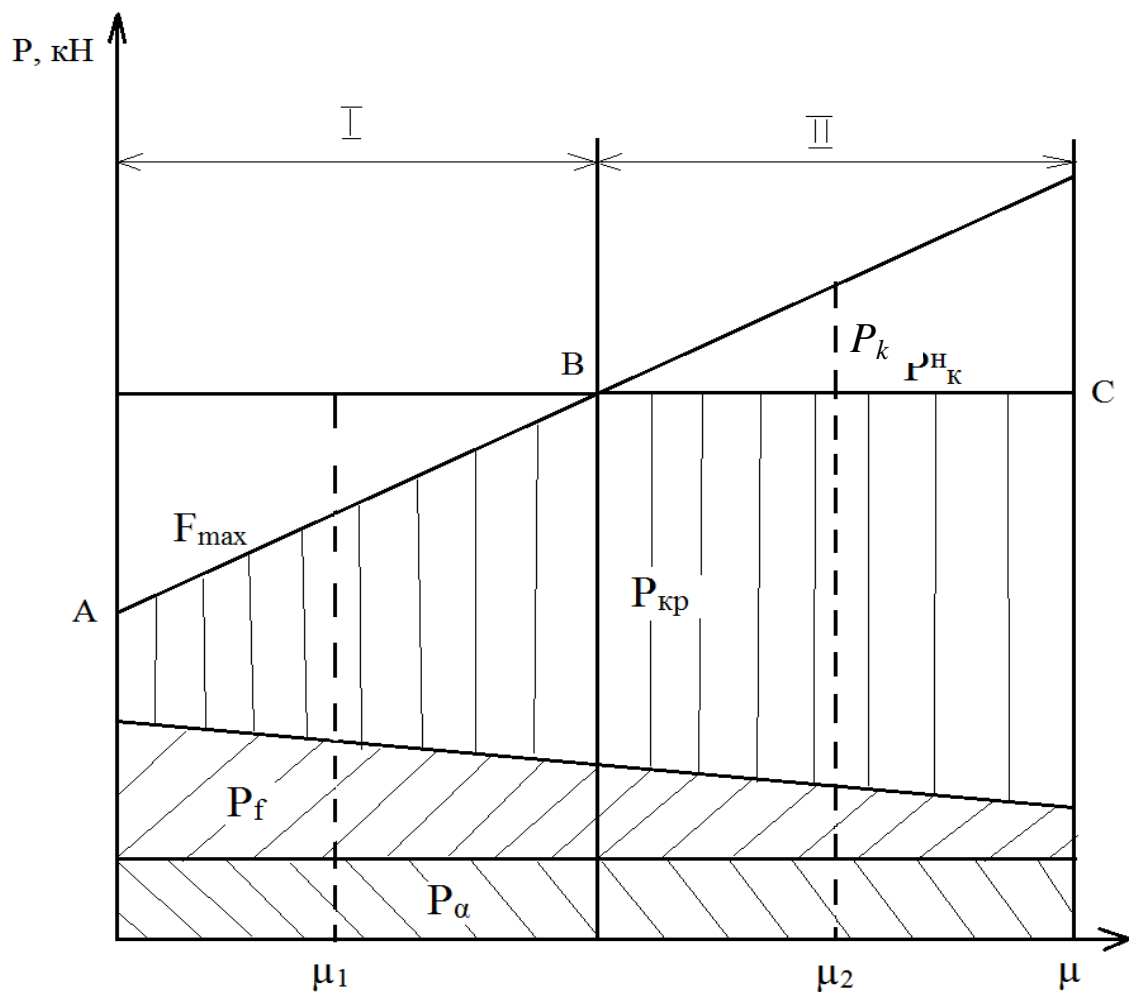
Состояние поля		$P_k$ , кН	$F_{max}$ , кН	$P_f$ , кН	$P_a$ , кН
Поле, подготовленное под посев	$\mu_1 =$ $f_1 =$				
Стерня	$\mu_2 =$ $f_2 =$				

По данным таблицы 5 строят график (рисунок 2).

На графике выделяют две зоны:

I – зона недостаточного сцепления

II – зона достаточного сцепления



Движущая сила  $P_q$  ограничена линией  $ABC$ . Так при коэффициенте  $\mu_1$   $P_q = F_{max}$ , при  $\mu_2$   $P_q = P_k$ .

Рисунок 2 – График тягового баланса трактора

В зоне недостаточного сцепления движущая сила  $P_q$  ограничивается максимальной силой сцепления  $F_{max}$ , в зоне достаточного сцепления – касательной силой тяги  $P_k$ , которая определяется мощностью двигателя и передаточным отношением в трансмиссии.

#### 4 РАСЧЁТ БАЛАНСА МОЩНОСТИ ТРАКТОРА

Для равномерного движения с тяговой сельскохозяйственной машиной баланс мощности трактора выражается уравнением:

$$N_e^H = N_m + N_\delta + N_f \pm N_\alpha + N_{кр} + N_{нс} \quad (17)$$

где  $N_e^H$  – номинальная мощность двигателя;

$N_m$  – механические потери мощности в трансмиссии трактора;

$N_\delta$  – потери мощности на буксование;

$N_f$  – потери мощности на качение;

$N_\alpha$  – потери мощности на преодоление подъёма;

$N_{кр}$  – мощность на преодоление тягового сопротивления рабочих машин (тяговая мощность на крюке);

$N_{нс}$  – мощность двигателя, не использованная по сцеплению.

Как видно из уравнения баланса мощности трактора, на полезную работу, т. е. на тягу рабочих машин, используется только  $N_{кр}$ . Остальные составляющие баланса мощности являются непроизводительными потерями. Поэтому одной из основных задач по повышению эффективности использования машин в сельскохозяйственном производстве является снижение непроизводительных потерь мощности трактора и выбор энергосберегающего режима работы.

Расчёт составляющих баланса мощности выполняют в следующей последовательности.

Потери мощности в трансмиссии трактора  $N_m$ , кВт

$$N_m = N_e \cdot (1 - \eta_m), \quad (18)$$

где  $N_e$  – мощность, развиваемая двигателем трактора в данных условиях, кВт;  
 $\eta_m$  – КПД трансмиссии трактора (для колёсных тракторов – 0,91 - 0,92, для гусеничных – 0,81 - 0,88).

При определении потерь мощности в трансмиссии величину  $N_e$  при достаточном сцеплении принимают равной  $N_e^H$ , а при недостаточном

$$N_{e\mu} = \frac{F_{max} \cdot V_p}{3,6 \cdot \eta_m} \quad (19)$$

Потери мощности на буксование  $N_\delta$ , кВт:

$$N_\delta = N_0 \cdot \delta; \quad (20)$$

$$N_0 = N_e \cdot \eta_m; \quad (21)$$

$$N_\delta = N_e \cdot \eta_m \cdot \delta, \quad (22)$$

где  $N_0$  – мощность, подведённая к движителям (ходовому аппарату);

$\delta$  – буксование движителей.

Потери мощности на качение трактора  $N_f$ , кВт

$$N_f = \frac{P_f \cdot V_p}{3,6}, \quad (23)$$

где  $P_f$  – сила сопротивления качению, кН;

$V_p$  – рабочая скорость, км / ч.

Потери мощности на преодоление подъёма  $N_\alpha$ , кВт

$$N_\alpha = \frac{P_\alpha \cdot V_p}{3,6}, \quad (24)$$

где  $P_\alpha$  – сила сопротивления движению на подъём, кН.

Тяговая мощность трактора (на крюке)  $N_{кр}$ , кВт

$$N_{кр} = \frac{(P_{кр} \cdot V_p)}{3,6} \quad (25)$$

Для оценки уровня использования мощности двигателя на полезную (тяговую) работу определяют тяговый КПД трактора.

$$\eta_m = \frac{N_{кр}}{N_e} \quad (26)$$

Для условий достаточного сцепления  $N_e = N_e^h$ , а в условиях недостаточного сцепления (19)  $N_e = N_{ем}$ .

Расчёт составляющих баланса мощности выполняется для соответствующих скоростных режимов. Скоростной режим  $V_p$  определяется значениями коэффициента использования эксплуатационного веса  $\varphi_{кр}$  в долях  $\varphi_{кр} \cdot \delta$  и тягового КПД трактора  $\mu_m$ .

Расчёт скоростных режимов выполняется в следующей последовательности.

Рабочая скорость  $V_p$  из формулы (25)

$$V_p = \frac{3,6 \cdot N_{кр}}{P_{кр}}$$

где  $P_{кр}$  – по уравнению (5)

$$P_{кр} = \varphi_{кр} \cdot G_э$$

$N_{кр}$  – из уравнения (26)

$$N_{кр} = N_e^h \cdot \eta_m$$

Тяговый КПД трактора  $\eta_m$  можно определить из равенства [1]

$$\eta_m = \eta_m \cdot \eta_f \cdot \eta_\delta \quad (27)$$

где  $\eta_m$  – механический КПД трансмиссии трактора,  $\eta_m \approx const$  (для колёсных  $\eta_m = 0,91 - 0,92$ , для гусеничных  $\eta_m = 0,81 - 0,88$ );

$\eta_f$  – КПД, учитывающий потери мощности на самопередвижение  $\psi$  (8), (9);

$\eta_\delta$  – КПД, учитывающий потери мощности на буксование,  $\eta_\delta = 1 - \delta$ .

Значение  $\eta_f$  с учётом (1)  $\varphi_{кр} = \frac{P_{кр}}{G}$

$$\eta_f = \frac{P_{кр}}{P_k} = \frac{P_{кр}}{P_{кр} + G_э \cdot \psi} \quad \text{или} \quad \eta_f = \frac{\varphi_{кр}}{\varphi_{кр} + \psi} \quad (28)$$

Полученные расчётные данные сводят в таблицу 6.

Таблица 6 – Результаты расчёта скоростных режимов

Из таблицы 2			КПД			$N_{кр}$ кВт	$P_{кр}$ , кН	$V_p$ , км / ч
Режим	$\varphi_{кр}$	$\delta$	$\eta_f$	$\eta_\delta$	$H_m$			
1 - й режим $\varphi_{кр} = 0,5 \varphi_{кр \delta}$								
2-й режим $\varphi_{кр} = 0,7 \varphi_{кр \delta}$								
3-й режим $\varphi_{кр} = 0,8 \varphi_{кр \delta}$								
4-й режим $\varphi_{кр} = 0,9 \varphi_{кр \delta}$								
5-й режим $\varphi_{кр} = 1,0 \varphi_{кр \delta}$								
6-й режим $\varphi_{кр} = 1,2 \varphi_{кр \delta}$								

## 5 ГРАФИК БАЛАНСА МОЩНОСТИ ТРАКТОРА В ФУНКЦИИ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ

Для построения графика выполняется расчёт баланса мощности по шести скоростным режимам (таблица 6), соответствующим определённому значению  $\varphi_{кр}$ . Результаты расчёта сводят в таблицу 7.

Таблица 7 – Составляющие баланса мощности

Из таблицы 6		Составляющие баланса мощности, кВт						$\eta_m$	$N_e$ , кВт
режим	$V_p$ , км / ч	$N_m$	$N_f$	$N_a$	$N_\delta$	$N_{кр}$	$N_{нс}$		
1 - й режим $\varphi_{кр} = 0,5 \varphi_{кр \delta}$									
2 - й режим $\varphi_{кр} = 0,7 \varphi_{кр \delta}$									
3 - й режим $\varphi_{кр} = 0,8 \varphi_{кр \delta}$									
4 - й режим $\varphi_{кр} = 0,9 \varphi_{кр \delta}$									
5 - й режим $\varphi_{кр} = 1,0 \varphi_{кр \delta}$									
6 - й режим $\varphi_{кр} = 1,2 \varphi_{кр \delta}$									

График (рисунок 3) строится в прямоугольных координатах по данным таблицы 7.

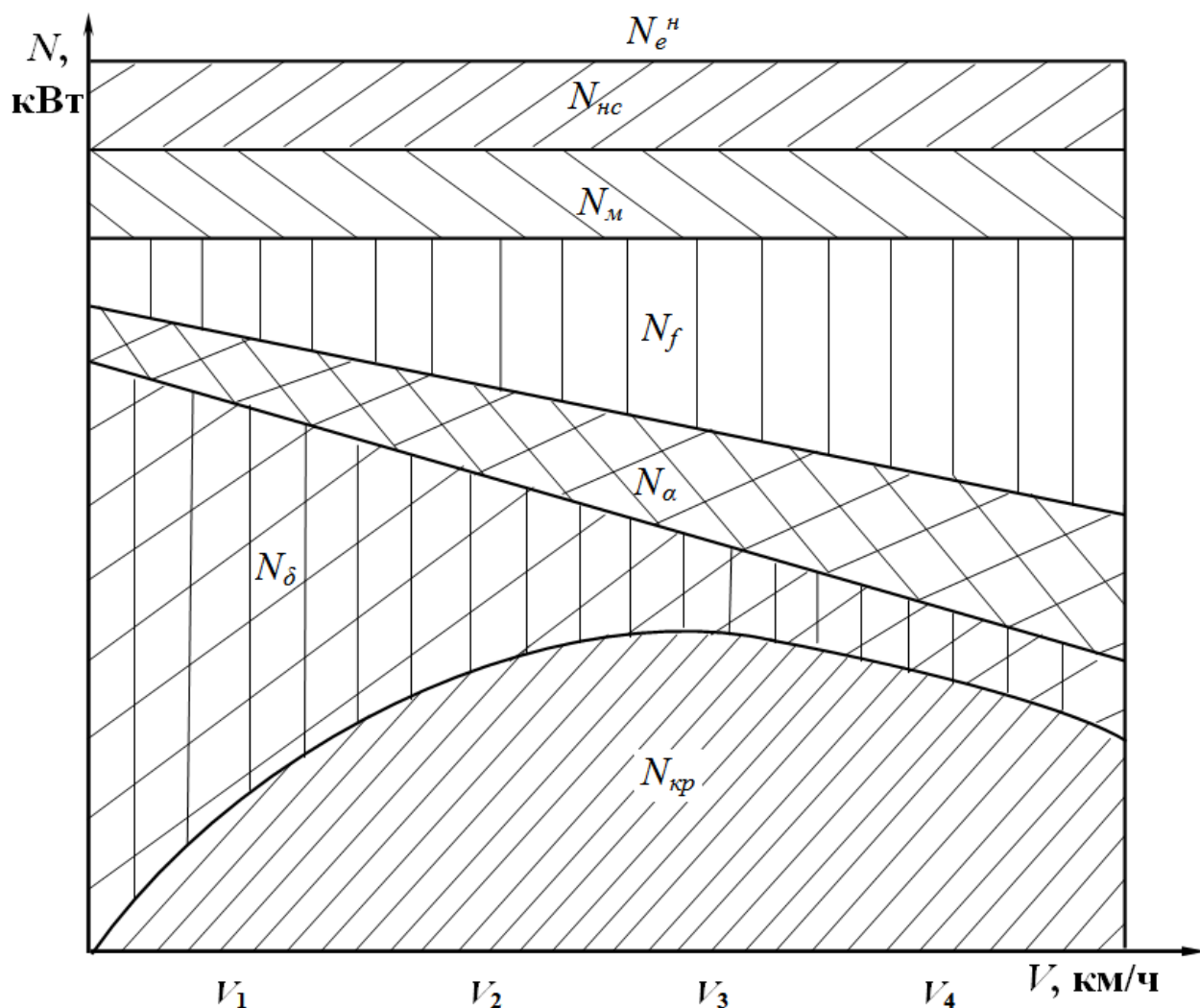


Рисунок 3 – График баланса мощности трактора

По оси абсцисс откладываются значения рабочей скорости, по оси ординат – значения составляющих баланса мощности, начиная сверху от  $N_e^H$ .

При недостаточном сцеплении мощность не использованная по сцеплению  $N_{нс}$  определяется как разность:

$$N_{нс} = N_e^H - N_m - N_f - N_\alpha - N_\delta - N_{кр}.$$

Пример расчёта скоростного режима  $V_p$

и баланса мощности трактора для 5 - го режима  $\varphi_{кр} = \varphi_{кр. \delta}$

Исходные данные:

- трактор МТЗ - 80;
- эксплуатационная масса  $G_s = 3160$  кг;  $N_e^H = 55,2$  кВт;
- тип ходового аппарата 4 x 2;

- условия эксплуатации – поле стерня,  $\alpha = 0$ .

Последовательность расчёта

Из таблицы 2 при  $\varphi_{kp} = \varphi_{kp. \delta}$  находим  $\varphi_{kp} = 0,345$  и  $\delta = 0,18$ .

Рабочая скорость  $V_p$  из формулы (25)

$$V_p = \frac{3,6 \cdot N_{kp}}{P_{kp}}$$

$P_{kp}$  – по уравнению (5)

$$P_{kp} = G_{\Sigma} \cdot \varphi_{kp. \delta} = 31,6 \cdot 0,345 = 10,9 \text{ кН.}$$

$N_{kp}$  – из уравнения (26)

$$N_{kp} = N_e^H \cdot \eta_m$$

$\eta_m$  – по уравнению (27)

$$\eta_m = \eta_M \cdot \eta_f \cdot \eta_{\delta}$$

где  $\eta_M$  – механический КПД трансмиссии трактора,  $\eta_M = 0,92$  (для колёсных тракторов);

$\eta_f$  – по уравнению (28)

$$\eta_f = \frac{\Phi_{kp}}{\Phi_{kp} + \psi}$$

где при  $\alpha = 0$ ,  $\psi = f$ . На стерне  $f = 0,08$ .

$$\eta_f = \frac{0,345}{0,345 + 0,08} = 0,81.$$

$\eta_{\delta}$  – коэффициент буксования

$$\eta_{\delta} = 1 - \delta = 1 - 0,18 = 0,82.$$

Тогда тяговый КПД будет равен

$$\eta_m = \eta_M \cdot \eta_f \cdot \eta_{\delta} = 0,92 \cdot 0,81 \cdot 0,82 = 0,61.$$

Тяговая (крюковая) мощность

$$N_{kp} = N_e^H \cdot \eta_m = 55,2 \cdot 0,61 = 33,67 \text{ кВт.}$$

И тогда рабочая скорость

$$V_p = \frac{3,6 \cdot N_{kp}}{P_{kp}} = \frac{3,6 \cdot 33,67}{10,9} = 11,17 \text{ км/ч.}$$

Результаты расчётов по всем шести режимам сводят в таблицу 6.

Баланс мощности для 5-го режима

1. Механические потери мощности в трансмиссии трактора – по формуле (18)

$$N_M = N_e \cdot (1 - \eta_M) = 55,2 \cdot (1 - 0,92) = 4,4 \text{ кВт.}$$

2. Потери мощности на буксование – по уравнению (22)

$$N_{\delta} = N_e \cdot \eta_M \cdot \delta = 55,2 \cdot 0,92 \cdot 0,18 = 9,14 \text{ кВт.}$$

3. Потери мощности на передвижение – по уравнению (23)

$$N_f = \frac{P_f \cdot V_p}{3,6},$$

где  $P_f$  – сопротивление качению.

Из таблицы 5 или по уравнению (6) находим

$$P_f = G_3 \cdot f = 31,6 \cdot 0,08 = 2,53 \text{ кН};$$

$$N_f = \frac{2,53 \cdot 11,17}{3,6} = 7,8 \text{ кВт.}$$

4. Тяговая (крюковая) мощности трактора – по формуле (25)

$$N_{кр} = \frac{P_{кр} \cdot V_p}{3,6} = \frac{10,9 \cdot 11,17}{3,6} = 33,82 \text{ кВт.}$$

5. Суммарная мощность

$$N_e = N_m + N_\delta + N_f + N_{кр} = 4,4 + 9,14 + 7,8 + 33,82 = 55,17 \text{ кВт.}$$

6. Результаты расчётов по всем режимам сводят в таблицу 7.

## 6 АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТРАКТОРА

### 1 Анализ графика тягового баланса трактора

1. Определить зоны достаточного и недостаточного сцепления. Для этого установить, при каком значении коэффициента сцепления силы  $F_{max}$  и  $P_k$  равны.

2. Записать пределы движущей силы:

по мощности двигателя (достаточное сцепление)

$$P_q = P_k = P_{кр} + P_f + P_a$$

по сцеплению (недостаточное сцепление)

$$P_q = F_{max} = \mu \cdot G = P_{кр} + P_f + P_a$$

3. Определить значения  $P_q$  на стерне и вспаханном поле (по коэффициенту сцепления).

4. Установить характер изменения составляющих тягового баланса трактора в зависимости от коэффициента сцепления (условия движения) при работе на одном заданном режиме (увеличиваются, уменьшаются, остаются постоянными).

5. Дать объяснения характеру изменения составляющих тягового баланса в зависимости от условий движения.

### 2 Анализ графика баланса мощности трактора

1. Установить характер изменения составляющих баланса мощности трактора в зависимости от скорости движения.

2. Объяснить изменения составляющих баланса мощности трактора в



зависимости от скорости движения.

3. Определить максимальный тяговый КПД при работе в диапазоне заданных скоростных режимах и объяснить причины его изменения.

4. Определить оптимальную скорость движения, при которой тяговый КПД имеет максимальное значение.

При объяснении характера изменения движущей силы, составляющих тягового баланса и баланса мощности трактора основываться на формулах, по которым определены эти величины.

## 7 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Тяговый баланс дает возможность оценить использование трактора с соответствующими сельскохозяйственными машинами в заданных условиях. Тяговое усилие трактора  $P_{кр}$  является одним из важнейших эксплуатационных параметров. Оно и положено в основу классификации тракторов – по тяговому усилию.

В качестве классификационного параметра принято номинальное тяговое усилие, реализуемое на стерне нормальной плотности и влажности ( $\alpha = 0$ ) при максимальной крюковой мощности. Величина буксования ходового аппарата не должна превышать допустимых значений ( $\delta = \delta_q$ ).

Класс тяги трактора определяется значением номинального тягового усилия в тоннах - силах [1].

2. Использование баланса мощности трактора при эксплуатационных расчётах даёт возможность обоснованного выбора энергосберегающего режима работы трактора, при котором непроизводительные потери мощности двигателя будут минимальны.

Такому режиму будет соответствовать оптимальная скорость, при которой сумма потерь мощности на самопередвижение трактора и на буксование минимальны, а тяговый КПД трактора имеет максимальное значение.

Значения тягового КПД зависят от конструкторских особенностей тракторов и почвенного фона.

3. Применение коэффициента использования эксплуатационного веса  $\varphi_{кр}$  даёт возможность выполнять эксплуатационные расчёты при отсутствии некоторых параметров технической характеристики тракторов. Это, прежде всего, относится к тракторам новых моделей, для которых нет тяговых характеристик.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Варианты исходных данных к заданию (228 вариантов)

Вариант определяется шифром из таблицы П.1, (трактор) и таблицы П.2. (условия эксплуатации).

Например: шифр 37В. Это соответствует следующим данным.

Трактор (шифр 37): МТЗ - 1221, тип ходового аппарата 4 х 4, мощность двигателя 96 кВт, эксплуатационная масса 5300 кг.

Условия эксплуатации (шифр В): поле, подготовленное под посев; уклон 2 %.

Таблица П.1

Шифр	Трактор	Тип ходового аппарата	$N_e$ , кВт	Эксплуатационная масса, кг
1	2	3	4	5
1	Т-70СМ	Гус.	58	4040
2	ДТ-75Д	Гус.	70	6660
3	ДТ-75МД	Гус.	80,9	6800
4	ВТ-100М	Гус.	88,2	7430
5	ДТ-75М	Гус.	125	8030
6	ВТ-130	Гус.	106,6	8000
7	ДТ-120Д	Гус.	91	6526
8	ВТ-200	Гус.	184	7850
9	Т-3	Гус.	88	6400
10	Т-5	Гус.	169	9350
11	ДТ-75Т	Гус.	93,5	6900
12	Т-150	Гус.	110,4	7450
13	ХТЗ-200	Гус.	147	9100
14	ХТЗ-180Р	Гус.	132	8700
15	Т-4 А	Гус.	95,5	8145
16	Т-4.02	Гус.	112	8300
17	Т-250	Гус.	184	12700
18	Т-408	Гус.	112	11000
19	Т-500	Гус.	186	12000
20	Т-170М.03-51	Гус.	132	16400
21	Т-2 5 А	4х2	19,5	2020
22	Т-30АТ	4х4	23,5	2480
23	Т-45 А	4х4	33,1	2600
24	Т-40М	4х2	39	2420
25	Т-80А	4х4	57,4	3860
26	ЮМЗ-6АКЛ	4х2	44,5	4000

## Окончание таблицы П.1

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
27	ЮМЗ-8020	4x2	59	3960
28	ЮМЗ-8220	4x4	59	4160
29	T-150K	4x4	121,4	7350
30	K-700A	4x4	158	11800
31	K-701	4x4	221	12500
32	K-701M	4x4	246	13590
33	K-744	4x4	257	15700
34	K-744A	4x4	184	15700
35	MTЗ-80	4x2	55,2	3160
36	MTЗ-100	4x2	73,6	3750
37	MTЗ-1221	4x4	96	5300
38	MTЗ-1005	4x2	77	4025
39	MTЗ-1025	4x4	77	4295
40	MTЗ-950	4x2	65	3700
41	MTЗ-952	4x4	65	3970
42	MTЗ-900	4x2	60	3700
43	MTЗ-920	4x4	60	3900
44	MTЗ-590	4x2	46	3600
45	MTЗ-592	4x4	46	3800
46	MTЗ-530	4x2	42	2600
47	MTЗ-532	4x4	42	2810
48	MTЗ-520	4x2	46	3460
49	MTЗ-522	4x4	46	3670
50	MTЗ-320	4x4	25	1590
51	MTЗ-3Ю	4x2	25	1540
52	MTЗ-215	4x4	15	1200
53	MTЗ-225	4x4	16,2	1600
54	MTЗ-210	4x2	16	1330
55	MTЗ-220	4x4	16	1380
56	MTЗ-82B	<b>4x4</b>	60	4500
57	T-16MГ	4x2	19,5	1900

Таблица П.2

<b>Шифр</b>	<b>Условия эксплуатации</b>	
	<b>состояние поля</b>	<b>Уклон, %</b>
A	Стерня	0
B	Поле, подготовленное под посев	2
C	Стерня	4
D	Поле, подготовленное под посев	0

Ильин Пётр Иванович

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС МТА**  
Учебно - методические указания

Молодежный, 2020

Учебно - методические указания  
для расчётно - графической работы  
для студентов инженерного факультета  
направление подготовки 35.03.06 Агроинженерия,  
44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям)