

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет»

Карабаницкий А. П., Чеботарев М. И.

**КОМПЛЕКТОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ
МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ**

Допущено Министерством сельского хозяйства
Российской Федерации в качестве учебного пособия
для студентов высших аграрных учебных заведений,
обучающихся по специальности 110301.65
«Механизация сельского хозяйства»

**Посвящается 90-летию
Кубанского государственного
аграрного университета**

Краснодар
2012

УДК 631.3.06(075.8.)
ББК 40.72
К 21

Р е ц е н з е н т ы :

Е. И. Винецкий - доктор технических наук, профессор
(Всероссийский НИИ табака и табачных изделий),

Е. И. Трубилин - доктор технических наук, профессор
(Кубанский госагроуниверситет).

Карабаницкий А. П.

К 21 Комплектование энергосберегающих машинно- тракторных агрегатов: учеб. пособие / А. П. Карабаницкий, М. И. Чеботарев. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – 97с.

ISBN 978-5-94672-513-2

В учебном пособии изложены основные теоретические аспекты комплектования энергосберегающих машинно-тракторных агрегатов и приведены примеры решений практических задач на базе существующей информации.

Книга адресована студентам, магистрам, и аспирантам высших учебных заведений агроинженерного профиля, профессорско-преподавательскому составу, а также специалистам сельскохозяйственного производства

УДК 631.3.06(075.8.)
ББК 40.72

ISBN 978-5-94672-513-2

© Карабаницкий А. П., Чеботарев М. И., 2012
© ФГОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет», 2012

Содержание

Условные обозначения, используемые в учебном пособии..	4
Введение.....	6
1 Тяговые свойства современных тракторов и их анализ.....	8
2 Комплектование энергосберегающих машинно-тракторных агрегатов.....	24
2.1 Общие принципы расчета энергосберегающих мобильных агрегатов.....	24
2.2 Подбор машины для выполнения сельскохозяйственной работы в агрегате с известным трактором. (Первое направление)	26
2.3 Подбор трактора к известной с.-х. машине для выполнения заданной технологической операции. (Второе направление).	34
2.4 Определение рациональной скорости движения машинно-тракторного агрегата при известном его составе. (Третье направление).....	36
3 Примеры расчетов по комплектованию энергосберегающих агрегатов.....	40
3.1 Пример первый. Выбор сельскохозяйственной машины при известном энергетическом средстве.....	40
3.2 Пример второй. Выбор энергосредства для работы с известной сельскохозяйственной машиной.....	45
3.3 Пример третий. Определение рационального режима работы существующего агрегата в заданных условиях.....	50
Список использованных источников.....	55
Приложение. Справочные материалы.....	56

Условные обозначения, используемые в учебном пособии

N_e^H – номинальная эффективная мощность двигателя энергосредства, кВт;

N_e – используемая (требуемая) эффективная мощность двигателя энергосредства, кВт;

$N_\eta, N_\delta, N_f, N_\alpha$ – потери мощности, соответственно, в трансмиссии энергосредства, на буксование его движителей, самопередвижение и преодоление подъема, кВт;

$N_{кр}$ – тяговая мощность энергосредства, кВт;

$N_{кр}^{max}$ – максимальная тяговая мощность энергосредства, кВт;

$N_{вoм(гс)}$ – мощность, передаваемая через ВОМ (или гидростистему) энергосредства, кВт;

N_n^D – полезная мощность, развиваемая двигателем энергосредства, кВт;

N^μ – мощность мобильного энергосредства, обусловленная его сцепными свойствами, кВт;

$N_{кр}^\mu$ – тяговая мощность энергосредства, обусловленная его сцепными свойствами, кВт;

$N_{аг}$ – мощность, необходимая для работы агрегата, кВт;

$N_{аг.рац}$ – рациональная мощность, необходимая для работы агрегата, при которой достигается максимальный КПД энергосредства, кВт;

$N_{y\partial}$ – мощность (удельная), приходящаяся на единицу ширины захвата сельскохозяйственной машины, кВт/;

V – скорость движения агрегата, км/ч;

V_{min}, V_{max} – агротехнически допустимая скорость движения агрегата, соответственно, минимальная и максимальная, км/ч;

$V_{N_{кр}^{max}}$ – скорость энергосредства, при которой достигается максимальная тяговая мощность, км/ч;

V_{opt} – оптимальная скорость движения агрегата, при которой достигается максимально возможный КПД энергосредства, км/ч;

$V_{рац}$ – рациональная скорость движения агрегата, при которой достигается максимальный КПД энергосредства в рассматриваемых условиях, км/ч;

$B, B_{рац}, B_{opt}$ – ширина захвата агрегата, соответственно, конструктивная, рациональная и оптимальная, м;

$b_{M(i)}$ – ширина захвата сельскохозяйственной машины (i-того вида), м;

G – вес энергосредства, кН;

$G_{M(i)}$ – вес сельскохозяйственной машины (i-того вида), кН;

$q_{M(i)}$ – вес (удельный) сельскохозяйственной машины (i-того вида), приходящийся на единицу ширины захвата, кН/м;

$R_{аэ}$ – тяговое сопротивление агрегата, кН;

$k_{M(i)}$ – удельное тяговое сопротивление с.-х. машины (i-того вида), кН/м; для пахотных агрегатов - $k_{пл}$, кН/м²;

μ – коэффициент сцепления движителя энергосредства с почвой;

f, f_M – коэффициент сопротивления качению, соответственно, энергосредства и с.-х. машины;

δ – коэффициент буксования движителя энергосредства;

δ_d – допустимый коэффициент буксования движителя энергосредства;

η_M – механический КПД трансмиссии энергосредства;

η – полный КПД энергосредства;

η_T – тяговый КПД энергосредства;

η_T^{max} – максимальный тяговый КПД энергосредства;

$\eta_{ум}$ – коэффициент использования тяговой мощности;

$\eta_z, (\eta_z^{opt})$ – коэффициент загрузки двигателя энергосредства (оптимальный);

λ – доля эксплуатационного веса энергосредства, приходящаяся на его движитель;

q_e^H – удельный расход топлива (номинальный) двигателем энергосредства, г/кВт·ч;

q_p – расход топлива (удельный) на единицу выполняемой работы, кг/га (кг/т, кг/ч);

W – производительность агрегата за один час «чистой» работы, га/ч;

G_m – часовой расход топлива при работе агрегата, кг/ч;

τ – коэффициент использования времени смены;

$\mathcal{E}_y^{за}, \mathcal{E}_y^ч$ – затраты энергии (удельные), соответственно, на единицу обрабатываемой площади, МДж/га, или за 1 час работы агрегата, МДж/ч.

Введение

Современное сельскохозяйственное производство России характеризуется качественно новым этапом технического перевооружения. В сельскохозяйственные предприятия поступает большое количество новых тракторов, комбайнов, сельскохозяйственных машин отечественного и импортного производства. Эта техника отличается высокой степенью надежности, наличием автоматизированных систем управления и контроля за работой узлов и механизмов машин, обеспечивает экономичный режим работы и высокое качество выполняемого процесса.

Вместе с тем, возможности современных машинно-тракторных агрегатов (МТА) выполнять работу в конкретных условиях эксплуатации с максимальной производительностью и минимальным расходом топлива зачастую недоиспользуются из-за ошибок в агрегатировании. Для устранения этих ошибок следует выполнять предварительное моделирование составов агрегатов и рассчитывать рациональные режимы их работы.

В составе любого машинно-тракторного агрегата основным его элементом является трактор. Трактор сельскохозяйственного назначения – это энергетическое средство, обеспечивающее, как правило, перемещение и работу агрегатируемых с ним сельскохозяйственных машин.

Для рационального комплектования МТА по существующей методике необходимо знать тяговые характеристики энергетических средств, а также ряд технических данных (передаточные числа трансмиссии, динамические радиусы качения движителей и др.), без которых невозможно определить их тяговые усилия на соответствующих передачах.

В тоже время, техническая информация, предлагаемая заводами-изготовителями техники и содержащаяся в каталогах, проспектах, рекламных изданиях и интернет-ресурсах, содержит лишь такие параметры, как эффективная мощность двигателя энергосредства (трактора), номинальная частота вращения коленчатого вала, запас крутящего момента, удель-

ный расход топлива, эксплуатационный вес трактора, внешние габаритные размеры. Этой информации недостаточно для инженерных расчетов по существующей методике по рациональному комплектованию МТА.

В настоящем пособии предлагается новая методика комплектования машинно-тракторных агрегатов, включающих технические средства отечественного и импортного производства, основанная на использовании технической информации, доступной широкому кругу специалистов. Это позволит производить рациональное комплектование МТА в современных условиях, что обеспечит получение конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции с минимальными затратами на процессы механизации ее производства.

1 Тяговые свойства современных тракторов и их анализ

Тяговые свойства тракторов имеют определяющее значение при формировании и использовании МТА в сельском хозяйстве. Современные сельскохозяйственные тракторы, как правило, являются энергонасыщенными. Рассмотрим их тяговые возможности, исходя, с одной стороны из мощности двигателя (активной мощности), а с другой – из мощности, определяемой сцепными свойствами трактора (реактивной мощности).

Как известно, номинальная эффективная мощность двигателя любого мобильного энергосредства (N_e^H) вначале теряется в трансмиссии (N_η), затем затрачивается на буксование движителя (N_δ) и самопередвижение трактора (N_f), а при наличии уклона поля - тратится также на преодоление подъема (или добавляется при спуске) (N_α). Оставшаяся полезная (активная) мощность (N_n^A) может быть реализована для выполнения технологического процесса в составе МТА, т.е. для преодоления тягового сопротивления агрегатируемых машин ($N_{кр}$) и для привода их рабочих органов через вал отбора мощности ($N_{вотм}$) или гидросистему ($N_{гс}$).

Исходя из баланса мощности трактора, следует:

$$N_n^A = N_e^H - N_\eta - N_\delta - N_f \pm N_\alpha. \quad (1.1)$$

Учитывая, что
$$N_\eta = N_e^H(1 - \eta_m); \quad (1.2)$$

$$N_\delta = N_e^H \eta_m \frac{\delta}{100}; \quad (1.3)$$

$$N_f = \frac{GV}{3,6} f, \quad N_\alpha = \pm \frac{GV}{3,6} \frac{i}{100} \quad \text{или} \quad N_{f\alpha} = \frac{GV}{3,6} \left(f \pm \frac{i}{100} \right), \quad (1.4)$$

можно записать:

$$N_n^A = N_e^H \eta_m \left(1 - \frac{\delta}{100} \right) - \frac{GV \left(f \pm \frac{i}{100} \right)}{3,6}, \quad (1.5)$$

где η_M – механический КПД трансмиссии энергосредства, (для колесных тракторов $\eta_M=0,91\dots0,92$; для гусеничных – $\eta_M=0,86\dots0,88$);
 δ – буксование двигателя трактора, %; (для колесных тракторов с формулой 4К2 допустимое буксование $\delta_d=18\%$; с формулой 4К4 – $\delta_d=15\%$; для гусеничных тракторов – $\delta_d=5\%$);
 G – эксплуатационный вес трактора, кН;
 f – коэффициент сопротивления качению двигателя трактора;
 V – скорость движения МТА, км/ч;
 i – уклон поля, %.

Вместе с тем, реализация в агрегате полезной (активной) мощности зависит от способности двигателя трактора, находящегося в контакте с почвой, передавать требуемую мощность для работы агрегата (реактивную мощность) N^μ , т.е.

$$N^\mu = \frac{F_{max} V}{3,6}, \quad (1.6)$$

где F_{max} – максимальная сила сцепления двигателя трактора с почвой, кН.

F_{max} определяется по известной формуле [4]:

$$F_{max} = G\lambda\mu, \quad (1.7)$$

где λ – доля эксплуатационного веса трактора, приходящаяся на двигатель, (для колесных тракторов с формулой 4К2 - $\lambda \approx 0,75$; для колесных с формулой 4К4 и для гусеничных тракторов - $\lambda = 1$);
 μ – коэффициент сцепления двигателя трактора с почвой.

Тяговая мощность ($N_{кр}^\mu$), обусловленная сцепными свойствами трактора, с учетом потерь мощности на буксование, самопередвижение и преодоление подъема (спуска), определяется из выражения:

$$N_{кр}^\mu = N^\mu - N_\delta \mp N_{f\alpha} \quad (1.8)$$

Используя выражения (1.3), (1.4) и (1.7) в формуле (1.8), после преобразований получим:

$$N_{кр}^{\mu} = \frac{GV \left[\lambda\mu - \left(f \pm \frac{i}{100} \right) \right]}{3,6} - N_e^H \eta_M \frac{\delta}{100}. \quad (1.9)$$

Анализируя формулы 1.5 и 1.9, можно заметить, что возможная для реализации в агрегате полезная мощность двигателя трактора $N_{п}^{\delta}$ с увеличением скорости движения агрегата уменьшается, а тяговая мощность, зависящая от сцепных свойств трактора, $N_{кр}^{\mu}$ увеличивается. Очевидно, что максимальная тяговая мощность трактора $N_{кр}^{max}$ достигается при равенстве $N_{п}^{\delta}$ и $N_{кр}^{\mu}$. Это происходит при определенной скорости движения агрегата V . Обозначим её $V_{N_{кр}^{max}}$.

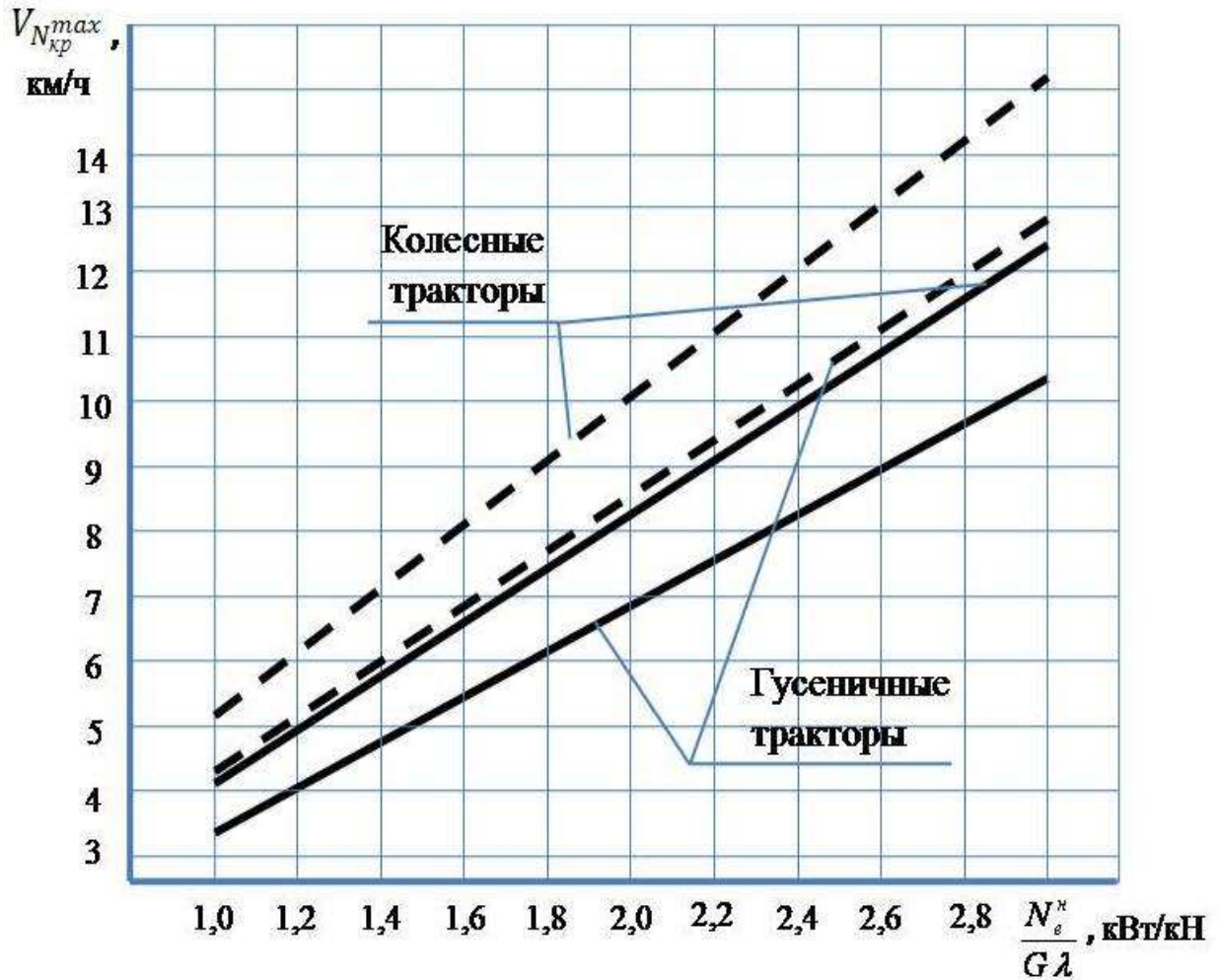
Из равенства формул 1.5 и 1.9 получим:

$$V_{N_{кр}^{max}} = 3,6 \frac{N_e^H \eta_M}{G\lambda \mu}. \quad (1.10)$$

Отношение $\frac{N_e^H}{G\lambda}$ одни авторы [2] называют коэффициентом использования сцепного веса, другие [8] - энергонасыщенностью трактора.

Анализ технических характеристик современных тракторов показывает, что отношение $\frac{N_e^H}{G\lambda}$ колеблется в пределах от 1,1 до 2,8 кВт/кН [1].

Зная значение $\frac{N_e^H}{G\lambda}$ для конкретного трактора, можно определить его скорость, при которой достигается максимальная тяговая мощность на рассматриваемом агрофоне (рисунок 1.1).



Условные обозначения:

- - стерневое поле (для гусеничных тракторов $\mu=0,9$, для колесных тракторов $\mu=0,8$);
- - - - культивированное поле (для гусеничных тракторов $\mu=0,75$, для колесных тракторов $\mu=0,65$).

Рисунок 1.1 – График зависимости $V_{N_{кр}^{max}}$ от $\frac{N_e^H}{G\lambda}$

Подставляя в формулы (1.5) или (1.9) вместо V правую часть равенства (1.10), определяется максимально возможная для реализации в агрегате тяговая мощность трактора $N_{кр}^{max}$,

$$N_{кр}^{max} = N_e^H \eta_M \left(1 - \frac{\delta}{100} - \frac{f \pm \frac{i}{100}}{\lambda \mu} \right). \quad (1.11)$$

Для более четкого понимания рассматриваемого вопроса представим теоретические решения в графической форме.

Итак, для анализа тяговых свойств тракторов в конкретных производственных условиях требуются следующие данные: эффективная мощность двигателя N_e^H ; эксплуатационный вес трактора G ; механический КПД трансмиссии η_m ; допустимое буксование движителей δ_d ; коэффициенты сцепления движителя трактора с почвой μ и сопротивления качению f , уклон поля i , рассматриваемый диапазон скоростей движения трактора ($V_{min} \dots V_{max}$).

В общем виде графическое изображение рассматриваемых параметров N_{Π}^D и $N_{кр}^{\mu}$ будет следующим:

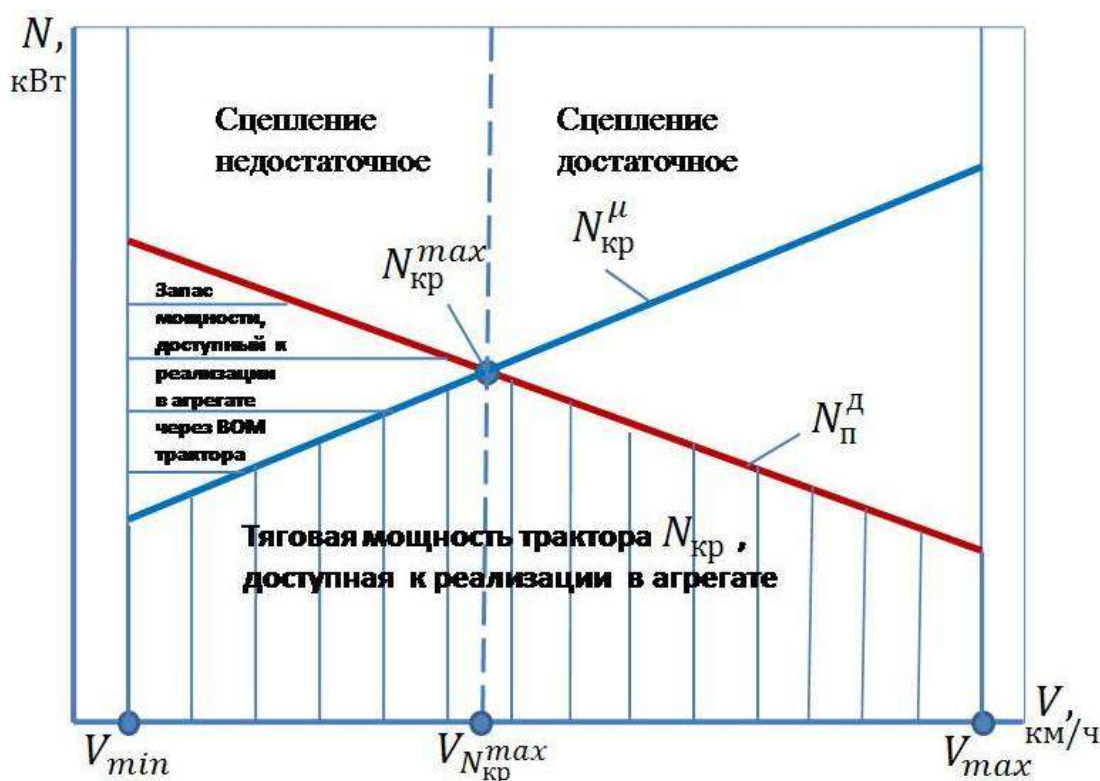


Рисунок 1.2 – График изменения тяговой мощности трактора $N_{кр}$ в рабочем диапазоне скоростей движения

Как видно из графика (рисунок 1.2), в интервале скоростей от V_{min} до $V_{N_{кр}^{max}}$ тяговые возможности трактора ограничены его сцепными свойствами (сцепление движителя с почвой недостаточно для реализации полез-

ной мощности двигателя). При дальнейшем увеличении скорости от $V_{N_{кр}^{max}}$ до V_{max} тяговые способности трактора определяются полезной мощностью его двигателя (сцепление достаточное). Точка пересечения линий, характеризующих изменения $N_{п}^{\Delta}$ и $N_{кр}^{\mu}$, определяет максимально возможную тяговую мощность $N_{кр}^{max}$ и скорость трактора $V_{N_{кр}^{max}}$, при которой это происходит в рассматриваемых почвенных условиях.

В итоге можно утверждать, что максимально возможный тяговый КПД трактора η_T^{max} , работающего в конкретных почвенных условиях, достигается при скорости $V_{N_{кр}^{max}}$ и определяется следующей зависимостью:

$$\eta_T^{max} = \frac{N_{кр}^{max}}{N_e^H}. \quad (1.12)$$

В этом случае будет обеспечена наиболее полная реализация тяговых возможностей трактора, а, следовательно, и минимум энергозатрат, поскольку известно, что минимальный удельный расход топлива (расход топлива на единицу выполняемой работы) q_p достигается при $N_{кр}^{max}$.

Рассмотрим ряд примеров по определению тяговых свойств тракторов, например, ХТЗ-181, МТЗ-920 и К-744Р, используя данные, представленные в приложении к настоящему пособию. При этом будем иметь в виду, что все используемые в расчетах параметры тракторов и условий их эксплуатации являются средневзвешенными величинами. В реальности все значения параметров в определенном интервале изменяются стохастическим образом (в вероятностном смысле). Это обстоятельство следует учитывать в научно-исследовательских работах.

В условиях производственной эксплуатации при решении задач по рациональному комплектованию машинно-тракторных агрегатов усред-

ненные параметры тракторов и условий их использования вполне приемлемы и достаточны.

Данные, необходимые для решения рассматриваемых примеров, представим в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Исходные данные для расчетов

Марка трактора	ХТЗ-181	МТЗ-920	К-744Р
Эффективная мощность двигателя N_e^H , кВт	139,7	62,0	184,0
Эксплуатационный вес G , кН	90,5	41,0	134,0
Тип движителя (колесная формула)	Гусеничный	4К2	4К4
Механический КПД трансмиссии η_m	0,870	0,915	
Агрофон	Культиви- рованное поле	Свежевспа- ханное поле	Стерня
Допустимое буксование δ_d , %	5	18	15
Коэффициент сцепления движителя трактора с почвой μ	0,75	0,60	0,85
Коэффициент сопротивления качению трактора f	0,15	0,20	0,10
Уклон поля i , %	5		
Диапазон рабочих скоростей движения V , км/ч	1...15		

Мощность двигателя трактора, которую возможно реализовать (использовать) в агрегате при выполнении технологического процесса, определим по формуле (1.5), с учетом данных таблицы 1.1.

Для ХТЗ-181:

$$N_{II}^{\mu} = 139,7 \cdot 0,87 \left(1 - \frac{5}{100}\right) - \frac{90,5 \cdot (1 \dots 15)}{3,6} \left(0,15 + \frac{5}{100}\right) = 110,4 \dots 40,1 \text{кВт.}$$

Для МТЗ-920:

$$N_{II}^{\mu} = 62,0 \cdot 0,915 \left(1 - \frac{18}{100}\right) - \frac{41,0 \cdot (1 \dots 15)}{3,6} \left(0,20 + \frac{5}{100}\right) = 43,7 \dots 3,8 \text{кВт.}$$

Для К-744Р:

$$N_{II}^{\mu} = 184,0 \cdot 0,915 \left(1 - \frac{15}{100}\right) - \frac{134 \cdot (1 \dots 15)}{3,6} \left(0,10 + \frac{5}{100}\right) = 137,5 \dots 59,4 \text{кВт.}$$

По формуле (1.9) рассчитаем тяговую мощность трактора, обусловленную его сцепными свойствами.

Для ХТЗ-181:

$$N_{кр}^{\mu} = \frac{90,5(1 \dots 15) \left[1 \cdot 0,75 - \left(0,15 \pm \frac{5}{100}\right)\right]}{3,6} - 139,7 \cdot 0,87 \frac{5}{100} = 7,7 \dots 201,2 \text{кВт.}$$

Для МТЗ-920:

$$N_{кр}^{\mu} = \frac{41,0(1 \dots 15) \left[0,75 \cdot 0,60 - \left(0,20 + \frac{5}{100}\right)\right]}{3,6} - 62,0 \cdot 0,915 \frac{18}{100} = \dots 0 \dots 24,0 \text{кВт.}$$

В ответе этого решения перед цифрой 0 находятся иррациональные числа. Пояснения по этому поводу приводятся ниже.

Для К-744Р:

$$N_{кр}^{\mu} = \frac{134,0(1 \dots 15) \left[1 \cdot 0,85 - \left(0,10 + \frac{5}{100}\right)\right]}{3,6} - 184 \cdot 0,915 \frac{15}{100} = 3,9 \dots 269,3 \text{кВт.}$$

Скорость трактора, при которой достигается максимально возможная тяговая мощность в рассматриваемых условиях, определяем по формуле (1.10).

Для трактора ХТЗ-181 она будет равна:

$$V_{N_{кр}^{max}} = 3,6 \frac{139,7}{90,5} \cdot \frac{0,87}{1 \cdot 0,75} = 6,45 \text{ км/ч.}$$

Для МТЗ-920:

$$V_{N_{кр}^{max}} = 3,6 \frac{62,0}{41,0} \cdot \frac{0,915}{0,75 \cdot 0,6} = 10,80 \text{ км/ч.}$$

Для К-744Р:

$$V_{N_{кр}^{max}} = 3,6 \frac{184,0}{134,0} \cdot \frac{0,915}{1 \cdot 0,85} = 5,32 \text{ км/ч.}$$

Максимально возможную тяговую мощность трактора, которую можно реализовать (использовать) в агрегате при выполнении технологического процесса в рассматриваемых условиях, определяем по формуле (1.11).

Для ХТЗ-181:

$$N_{кр}^{max} = 139,7 \cdot 0,87 \left(1 - \frac{5}{100} - \frac{0,15 + \frac{5}{100}}{1 \cdot 0,75} \right) = 82,6 \text{ кВт.}$$

Для МТЗ-920:

$$N_{кр}^{max} = 62,0 \cdot 0,915 \left(1 - \frac{18}{100} - \frac{0,20 + \frac{5}{100}}{0,75 \cdot 0,60} \right) = 14,7 \text{ кВт.}$$

Для К-744Р:

$$N_{кр}^{max} = 184,0 \cdot 0,915 \left(1 - \frac{15}{100} - \frac{0,10 + \frac{5}{100}}{1 \cdot 0,85} \right) = 112,8 \text{ кВт.}$$

В графической форме представленные расчеты будут выглядеть следующим образом, рисунки 1.3-1.5:

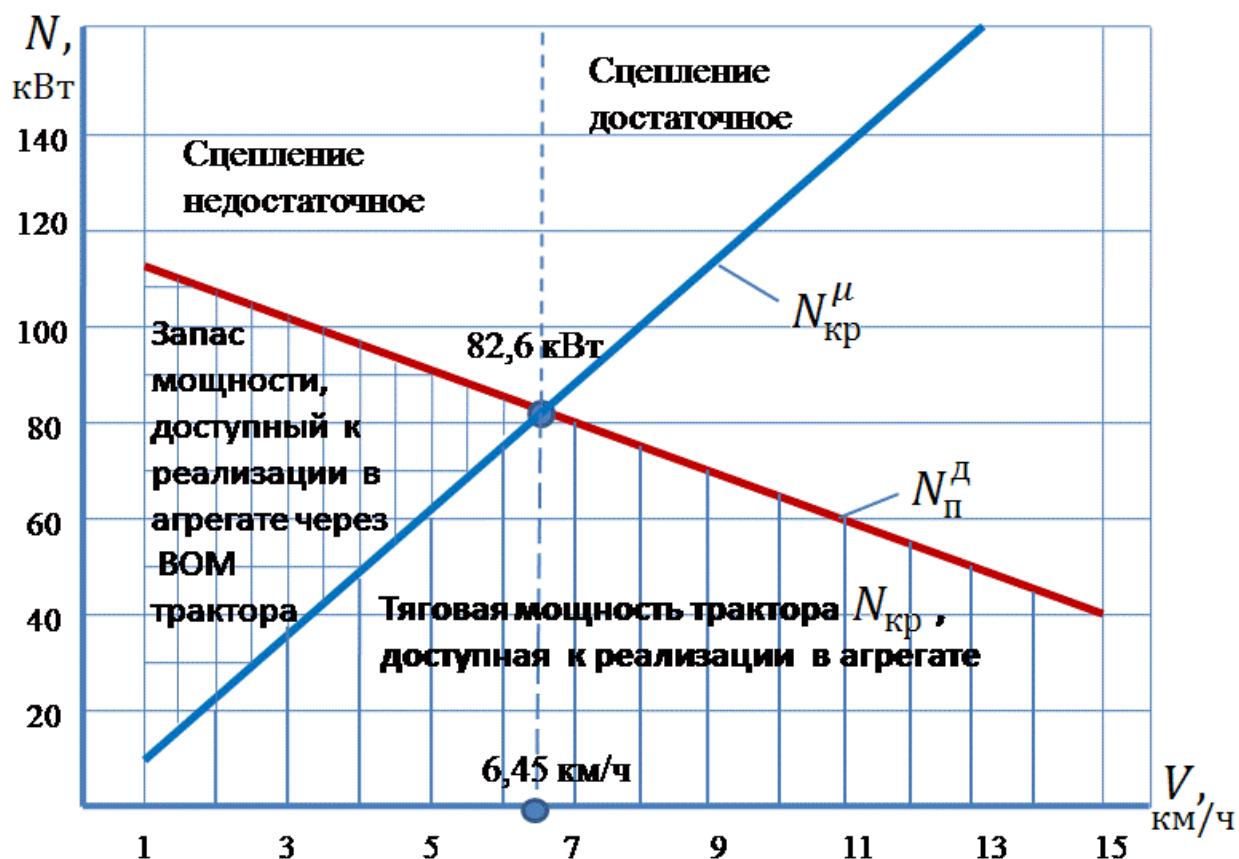


Рисунок 1.3 – График зависимости тяговой мощности трактора ХТЗ-181 от скорости движения на культивированном поле, имеющем уклон 5%.

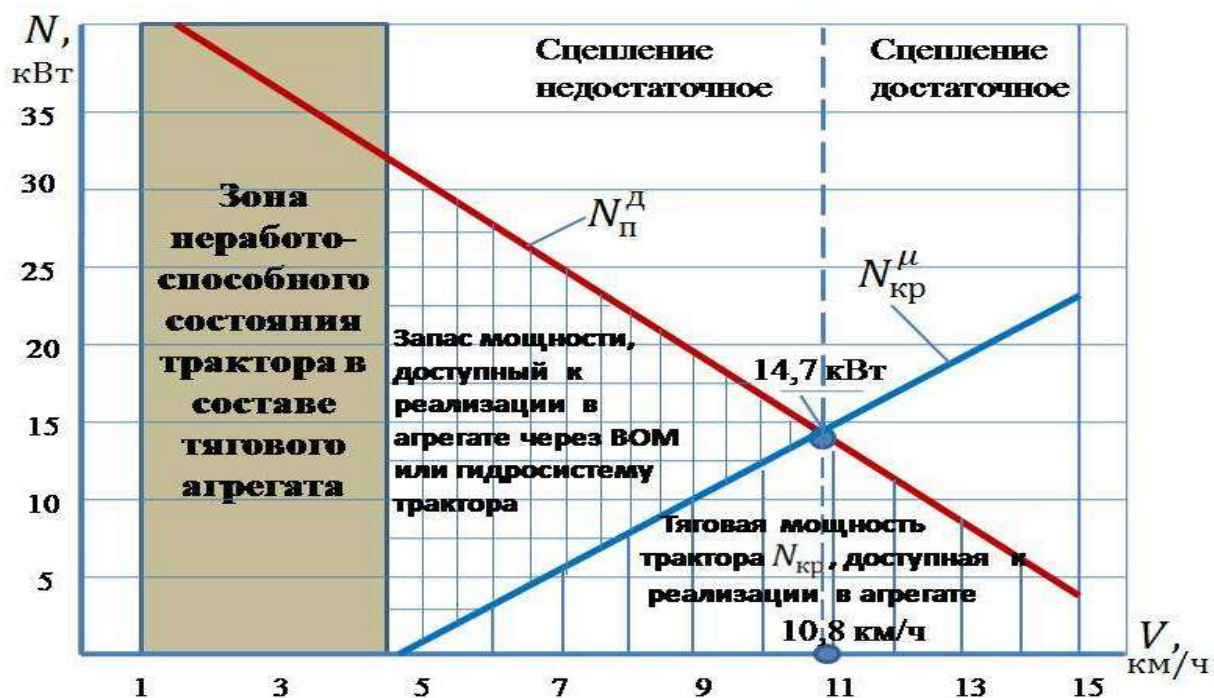


Рисунок 1.4– График зависимости тяговой мощности трактора МТЗ-920 от скорости движения на свежевспаханном поле, имеющем уклон 5%.

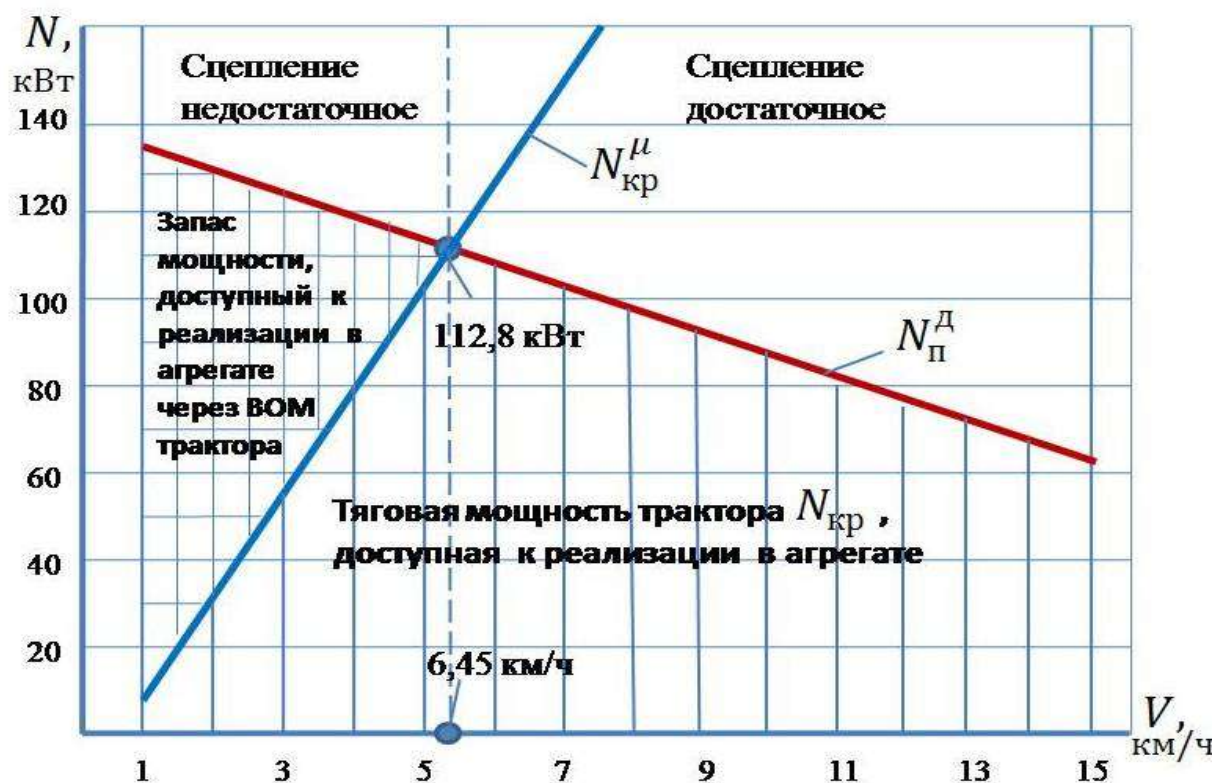


Рисунок 1.5– График зависимости тяговой мощности трактора К-744Р от скорости движения на стерневом поле, имеющем уклон 5%.

Анализируя результаты выполненных расчетов, можно сделать следующие выводы.

По гусеничному трактору ХТЗ-181.

В интервале скоростей от 1,0 до 6,45 км/ч тяговая мощность трактора ограничивается его сцепными свойствами (сцепление движителя с почвой недостаточно для реализации полезной мощности двигателя трактора). Однако, в этом случае имеется запас мощности, который можно использовать через ВОМ ($N_{вом}$) или гидросистему ($N_{гс}$) трактора в тягово-приводных агрегатах (рисунок 1.3).

В интервале скоростей от 6,45 до 15,0 км/ч мощностные возможности двигателя трактора могут быть реализованы полностью на преодоление тягового сопротивления агрегатируемых машин (сцепление достаточное). В случае применения тягово-приводных машин возможная тяговая мощность будет уменьшена на величину $N_{вом}$ или $N_{гс}$.

Максимальная тяговая мощность трактора в рассматриваемых условиях равна 82,6 кВт. Эта точка (рисунок 1.3) соответствует максимально возможному (условному) тяговому КПД трактора:

$$\eta_T^{max} = \frac{N_{кр}^{max}}{N_e} = \frac{82,6}{139,7} = 0,59.$$

По трактору МТЗ-920 с колесной формулой 4К2.

При скорости до ≈ 5 км/ч сцепные возможности трактора недостаточны для выполнения технологического процесса в рассматриваемых условиях (зона неработоспособного состояния), поскольку потери мощности в трансмиссии, на буксование движителя, на самопередвижение трактора и преодоление подъема в сумме превышают возможную тяговую мощность,

определяемую сцепными свойствами трактора (рисунок 1.4). В этом интервале скоростей сам трактор может перемещаться по полю, т.к. практически отсутствуют потери мощности на буксование, но выполнять технологический процесс в агрегате с сельскохозяйственной машиной, тяговое сопротивление которой вызывает буксование движителя, он не может.

При увеличении скорости с ≈ 5 до 10,8 км/ч тяговая мощность трактора определяется его сцепными свойствами (недостаточное сцепление).

В оставшемся диапазоне скоростей мощностные способности двигателя трактора могут быть полностью использованы для осуществления технологического процесса (достаточное сцепление движителя трактора с почвой).

В данном примере максимальный (условный) тяговый КПД трактора можно достичь при скорости 10,8 км/ч. Его значение будет равно:

$$\eta_T^{max} = \frac{N_{кр}^{max}}{N_e^H} = \frac{14,7}{62,0} = 0,24.$$

По трактору К-744Р с колесной формулой 4К4.

Максимальная тяговая мощность этого трактора в рассматриваемых условиях (112,8 кВт) достигается при скорости 5,35 км/ч (рисунок 1.5). До этой скорости тяговая мощность ограничивается сцепными свойствами трактора, так как $N_{кр}^{\mu} < N_{п}^{\partial}$, (недостаточное сцепление движителя трактора с почвой). Вместе с тем, как указывалось выше, запас полезной мощности ($N_{п}^{\partial} - N_{кр}^{\mu}$) может быть использован через ВОМ или гидросистему трактора для привода рабочих органов агрегируемых машин.

При скорости движения выше 5,35 км/ч полезная мощность $N_{п}^{\partial}$ может быть полностью использована на технологический процесс в составе агре-

гата ($N_{кр}^{\mu} > N_{п}^{\delta}$ – достаточное сцепление двигателя трактора с почвой). Максимально возможный тяговый КПД трактора в этих условиях будет равен:

$$\eta_T^{max} = \frac{N_{кр}^{max}}{N_e^H} = \frac{112,8}{184,0} = 0,61.$$

Для подтверждения этих выводов представим результаты наших теоретических расчетов и производственных испытаний тракторов К-701 и John Deere 9100, выполненных в РосНИИТиМе [7].

Исходная информация: агрофон – бетонное покрытие, коэффициент сцепления двигателя трактора с покрытием $\mu=0,9$, коэффициент сопротивления качению трактора $f = 0,06$, рельеф ровный.

Таблица 1.2 – Рассматриваемые показатели тракторов К-701 и John Deere 9100

Марка трактора	Показатель	Мощность двигателя кВт	Эксплуатационный вес, кН	Буксование, %	Максимальная тяговая мощность, кВт	Скорость при максимальной тяговой мощности, км/ч	Тяговый КПД трактора
К-701	Расчетный	208,8	125,0	15	175,4	6,24	0,84
	Экспериментальный	208,8	125,0	3	178,2	6,67	0,85
John Deere 9100	Расчетный	238,0	129,3	15	200,0	7,96	0,84
	Экспериментальный	238,0	129,3	2	209,4	8,18	0,86

Приведенные в таблице 1.2 данные свидетельствуют о высокой степени сходимости расчетных и экспериментальных значений сравниваемых показателей. Некоторые отклонения по трем последним показателям объясняются тем, что в расчетах использовалось предельно допустимое буксование, а в эксперименте оно оказалось значительно меньше. Тем не менее, результаты эксперимента подтверждают правильность разработанной методики.

Таким образом, энергосберегающими можно считать те машинно-тракторные агрегаты, у которых тяговый КПД в конкретных производственных условиях имеет максимальное значение.

Отсюда следует вывод, что при создании энергосберегающих машинно-тракторных агрегатов следует стремиться к тому, чтобы коэффициент использования тяговой мощности $\eta_{ум}$ был близок к 1,0, т.е.

$$\eta_{ум} = \frac{N_{аэ}}{N_{кр}^{max}} \rightarrow 1, \quad (1.13)$$

где $N_{аэ}$ – мощность, необходимая для работы агрегата в заданных условиях, кВт.

Это обеспечит максимально возможный, для конкретных условий работы агрегата, тяговый КПД трактора, т.е.

$$\eta_{т} = \frac{N_{аэ}}{N_e^H} \rightarrow \eta_{т}^{max} = \frac{N_{кр}^{max}}{N_e^H}. \quad (1.14)$$

Кроме этого, эффективность использования трактора в составе агрегата оценивается коэффициентом загрузки его двигателя $\eta_з$, который определяется отношением:

$$\eta_3 = \frac{N_e}{N_e^H}, \quad (1.15)$$

где N_e - используемая эффективная мощность двигателя трактора, кВт.

Многие авторы считают, что, для обеспечения возможности двигателя трактора преодолевать временно возникающие перегрузки, оптимальный коэффициент его загрузки η_3^{opt} должен быть равен $\approx 0,9$ (оставляется 10-процентный запас мощности двигателя), т.е.

$$\eta_3^{opt} = \frac{N_e}{N_e^H} \rightarrow 0,9 \quad (1.16)$$

Мнение это спорное, поскольку известно, что у современных тракторных двигателей запас крутящего момента, предназначенный для тех же целей, достигает 40% (см. таблицу П1). Поэтому, на наш взгляд, номинальная эффективная мощность двигателя трактора может быть использована полностью для работы агрегата, а соответствующий критерий энергосбережения должен быть таким:

$$\eta_3^{opt} = \frac{N_e}{N_e^H} \rightarrow 1,0 \quad (1.17)$$

2 Комплектование энергосберегающих машинно- тракторных агрегатов

2.1 Общие принципы расчета энергосберегающих мобильных агрегатов

Расчет энергосберегающих машинно-тракторных агрегатов преследует цель выбора энергетического средства и агрегатируемых с ним сельскохозяйственных машин, которые обеспечивают в конкретных условиях работы требуемое качество выполняемой технологической операции, максимальную производительность и минимальный расход топлива, т.е. минимум энергозатрат. Эта цель может быть достигнута в том случае, когда тяговый (или полный) КПД трактора, работающего в составе агрегата, будет близок к максимально возможному в заданных условиях.

Выполнение всех перечисленных требований (иногда противоречивых) возможно только при комплексном решении задач комплектования МТА, как на стадии их формирования, так и непосредственно в условиях эксплуатации.

Исходным моментом при комплектовании энергосберегающего МТА является выбор рационального состава и скоростного режима его работы. В качестве основных критериев при этом используют:

- тяговый КПД трактора η_T ,

$$\eta_T = \frac{N_{ae}}{N_e^H} \rightarrow \eta_T^{max}, \quad (2.1)$$

где N_{ae} – мощность, необходимая для работы агрегата в заданных условиях, кВт;

N_e^H – номинальная эффективная мощность двигателя трактора, кВт;

η_T^{max} – тяговый КПД трактора, максимально возможный в заданных условиях работы;

- производительность агрегата за 1 час «чистой» работы W , га/ч,

$$W = 0,1BV \rightarrow \max, \quad (2.2)$$

где B – конструктивная ширина захвата агрегата, м;

V – скорость движения агрегата, км/ч;

- расход топлива (удельный) на единицу выполняемой работы q_p , кг/га,

$$q_p = \frac{10^{-3} q_e^H N_e^H}{W} \rightarrow \min, \quad (2.3)$$

где q_e^H – удельный расход топлива (номинальный) двигателем трактора, г/кВт·ч.

N_e^H – номинальная эффективная мощность двигателя трактора, кВт .

Значения q_e^H и N_e^H выбираются из технической характеристики трактора.

- удельные затраты энергии на единицу выполняемой работы

\mathcal{E}_y^{ea} (МДж/га), или (для стационарных агрегатов) на единицу времени производительной работы агрегата \mathcal{E}_y^y (МДж/ч),

$$\mathcal{E}_y^{ea} = 42,7q_p \rightarrow \min; \text{ или } \mathcal{E}_y^y = 42,7G_T \rightarrow \min, \quad (2.4)$$

где 42,7 – низшая теплотворная способность дизельного топлива, МДж/кг;

G_T – часовой расход топлива при работе агрегата, кг/ч.

Основными параметрами для определения критериев, характеризующих рациональность комплектования агрегата, являются его ширина захвата B и скорость движения V .

Методика расчета этих параметров зависит от поставленной задачи и имеет несколько направлений.

2.2 Подбор машины для выполнения сельскохозяйственной работы в агрегате с известным трактором. (Первое направление)

Для известного трактора (энергосредства) необходимо подобрать машину для выполнения конкретной сельскохозяйственной работы (вспашки, глубокого рыхления, дискования, культивации, посева, между-рядной обработки посевов и т.п.).

Для решения этой задачи необходимо располагать, как минимум, следующими сведениями:

- технической характеристикой трактора (таблица П1).
- условиями работы агрегата (характеристика агрофона, уклон поля i и др.);
- агротехнически допустимым интервалом рабочих скоростей движения агрегата $V_{min} \dots V_{max}$ (км/ч), (таблицы П3 и П4);
- значением удельного тягового сопротивления машины i -того вида $k_{M(i)}$ (кН/м, кН/м²), (таблицы П3 и П4);
- средним значением веса машины i -того вида, приходящегося на единицу ширины захвата $q_{M(i)}$ (кН/м), (таблицы П3 и П4);
- обобщенными значениями коэффициентов сцепления движителя трактора с почвой μ , сопротивления качению трактора f и сельскохозяйственной машины f_M , (таблица П2);
- для тягово-приводных машин необходимо знать мощность, потребляемую через вал отбора мощности трактора $N_{вОМ}$ (таблица П5).

Алгоритм решения задач первого направления.

Вначале рассматривают тяговые возможности трактора в установленном диапазоне скоростей для заданных условий работы. При этом, по формулам (1.10) и (1.11) рассчитывают максимальную тяговую мощность

$N_{кр}^{max}$ и скорость трактора, при которой она достигается $V_{N_{кр}^{max}}$.

Далее возможны три варианта.

2.2.1 Первый вариант. Расчетная скорость $V_{N_{кр}^{max}}$ входит в допустимый диапазон рабочих скоростей, т.е. $V_{min} > V_{N_{кр}^{max}} \leq V_{max}$ (см. рисунок 1.2).

В этом случае оптимальная скорость движения агрегата V_{opt} равна $V_{N_{кр}^{max}}$, а оптимальная ширина захвата агрегата B_{opt} определится из отношения:

$$B_{opt} = \frac{N_{кр}^{max}}{N_{y\partial}}, \quad (2.5)$$

где $N_{y\partial}$ – мощность (удельная), приходящаяся на единицу ширины захвата с.-х. машины, кВт/м.

Удельную мощность $N_{y\partial}$ определяют:

для тяговых агрегатов – по формуле 2.6,

$$N_{y\partial} = \frac{V_{opt}}{3,6} \left(k_{M(i)} \pm q_{M(i)} \frac{i}{100} \right), \quad (2.6)$$

где $k_{M(i)}$ – удельное тяговое сопротивление с.-х. машины (i-того вида), кН/м; (таблица ПЗ);

$q_{M(i)}$ – вес машины (i-того вида), приходящийся на единицу ширины ее захвата, кН/м; (таблица ПЗ),

для комплексных многофункциональных агрегатов – по формуле 2.7,

$$N_{y\partial} = \frac{V_{opt}}{3,6} \left(\sum k_{M(i)} \pm \sum q_{M(i)} \frac{i}{100} \right), \quad (2.7)$$

где $\sum k_{M(i)}$ – сумма удельных тяговых сопротивлений с.-х. машин (i-того вида), кН/м (таблица ПЗ);

$\sum q_{M(i)}$ – совокупный удельный вес с.-х. машин (i-того вида), кН/м, (таблица ПЗ).

для пахотных агрегатов – по формуле 2.8,

$$N_{y\partial} = \frac{V_{opt}}{3,6} \left(k_{пл} a \pm q_{пл} \frac{i}{100} \right), \quad (2.8)$$

где $k_{пл}$ – удельное тяговое сопротивление плуга, кН/м², (таблица П4);

a – глубина вспашки, м;

$q_{пл}$ – вес плуга, приходящийся на единицу ширины его захвата, кН/м;
(таблица П4).

Оптимальная ширина захвата **тягово-приводных агрегатов** определяется по формуле 2.9,

$$B_{opt} = \frac{N_{кр}^{max} - N_{вом}}{N_{y\partial}}, \quad (2.9)$$

где $N_{вом}$ – мощность, затрачиваемая на привод рабочих органов агрегата, кВт; (таблица П5);

$N_{y\partial}$ – удельная мощность, необходимая для перемещения тягово-приводного агрегата, кВт/м.

$$N_{y\partial} = \frac{V_{opt}}{3,6} q_{M(i)} \left(f_{M(i)} \pm \frac{i}{100} \right), \quad (2.10)$$

где $f_{M(i)}$ - коэффициент сопротивления качению (перемещению) с.-х. машины (i-того вида) по полю.

По найденной величине B_{opt} подбирается конкретная машина (или группа машин), у которой (которых) ширина захвата $B_{аэ}$ наиболее близка к оптимальной, т.е.

$$B_{аэ} \leq B_{opt}.$$

После выбора машины (машин) определяется мощность N_{ae} , необходимая для работы агрегата в агротехнически допустимом диапазоне скоростей ($V_{min} \dots V_{max}$), по формуле 2.11:

$$N_{ae} = \frac{R_{ae}(V_{min} \dots V_{max})}{3,6}, \quad (2.11)$$

где R_{ae} - тяговое сопротивление выбранного агрегата, кН.

Тяговое сопротивление агрегата, R_{ae} определяется по формулам:

- **для тяговых агрегатов** – по формуле 2.12,

$$R_{ae} = b_{M(i)}k_{M(i)} \pm G_{M(i)} \frac{i}{100}, \quad (2.12)$$

где $b_{M(i)}$ – ширина захвата с.-х. машины (i-того вида), м;

$G_{M(i)}$ – вес сельскохозяйственной машины (i-того вида), кН.

(Если выбрана группа сельскохозяйственных машин, требующих применения сцепки, то следует учесть её тяговое сопротивление, как указано в известном учебном пособии [4]);

- **для комплексных агрегатов** – по формуле 2.13,

$$R_{ae} = B \sum k_{M(i)} \pm \sum G_{M(i)} \frac{i}{100}; \quad (2.13)$$

- **для пахотных агрегатов** – по формуле 2.14,

$$R_{ae} = B_{пл}k_{пл}a \pm G_{пл} \frac{i}{100}, \quad (2.14)$$

где $B_{пл}$ - ширина захвата плуга, м;

$G_{пл}$ - вес плуга, кН.

Для тягово-приводных агрегатов - тяговое сопротивление рассчитывается по формуле (2.12), или (в зависимости от вида агрегата) по формуле (2.15):

$$R_{ae} = G_{M(i)} \left(f_{M(i)} \pm \frac{i}{100} \right) \quad (2.15)$$

Мощность, необходимая для работы тягово-приводного агрегата, складывается из тяговой мощности и мощности, передаваемой через ВОМ трактора $N_{вом}$, т.е.

$$N_{ae} = \frac{R_{ae}(V_{min} \dots V_{max})}{3,6} + N_{вом}. \quad (2.16)$$

Рациональной скоростью движения выбранного агрегата $V_{рац}$ будет та, при которой максимально используются мощностные возможности трактора, т. е.

$$V_{рац} \rightarrow V_{N_{кр}^{max}}.$$

В условиях **достаточного сцепления** движителя трактора с почвой она определяется из равенства $N_{ae} = N_{п}^D$ (см. формулы 1.5, 2.11 или 2.16),

$$V_{рац} = \frac{3,6N_e^H \eta_M \left(1 - \frac{\delta}{100}\right)}{R_{ae} + G \left(f \pm \frac{i}{100}\right)}. \quad (2.17)$$

При **недостаточном сцеплении** $V_{рац}$ определяется из равенства: $N_{ae} = N_{кр}^{\mu}$ (см. формулы 1.9, 2.11 или 2.16),

$$V_{рац} = \frac{R_{ae} + 3,6N_e^H \eta_M \frac{\delta}{100}}{G[\lambda\mu - \left(f \pm \frac{i}{100}\right)]}. \quad (2.18).$$

Производительность агрегата за один час «чистой» работы W (га/ч) вычисляется по формуле:

$$W = 0,1R_{az}V_{pac}. \quad (2.19)$$

Расход топлива (удельный) на единицу выполняемой работы q_p (кг/га) определяется из выражения:

$$q_p = \frac{10^{-3} q_e^H N_e^H}{W}, \quad (2.20)$$

где q_e^H – удельный расход топлива (номинальный) двигателем трактора, г/кВт·ч.

N_e^H – номинальная эффективная мощность двигателя трактора, кВт.

Удельные энергозатраты \mathcal{E}_y^{za} (МДж/га) рассчитываются по формуле:

$$\mathcal{E}_y^{za} = 42,7q_p \quad (2.21)$$

Тяговый η_T или полный η КПД трактора определяются из отношений:

$$\eta_T = \frac{N_{az}}{N_e^H}, \quad \eta = \frac{N_{az} + N_{вом}}{N_e^H}. \quad (2.22)$$

Коэффициент загрузки двигателя трактора η_z вычисляется по формуле:

$$\eta_z = \frac{N_e}{N_e^H}, \quad (2.23)$$

где N_e - используемая эффективная мощность двигателя трактора, кВт.

N_e определяется после выбора конкретного агрегата и рациональной скорости его движения из баланса мощности трактора по формуле:

$$N_e = \frac{V_{pac}}{3,6} \left\{ R_{az} \left[2 - \eta_m \left(1 - \frac{\delta}{100} \right) \right] + G \left(f \pm \frac{i}{100} \right) \right\}. \quad (2.24)$$

Оценка выполненного решения поставленной задачи производится по вышеуказанным критериям (см. формулы 2.1 – 2.4).

2.2.2 Второй вариант. Если расчетная скорость $V_{N_{кр}^{max}}$ выходит за пределы допустимого диапазона рабочих скоростей в зоне **достаточного сцепления** движителя трактора с почвой, т.е. $(V_{min} \dots V_{max}) > V_{N_{кр}^{max}}$, то максимально возможная тяговая мощность $N_{кр}^{д max}$ достигается при минимально допустимой по агротехническим требованиям скорости (рисунок 2.1) и определяется, исходя из уравнения (1.5), по формуле:

$$N_{кр}^{д max} = N_e^H \eta_M \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) - \frac{GV_{min}}{3,6} \left(f \pm \frac{i}{100}\right). \quad (2.25)$$

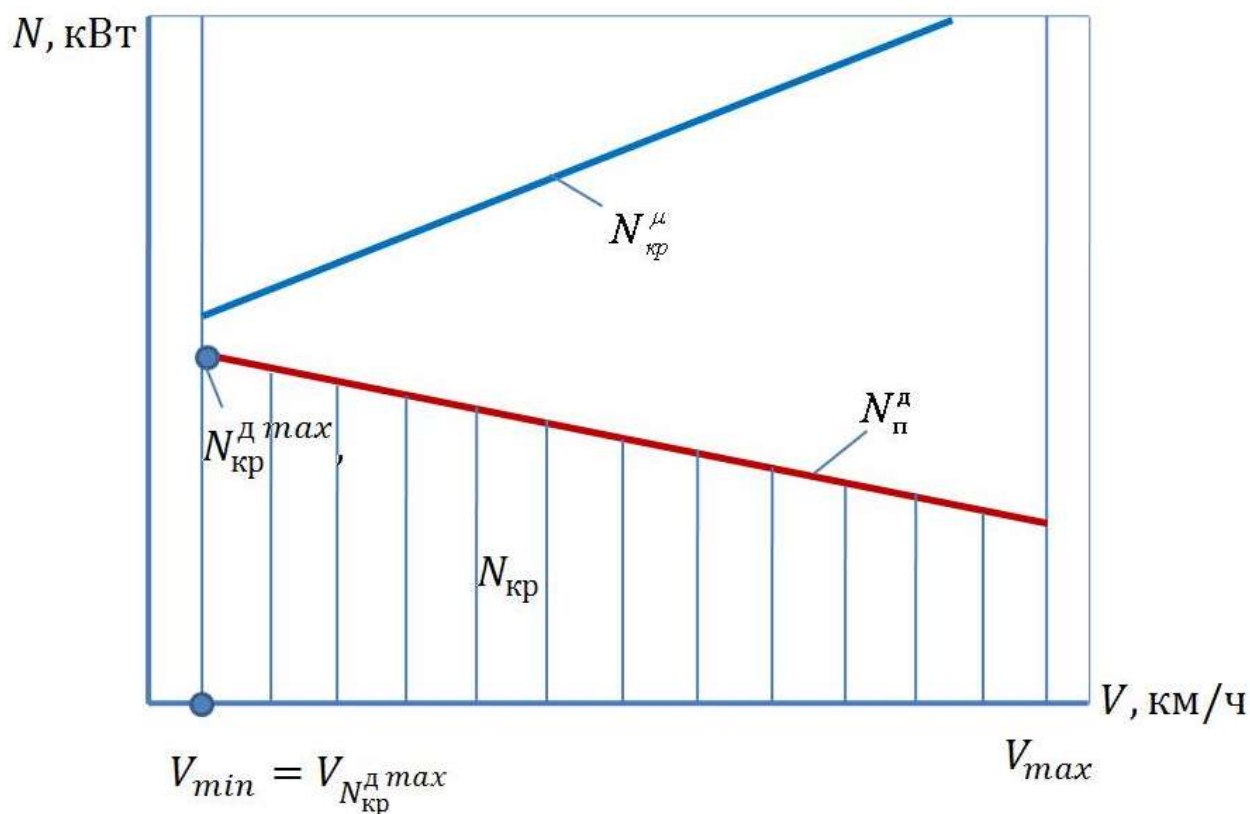


Рисунок 2.1 - График зависимости тяговой мощности $N_{кр}$ от скорости движения V в зоне достаточного сцепления движителя трактора с почвой.

2.2.3 **Третий вариант.** Если расчетная скорость $V_{N_{кр}^{max}}$ выходит за пределы допустимого диапазона рабочих скоростей в зоне **недостаточного сцепления** движителя трактора с почвой, т. е. $(V_{min} \dots V_{max}) \leq V_{N_{кр}^{max}}$, то максимально возможная тяговая мощность $N_{кр}^{\mu max}$ достигается при максимально допустимой по агротехническим требованиям скорости V_{max} (рисунок 2.2) и определяется, исходя из уравнения (1.9), по формуле:

$$N_{кр}^{\mu max} = \frac{GV_{max} [\lambda\mu - (f \pm \frac{i}{100})]}{3,6} - N_e^H \eta_M \frac{\delta}{100}. \quad (2.26)$$

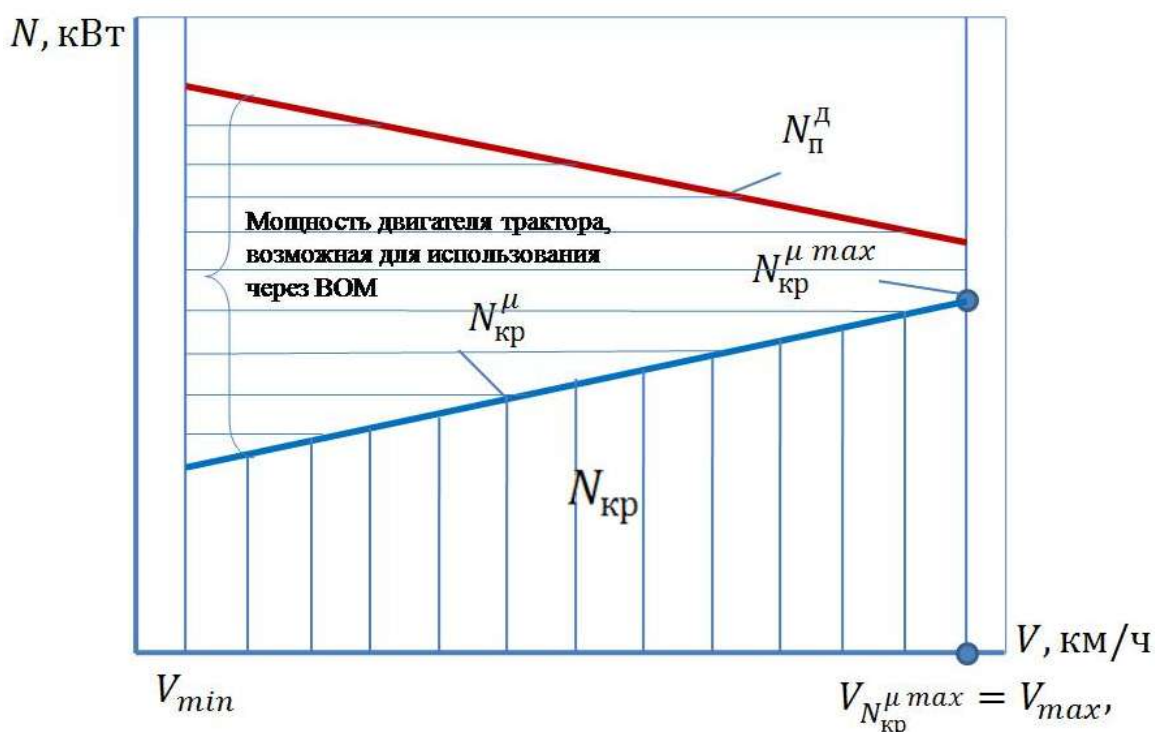


Рисунок 2.2 - График зависимости тяговой мощности $N_{кр}$ от скорости движения V в зоне недостаточного сцепления движителя трактора с почвой.

Здесь следует иметь в виду, что часть полезной мощности, обеспечиваемая двигателем трактора и недоиспользуемая на преодоление тягового сопротивления агрегата, может быть передана через ВОМ или гидросистему трактора на привод рабочих органов машин.

Последовательность дальнейших расчетов изложена в пункте 2.2.1, начиная с формулы 2.5.

2.3 Подбор трактора к известной с.-х. машине для выполнения заданной технологической операции. (Второе направление)

Для известной сельскохозяйственной машины (машин) необходимо подобрать трактор (энергосредство), обеспечивающий максимальную производительность агрегата при минимальных энергозатратах на выполнение заданной технологической операции.

Для решения задач этого направления необходимы те же сведения, что и для решения задач первого направления. Дополнительно требуются сведения о технической характеристике известной с.-х. машины. Кроме того, следует определиться с типом движителя выбираемого трактора (гусеничный или колесный с его колесной формулой).

Алгоритм решения задач второго направления.

Вначале определяют требуемую мощность для работы известной сельскохозяйственной машины в установленном диапазоне скоростей. Поскольку зависимость мощности от скорости линейная, то достаточно определять два значения: $N_{аг}^{min}$ - при минимальной скорости V_{min} и $N_{аг}^{max}$ - при максимальной скорости движения агрегата V_{max} .

Для тяговых агрегатов:

$$(N_{аг}^{min} \dots N_{аг}^{max}) = \frac{V_{min} \dots V_{max}}{3,6} \left(k_{M(i)} B_{аг} \pm G_{M(i)} \frac{i}{100} \right), \quad (2.27)$$

Для пахотных агрегатов:

$$(N_{аг}^{min} \dots N_{аг}^{max}) = \frac{V_{min} \dots V_{max}}{3,6} (k_{пл} B_{пл} a \pm G_{пл} \frac{i}{100}), \quad (2.28)$$

Для тягово-приводных агрегатов:

$$(N_{аг}^{min} \dots N_{аг}^{max}) = \frac{R_{аг}(V_{min} \dots V_{max})}{3,6} + N_{вом}. \quad (2.29)$$

Затем рассчитывают требуемую эффективную мощность двигателя трактора в установленном диапазоне скоростей по формуле 2.30, полученной в результате преобразования формулы 1.11, где $N_{кр}^{max}$ заменяется поочередно на $N_{аэ}^{min}$ и $N_{аэ}^{max}$:

$$(N_e^{min} \dots N_e^{max}) = \frac{(N_{аэ}^{min} \dots N_{аэ}^{max})}{\eta_M \left(1 - \frac{\delta}{100} - \frac{f \pm \frac{i}{100}}{\lambda \mu}\right)}. \quad (2.30)$$

Далее определяют эксплуатационный вес трактора, обеспечивающий достаточные сцепные свойства в рассматриваемых условиях. Он рассчитывается по формуле 2.31, полученной в результате преобразования формулы (1.10), где $V_{N_{кр}^{max}}$ заменяют принятыми значениями V_{min} и V_{max} , а N_e^H – требуемой эффективной мощностью N_e^{min} и N_e^{max} в установленном диапазоне скоростей. Здесь также достаточно рассчитать два значения:

- 1) G_{min} при V_{min} и N_e^{min} ; 2) G_{max} при V_{max} и N_e^{max} .

$$(G_{min} \dots G_{max}) = \frac{3,6(N_e^{min} \dots N_e^{max})\eta_M}{(V_{min} \dots V_{max})\lambda \mu}. \quad (2.31)$$

По известным техническим характеристикам (таблица П1) выбирают трактор (энергосредство), который (которое) удовлетворяет расчетным значениям N_e и G .

После выбора трактора по формуле (2.17) определяют рациональную скорость движения агрегата $V_{рац}$. Далее, по одной из формул (2.27...2.30), соответствующих рассматриваемому агрегату, рассчитывают необходимую мощность для работы агрегата $N_{аэ}$ при рациональной скорости движения $V_{рац}$.

Оценка выполненного решения поставленной задачи производится по критериям, указанным в пункте 2.1.

2.4 Определение рациональной скорости движения машинно-тракторного агрегата при известном его составе. (Третье направление)

При вынужденном агрегатировании имеющегося трактора (энергосредства) с конкретной сельскохозяйственной машиной задача сводится к определению рациональной скорости движения агрегата, при которой наиболее полно используются тяговые возможности трактора в рассматриваемых условиях. Требуемые для расчетов сведения о рассматриваемом агрегате и условиях его использования выбирают из таблиц приложения (П1...П6).

Алгоритм решения задач третьего направления.

Вначале определяют тяговые возможности трактора в агротехнически допустимом диапазоне скоростей при заданных условиях работы. Последовательность расчетов изложена в подразделе 2.2.

Далее вычисляют требуемую мощность для работы агрегата в рассматриваемых условиях, как описано в подразделе 2.3 (формулы 2.27...2.29).

Затем определяют рациональную скорость движения агрегата $V_{рац}$.

При определении рациональной скорости движения агрегата возможны следующие варианты.

2.4.1 Первый вариант. Если интервал агротехнически допустимых скоростей движения входит в зону **достаточного сцепления** движителя трактора с почвой, т.е. $(V_{min} \dots V_{max}) > V_{N_{кр}^{max}}$, то:

1) при $N_{аг}^{max} > N_{п}^{д min}$ (рисунок 2.3), рациональную скорость $V_{рац}$ определяют по формуле 2.17;

2) при $N_{аг}^{max} \leq N_{п}^{д min}$ (рисунок 2.4), рациональная скорость $V_{рац}$ равна максимально допустимой скорости движения агрегата по агротехническим требованиям V_{max} .

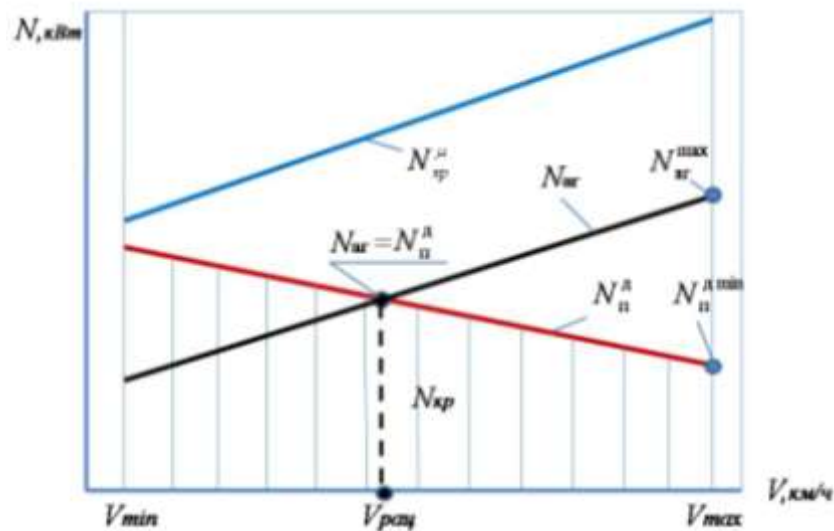


Рисунок 2.3 - Определение рациональной скорости движения агрегата в условиях достаточного сцепления при $N_{ар}^{max} > N_{п}^{д min}$

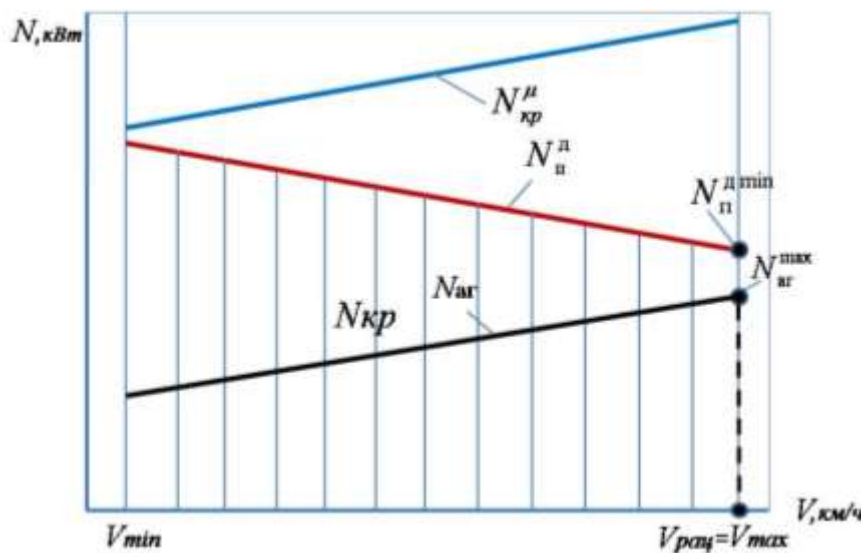


Рисунок 2.4 - Определение рациональной скорости движения агрегата в условиях достаточного сцепления при $N_{ар}^{max} \leq N_{п}^{д min}$.

2.4.2 **Второй вариант.** Если интервал агротехнически допустимых скоростей движения входит в зону **недостаточного сцепления** движителя трактора с почвой, т.е. $(V_{min} \dots V_{max}) \leq V_{N_{кр}^{max}}$, то и в этом случае возможны два решения: 1) при $N_{ар}^{max} > N_{кр}^{μ max}$ (рисунок 2.5) рациональную скорость $V_{рац}$ для тяговых агрегатов определяют по формуле (2.18);

2) при $N_{аз}^{max} \leq N_{кр}^{\mu max}$ (рисунок 2.6) рациональная скорость $V_{рац}$ равна максимально допустимой скорости по агротехническим требованиям V_{max} для рассматриваемого агрегата.

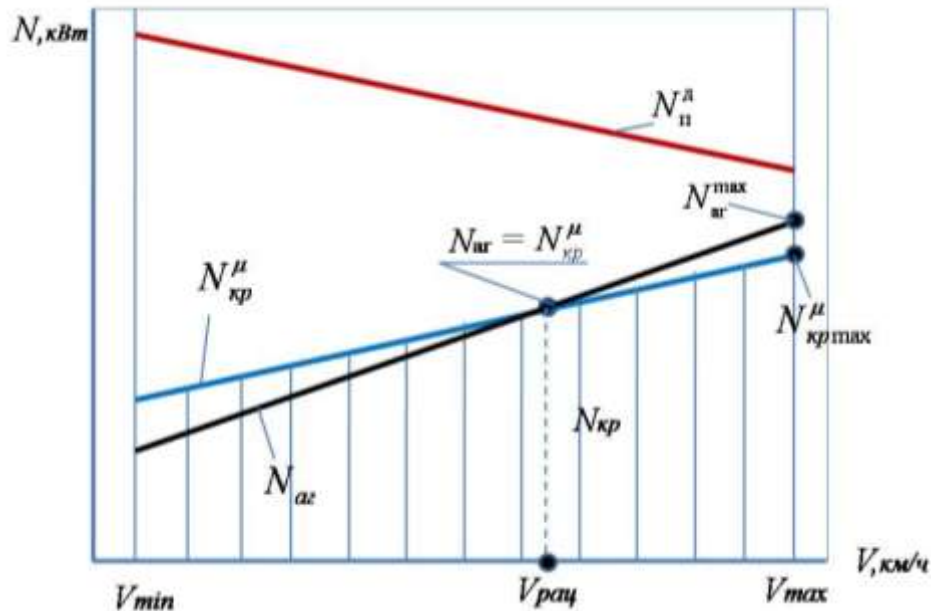


Рисунок 2.5- Определение рациональной скорости движения агрегата в условиях недостаточного сцепления при $N_{аз}^{max} > N_{кр}^{\mu max}$.

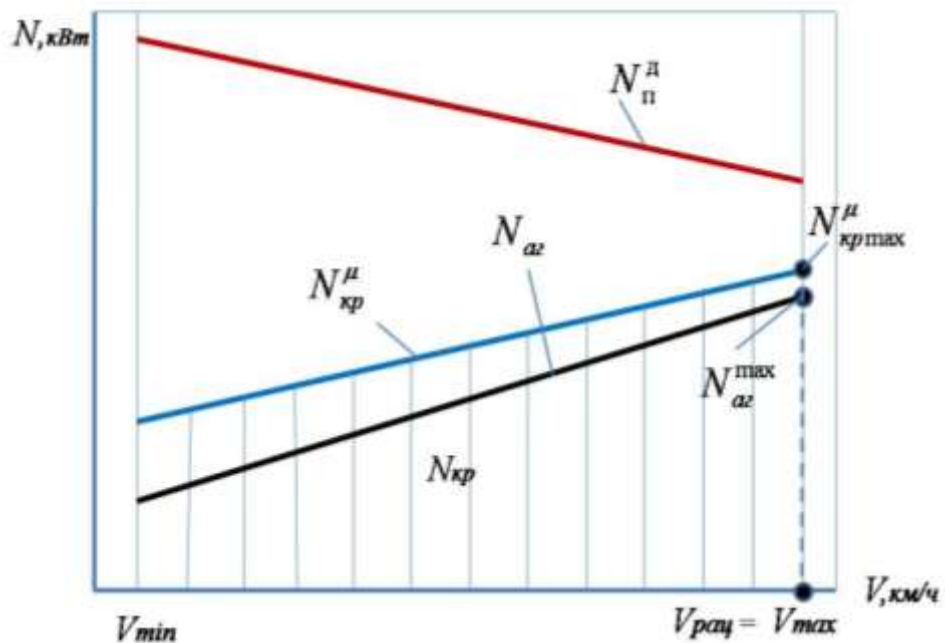


Рисунок 2.6 - Определение рациональной скорости движения агрегата в условиях недостаточного сцепления при $N_{аз}^{max} \leq N_{кр}^{\mu max}$.

При расчете комплексных (многофункциональных), пахотных или тягово-приводных агрегатов следует предусмотреть особенности определения $R_{аг}$ и $V_{рац}$, используя формулы 2.12...2.18.

2.4.3 Третий вариант. Если в результате выполненных расчетов окажется, что все значения мощности, необходимой для работы агрегата в заданных условиях ($N_{аг}^{min} \dots N_{аг}^{max}$) превышают значения полезной мощности двигателя трактора ($N_{п}^{д min} \dots N_{п}^{д max}$), либо превышают все значения тяговой мощности ($N_{кр}^{\mu min} \dots N_{кр}^{\mu max}$), определяемой сцепными свойствами трактора, то следует заключить, что рассматриваемый агрегат неработоспособен в заданных условиях.

В первом случае мощностные возможности двигателя трактора недостаточны для преодоления тягового сопротивления агрегируемой с ним сельскохозяйственной машины, во втором – сцепные свойства трактора в рассматриваемых условиях не обеспечивают реализацию в агрегате полезной мощности его двигателя.

3 Примеры расчетов по комплектованию энергосберегающих агрегатов

3.1 **Пример первый.** Выбор сельскохозяйственной машины при известном энергетическом средстве

Задача – Требуется скомплектовать машинно-тракторный агрегат для дискования стерни тяжелыми боронами на глубину 0,06 – 0,08м на базе трактора New Holland (Т-7030).

Исходная информация.

Для решения задачи формируем исходную информацию из справочных материалов, представленных в приложении.

По трактору New Holland: - колесная формула 4К4; эффективная мощность двигателя при номинальной частоте вращения коленчатого вала ($n_H=2200 \text{ мин}^{-1}$) $N_e^H = 121 \text{ кВт}$; удельный расход топлива $q_e^H = 205 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$; эксплуатационный вес $G=66 \text{ кН}$ (таблица П1); механический КПД трансмиссии $\eta_M = 0,915$; допустимый коэффициент буксования $\delta_D=15\%$ [2].

При дисковании стерни тяжелыми боронами на глубину 0,06 ... 0,08м среднее значение удельного тягового сопротивления составляет: $k_M=4,6 \text{ кН/м}$, а удельный вес дисковых борон - $q_M=11 \text{ кН/м}$. Агротехнически допустимые скорости движения ($V_{min} \dots V_{max}$) для таких агрегатов находятся в пределах 5...12км/ч (таблица П3).

Условия работы агрегата:

агрофон – стерня колосовых культур, коэффициент сцепления движителя трактора с почвой $\mu=0,80$, коэффициент сопротивления качению трактора $f=0,10$ (таблица П2), уклон поля $i=3\%$.

Решение задачи.

3.1.1 Рассмотрим тяговые возможности трактора New Holland в заданных условиях работы.

Возможную для реализации в агрегате тяговую (полезную) мощность определим по формуле (1.5),

$$N_{\Pi}^{\partial} = 121 \cdot 0,915(1 - 0,15) - \frac{66(5 \dots 12)}{3,6} (0,10 + 0,03) = 82,2 \dots 65,4 \text{кВт.}$$

Тяговую мощность, зависящую от сцепных свойств трактора, рассчитаем по формуле (1.9),

$$N_{кр}^{\mu} = \frac{66(5 \dots 12)[0,80 - (0,10 + 0,03)]}{3,6} - 121 \cdot 0,915 \cdot 0,15 = 44,8 \dots 130,8 \text{кВт.}$$

Скорость агрегата, при которой достигается максимальная тяговая мощность, вычислим по формуле (1.10),

$$V_{N_{кр}^{max}} = 3,6 \frac{121}{66 \cdot 1} \cdot \frac{0,915}{0,80} = 7,51 \text{ км/ч.}$$

Поскольку скорость $V_{N_{кр}^{max}}$ входит в агротехнически допустимые пределы, то в дальнейших расчетах будем использовать значение максимально возможной тяговой мощности, которое определим по формуле (1.11),

$$N_{кр}^{max} = 121 \cdot 0,915(1 - 0,15 - \frac{0,10 + 0,03}{1 \cdot 0,80}) = 76,39 \text{кВт.}$$

3.1.2 Определим удельную мощность, необходимую для работы агрегата (формула 2.6),

$$N_{y\partial} = \frac{7,51}{3,6} \left(4,6 + 11 \frac{3}{100} \right) = 10,3 \text{кВт/м.}$$

3.1.3 Оптимальную ширину захвата агрегата определим по формуле (2.5),

$$B_{opt} = \frac{76,39}{10,3} = 7,42 \text{м.}$$

По справочным данным (таблица П6), для рассматриваемой сельскохозяйственной работы наиболее близко подходит дисковая борона БДТ-7 с конструктивной шириной захвата $B = 7\text{м}$ и весом $G_M = 38\text{кН}$.

3.1.4 Тяговое сопротивление этой бороны определяем по формуле (2.12) для условия движения агрегата вверх по уклону поля,

$$R_{ae} = 4,6 \cdot 7 + 38 \cdot \frac{3}{100} = 33,3\text{кН}.$$

3.1.5 Необходимая для работы агрегата тяговая мощность трактора в агротехнически допустимом диапазоне скоростей (согласно формуле 2.11) составит:

$$N_{ae} = \frac{5 \dots 12}{3,6} \cdot 33,3 = 46,25 \dots 111,00\text{кВт}.$$

3.1.6 Рациональную скорость движения агрегата определим по формуле (2.17),

$$V_{paц} = 3,6 \frac{121 \cdot 0,915 \cdot (1 - 0,15)}{33,3 + 66 \cdot (0,10 + 0,03)} = 8,09\text{км/ч}.$$

3.1.7 Требуемую для работы агрегата мощность (N_{ae}) при скорости ($V_{paц}$), согласно формуле 2.11, определим из выражения:

$$N_{ae} = \frac{R_{ae} V_{paц}}{3,6}. \quad (3.1)$$

$$N_{ae} = \frac{33,3 \cdot 8,09}{3,6} = 74,8 \text{ кВт}.$$

3.1.8 Графоаналитическое решение задачи представляем на рисунке 3.1.

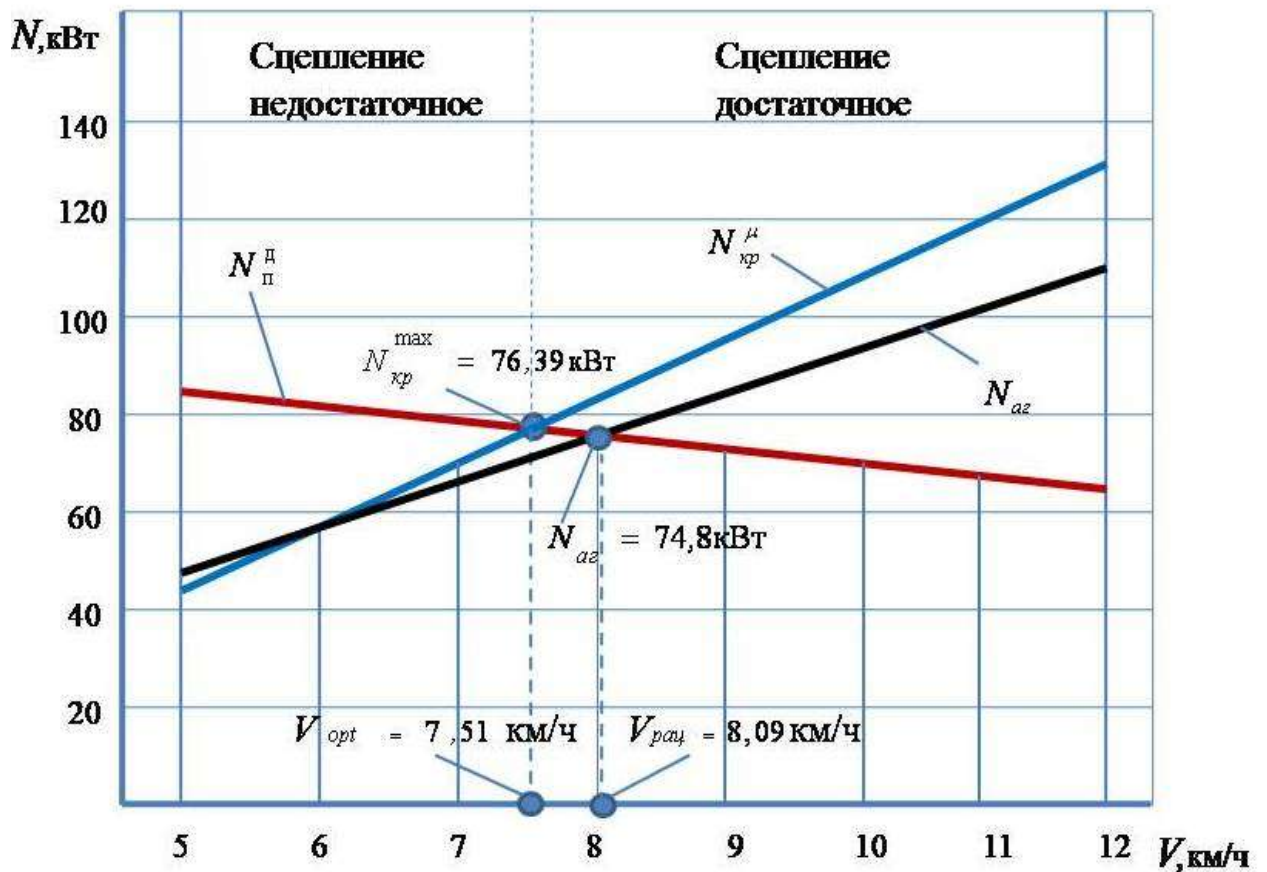


Рисунок 3.1 – Графоаналитическое определение рационального режима работы агрегата New Holland (Т-7030)+БДТ-7

3.1.9 Коэффициент использования тяговой мощности (см. формулу 2.19) составит:

$$\eta_{ум} = \frac{74,8}{76,39} = 0,98.$$

3.1.10 Тяговый КПД трактора (формула 2.22) при этом будет равен:

$$\eta_{т} = \frac{74,8}{121,0} = 0,62,$$

а максимально возможный тяговый КПД трактора (см. формулу 1.14) в рассматриваемых условиях работы агрегата составит:

$$\eta_{т}^{max} = \frac{76,39}{121,0} = 0,63.$$

3.1.11 Используемую эффективную мощность двигателя трактора определим по формуле (2.24),

$$N_e = \frac{8,09}{3,6} \left\{ 33,3 \left[2 - 0,915 \left(1 - \frac{15}{100} \right) \right] + 66 \left(0,1 + \frac{3}{100} \right) \right\} = 110,6 \text{ кВт} .$$

3.1.12 Коэффициент загрузки двигателя трактора вычислим по формуле (2.23):

$$\eta_z = \frac{110,6}{121,0} = 0,91.$$

Как видно из расчетов, в рассматриваемых условиях работы агрегата значение тягового КПД трактора (η_T) близко к максимально возможному (η_T^{max}), а значения коэффициентов использования тяговой мощности (η_{UM}) и загрузки двигателя (η_z) также удовлетворяют критериям энергосбережения (см. формулы 1.13, 1.14, 1.17). Поэтому можно заключить, что агрегат, состоящий из трактора New Holland T-7030 и дисковой бороны БДТ-7, работающий со скоростью 8,09 км/ч, обеспечит в рассматриваемых условиях минимум энергозатрат.

3.1.13 Расчетная производительность агрегата за один час «чистой» работы (см. формулу 2.19) составит:

$$W = 0,1 \cdot 7,0 \cdot 8,09 = 5,66 \text{ га/ч}.$$

3.1.14 Расчетный расход топлива (формула 2.20) на единицу выполняемой работы будет равен:

$$q_p = \frac{10^{-3} \cdot 205 \cdot 121}{5,66} = 4,38 \text{ кг/га}.$$

3.1.15 Удельные энергозатраты рассчитаем по формуле (2.21),

$$\mathcal{E}_y^{ea} = 42,7 \cdot 4,38 = 187,1 \text{ МДж/га}.$$

3.2 Пример второй. Выбор энергосредства для работы с известной сельскохозяйственной машиной

Задача – Требуется комплектовать машинно- тракторный агрегат для «гладкой» вспашки почвы на глубину 0,25м полунавесным оборотным плугом Квернеланд PN – 100 по дискованной стерне на поле с уклоном 5%.

Исходная информация.

Плуг Квернеланд PN – 100 (7+1) со ступенчатой регулировкой ширины захвата корпусов (0,35; 0,40; 0,45м) и возможностью изменения их количества (7+1). Эксплуатационный вес базовой модели плуга $G_{пл}=36,4\text{кН}$, агротехнически допустимые рабочие скорости движения ($V_{min}...V_{max}$) находятся в пределах от 4 до 8км/ч (таблица П6), удельное тяговое сопротивление плуга (почвы) $k_{пл}=60\text{кН/м}^2$ (таблица П4).

Условия использования трактора:

предполагается использовать трактор, имеющий гусеничный движитель, у которого механический КПД трансмиссии $\eta_m=0,87$; допустимый коэффициент буксования $\delta_\delta=5\%$; коэффициент использования сцепного веса $\lambda=1$, коэффициент сцепления движителя трактора с почвой $\mu= 0,85$, коэффициент сопротивления качению трактора $f=0,11$ (таблица П2).

Решение задачи.

3.2.1 Рассмотрим восьмикорпусной вариант плуга с шириной захвата одного корпуса 0,4м. Конструктивная ширина захвата в этом случае будет равна $B_{пл}=3,2\text{м}$. Тяговое сопротивление плуга определим по формуле 2.14,

$$R_{аз} = 3,2 \cdot 60 \cdot 0,25 + 36,4 \cdot 0,05 = 49,8\text{кН}.$$

3.2.2 Мощность, необходимую для работы плуга в агротехнически допустимом диапазоне скоростей при заданных условиях, определим по формуле (2.11),

$$N_{ae} = 49,8 \cdot \frac{4 \dots 8}{3,6} = 55,3 \dots 110,6 \text{ кВт.}$$

3.2.3 Требуемая мощность двигателя трактора, согласно формуле (2.30), должна находиться в пределах:

$$N_e^{min} \dots N_e^{max} = \frac{55,3 \dots 110,6}{0,87 \left(1 - 0,05 - \frac{0,11 + 0,05}{1 \cdot 0,85} \right)} = 85,6 \dots 171,2 \text{ кВт.}$$

3.2.4 Для обеспечения достаточных сцепных свойств эксплуатационный вес трактора (формула 2.31) должен быть в пределах:

$$G_{min} \dots G_{max} = \frac{3,6(85,6 \dots 171,2)0,87}{(4 \dots 8) \cdot 1 \cdot 0,85} = 39,4 \dots 157,7 \text{ кН.}$$

3.2.5 Ориентируясь на технические характеристики современных тракторов (таблица П1), остановим свой выбор на тракторе тягового класса 4 Алтайского тракторного завода - Т-402А(1), у которого номинальная эффективная мощность двигателя $N_e^H = 117 \text{ кВт}$, эксплуатационный вес - $G = 88,3 \text{ кН}$, удельный расход топлива $q_e^H = 224 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$.

3.2.6 Максимально возможная тяговая мощность этого трактора в рассматриваемых условиях (согласно формуле 1.11) будет равна:

$$N_{кр}^{max} = 117 \cdot 0,87 \left(1 - \frac{5}{100} - \frac{0,11 + 0,05}{0,87} \right) = 78,3 \text{ кВт.}$$

3.2.7 Рациональную скорость выбранного пахотного агрегата определим по формуле (2.17),

$$V_{рац} = \frac{3,6 \cdot 117 \cdot 0,87(1 - 0,05)}{49,8 + 88,3(0,11 + 0,05)} = 5,45 \text{ км/ч.}$$

(При наличии данных, можно определить основную рабочую передачу в КПП трактора, на которой обеспечивается рациональная скорость).

3.2.8 Требуемая для работы агрегата мощность (формула 3.1): при скорости $V_{рац}$ составит:

$$N_{аг} = \frac{49,8 \cdot 5,45}{3,6} = 75,4 \text{ кВт.}$$

3.2.9 Представим решение рассматриваемой задачи в графоаналитической форме (рисунок 3.2).

Для этого определим тяговые возможности выбранного трактора в заданных условиях.

3.2.9.1 Возможную для реализации в агрегате тяговую (полезную) мощность рассчитаем по формуле (1.5),

$$N_{п}^{\partial} = 117 \cdot 0,87(1 - 0,05) - \frac{88,3 \cdot (4 \dots 8)}{3,6} (0,11 + 0,05) =$$

$$81,0 \dots 65,3 \text{ кВт.}$$

3.2.9.2 Тяговую мощность, зависящую от сцепных свойств трактора, определим по формуле (1.9),

$$N_{кр}^{\mu} = \frac{88,3(4 \dots 8)[0,85 - (0,11 + 0,05)]}{3,6} - 117 \cdot 0,87 \cdot 0,05 =$$

$$61,6 \dots 130,6 \text{ кВт.}$$

3.2.9.3 Мощность, необходимая для работы плуга, определена по формуле 2.11 в п.п. 3.2.2.

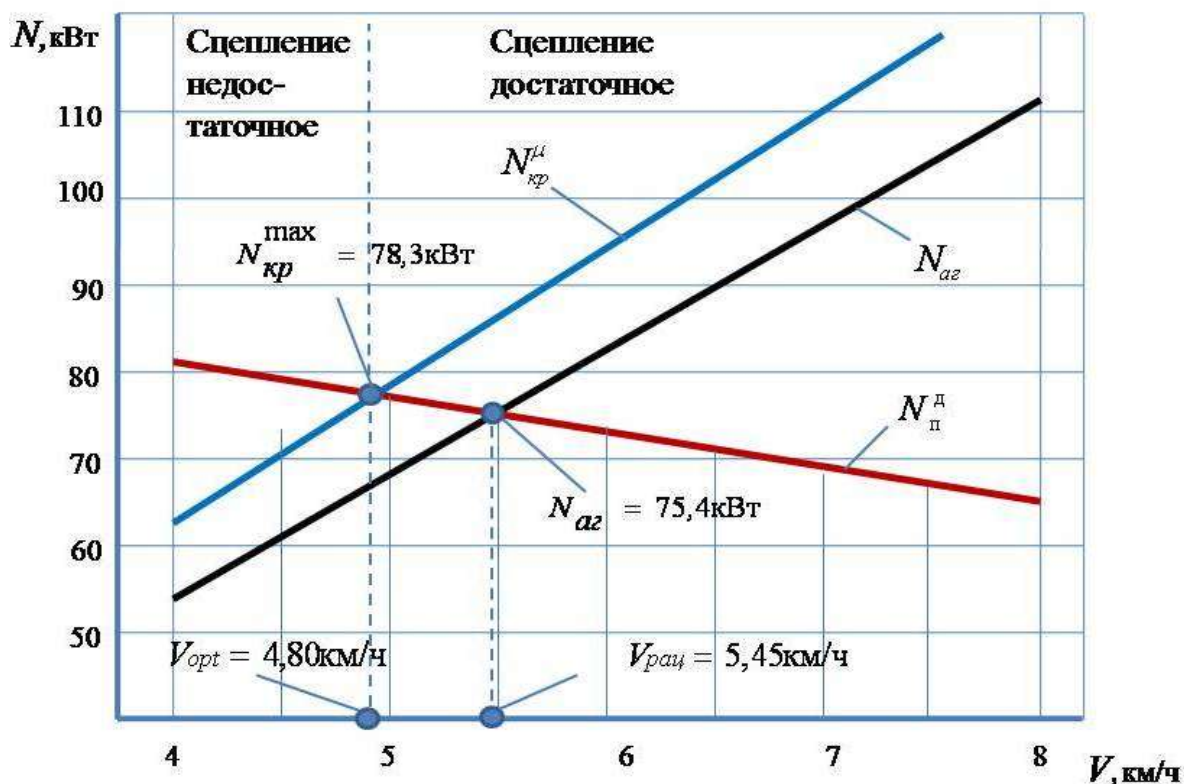


Рисунок 3.2 – Графоаналитическое определение рациональной скорости движения пахотного агрегата Т-402А(1)+ РН – 100 в заданных условиях

3.2.10 Коэффициент использования тяговой мощности (см. формулу 1.13) составит :

$$\eta_{им} = \frac{75,4}{78,3} = 0,96,$$

3.2.16 Тяговый КПД трактора (формула 2.22) при этом будет равен:

$$\eta_{т} = \frac{75,4}{117,0} = 0,64,$$

а максимально возможный тяговый КПД трактора (см. формулу 1.12) в рассматриваемых условиях работы агрегата составит:

$$\eta_T^{max} = \frac{78,3}{117,0} = 0,67.$$

3.2.17 Используемую эффективную мощность двигателя трактора определим по формуле (2.24),

$$N_e = \frac{5,45}{3,6} \left\{ 49,8 \left[2 - 0,87 \left(1 - \frac{5}{100} \right) \right] + 88,3 \left(0,11 + \frac{5}{100} \right) \right\} = 109,3 \text{ кВт}.$$

3.2.18 Коэффициент загрузки двигателя трактора вычислим по формуле (2.23):

$$\eta_z = \frac{109,3}{117,0} = 0,93.$$

Как видно из полученных результатов, выбранный трактор Т-402А(1) для работы с плугом РН-100 (7+1) (восьмикорпусной вариант с шириной захвата корпуса 0,4м) при рабочей скорости 5,45км/ч в заданных условиях удовлетворяет условиям энергосбережения. В тоже время, для нахождения оптимального решения следует рассмотреть и другие варианты агрегатирования. Например, выбрать другую марку трактора, отвечающую требованиям, определенным в п.п. 3.2.3 и 3.2.4, или рассмотреть иную комплектацию плуга РН-100 (7+1) с меняющейся рабочей шириной захвата. Оптимальным, при заданных условиях работы, будет тот вариант агрегата, при котором достигается максимальная производительность и минимальный расход топлива на единицу выполняемой работы.

3.2.19 Расчетная производительность агрегата за один час «чистой» работы (см. формулу 2.19) составит:

$$W = 0,1 \cdot 3,2 \cdot 5,45 = 1,74 \text{ га/ч}.$$

3.2.20 Расчетный расход топлива на единицу выполняемой работы, (формула 2.20), составит:

$$q_p = \frac{10^{-3} \cdot 224 \cdot 117,0}{1,74} = 15,06 \text{ кг/га.}$$

3.2.21 Удельные энергозатраты рассчитаем по формуле (2.21),

$$\mathcal{E}_y^{2a} = 42,7 \cdot 15,06 = 643,1 \text{ МДж/га.}$$

3.3 Пример третий. Определение рационального режима работы существующего агрегата в заданных условиях

Задача – Определить рациональный режим работы агрегата, состоящего из трактора ХТЗ-150К и дискового комбинированного агрегата ДАКН-3,3Н.

Исходная информация.

Сельскохозяйственная работа – предпосевная обработка почвы на глубину 0,14м.

Условия работы: агрофон – поле, мульчированное пожнивными остатками; рельеф ровный ($i=0\%$).

Необходимые для расчетов данные по рассматриваемому агрегату формируем из справочных материалов, представленных в приложении:

- по трактору ХТЗ-150К – колесная формула 4К4; номинальная эффективная мощность двигателя $N_e^H=128,8\text{кВт}$; удельный расход топлива $q_e^H=234 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$; эксплуатационный вес трактора $G=83,5 \text{ кН}$; коэффициент использования сцепного веса $\lambda=1$; механический КПД трансмиссии $\eta_m=0,915$; коэффициент сцепления движителя с почвой $\mu=0,75$; коэффициент сопротивления качению $f=0,12$; допустимый коэффициент буксования $\delta_d=15\%$;

- по агрегату ДАКН-3,3Н – навесной комбинированный агрегат, включающий в себя дискатор с удельным тяговым сопротивлением $k_d=3,6\text{кН/м}$, два ряда ножевых борон ($k_b=1,2\text{кН/м}$), планчатый каток ($k_k=0,7\text{кН/м}$). Конструктивная ширина захвата $B_{ар}=3,3\text{м}$, агротехнически допустимые скорости движения ($V_{min} \dots V_{max}$)= (9...15)км/ч.

Решение задачи.

Задача сводится к определению рациональной скорости движения агрегата, при которой тяговый КПД трактора η_T приближается к максимально возможному в заданных условия η_T^{max} , а коэффициент использования тяговой мощности $\eta_{ум}$ близок к единице.

3.3.1 Определим тяговые возможности трактора в заданных условиях.

3.3.1.1 Тяговую (полезную) мощность трактора в диапазоне скоростей (9...15)км/ч определим по формуле (1.5),

$$N_{п}^D = 128,8 \cdot 0,915(1 - 0,15) - \frac{83,5(9 \dots 15)}{3,6} 0,12 = 75,1 \dots 58,5\text{кВт.}$$

3.3.1.2 Тяговую мощность, зависящую от сцепных свойств трактора, определим по формуле (1.9),

$$N_{кр}^{\mu} = \frac{83,5(9 \dots 15)(1 \cdot 0,75 - 0,12)}{3,6} - 128,8 \cdot 0,915 \cdot 0,15 = 113,7 \dots 201,3\text{кВт.}$$

Как видно из полученных результатов, во всем диапазоне скоростей сцепление движителя трактора с почвой достаточное, т.е. $N_{кр}^{\mu} > N_{п}^D$.

3.3.2 Определим тяговое сопротивление агрегата по формуле (2.13),

$$R_{аз}=3,3 (3,6+1,2+0,7)=18,8\text{кН.}$$

3.3.3 Необходимая тяговая мощность для работы агрегата в допустимом диапазоне скоростей определяется из выражения (2.11),

$$N_{аэ} = \frac{18,8 \cdot (9 \dots 15)}{3,6} = 46,8 \dots 78,0 \text{ кВт.}$$

3.3.4 Рациональную скорость агрегата определяем по формуле (2.17), поскольку $N_{аэ}^{max} > N_{п.min}^{\partial}$ (см. п. 2.14, первый вариант).

$$V_{рац} = \frac{3,6 \cdot 128,8 \cdot 0,915(1 - 0,15)}{18,8 + 83,5 \cdot 0,12} = 12,8 \text{ км/ч.}$$

3.3.5 Мощность $N_{аэ}$, необходимую для работы агрегата в рассматриваемых условиях при рациональной скорости $V_{рац}$, определим по формуле (3.1):

$$N_{аэ} = \frac{18,8 \cdot 12,8}{3,6} = 66,8 \text{ кВт.}$$

3.3.6 Графоаналитическое решение этой задачи представляем на рисунке 3.3.

3.3.7 Коэффициент использования тяговой мощности (см. формулу 1.13) будет равен:

$$\eta_{ум} = \frac{66,8}{75,1} = 0,89.$$

3.3.8 Тяговый КПД трактора (формула 2.22) составит:

$$\eta_{т} = \frac{66,8}{128,8} = 0,52,$$

при максимально возможном в рассматриваемых условиях (формула 1.12):

$$\eta_{т}^{max} = \frac{75,1}{128,8} = 0,58.$$

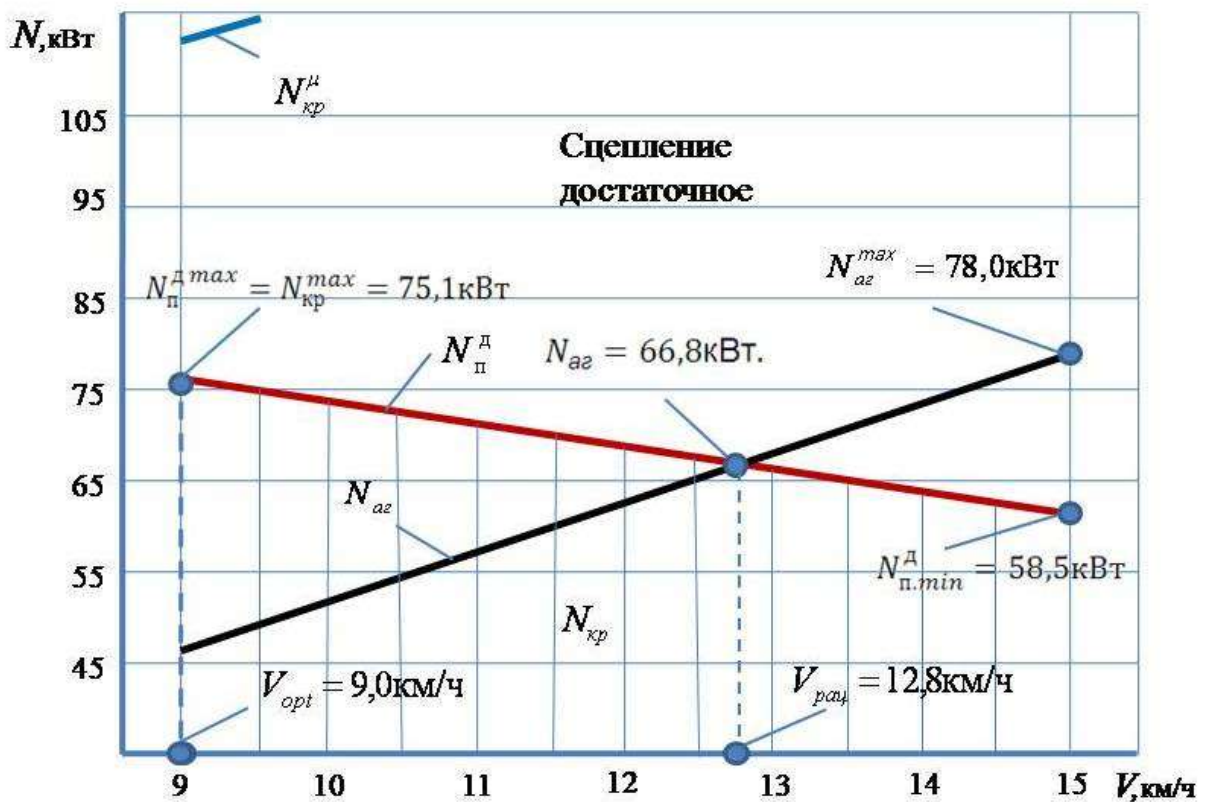


Рисунок 3.3 – Графоаналитическое определение параметров процесса работы агрегата ХТЗ-150К+ДАКН-3,3Н

3.3.9 Используемую эффективную мощность двигателя трактора определим по формуле (2.24),

$$N_e = \frac{12,8}{3,6} \left\{ 18,8 \left[2 - 0,915 \left(1 - \frac{15}{100} \right) \right] + 83,5 \cdot 0,12 \right\} = 117 \text{ кВт}.$$

3.3.10 Коэффициент загрузки двигателя трактора вычислим по формуле (2.23):

$$\eta_z = \frac{117,0}{128,8} = 0,91.$$

Анализируя результаты расчетов, можно сделать вывод, что в заданных условиях работы рассматриваемого агрегата с выбранной (рациональной) скоростью движения обеспечивается наиболее полное использо-

вание тяговых возможностей трактора и, следовательно, минимум энергозатрат.

Однако следует отметить, что рассматриваемый состав агрегата нельзя назвать оптимальным, т.к. существенно недоиспользуются тяговые возможности трактора.

3.3.11 Расчетная производительность агрегата за один час «чистой» работы (см. формулу 2.19) составит:

$$W = 0,1 \cdot 3,3 \cdot 12,8 = 4,22 \text{ га/ч.}$$

3.3.9 Расчетный расход топлива на единицу выполняемой работы (формула 2.21) составит:

$$q_p = \frac{10^{-3} \cdot 234 \cdot 128,8}{4,22} = 7,14 \text{ кг/га.}$$

3.3.10 Удельные энергозатраты рассчитаем по формуле (2.21),

$$\mathcal{E}_y^{ea} = 42,7 \cdot 7,14 = 304,9 \text{ МДж/га.}$$

Список использованных источников

1. Автоматизированная справочная система «Сельхозтехника» [Электронный ресурс] /АГРОБИЗНЕС. КОНСАЛТИНГ. – Электрон. дан. info@agrobases.ru. – Режим доступа: [http //www\ agrobases.ru](http://www.agrobases.ru), свободный. – Загл. с экрана.
2. Зангиев А. А. Практикум по эксплуатации машинно-тракторного парка /А. А. Зангиев, А. Н. Скороходов. – М.: «КолосС», 2006. – 317 с.
3. Карабаницкий А.П. Современный подход к вопросу комплектования машинно-тракторных агрегатов /А. П. Карабаницкий, В. А. Жихарь //Тр./ КубГАУ. – 2009. – Вып. №3(18). – С. 193-196.
4. Маслов Г.Г. Практикум по эксплуатации машинно-тракторного парка /Г. Г. Маслов [и др.] – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 326 с.
5. Научно-аналитический обзор результатов испытаний на МИС. Почвообрабатывающие машины /под ред. А. Т. Табашникова. – Новокубанск: ФГНУ «РосНИИТиМ», 2007. – 91 с.
6. Нормативно-справочные материалы по планированию работ в сельскохозяйственном производстве: Сборник. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 316 с.
7. Отчет №86-2008 о научно-исследовательской работе по теме «Исследование вариантов технологий сберегающего земледелия (минимальной, нулевой) в научном севообороте с оценкой экономической эффективности и ресурсосбережения». – Новокубанск: ФГНУ «РосНИИТиМ», 2008. – 48 с.
8. Справочник инженера-механика сельскохозяйственного производства. В 2 ч. Ч. 1. /под ред. С. М. Бунина – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – 340 с.
9. Эксплуатационные показатели новых технических средств для растениеводства (рекомендации) /А. Т. Табашников [и др.] – Краснодар: ФГОУ ВПО «Кубанский ГАУ», 2005. – 60с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Справочные материалы

(Сформированы на основе обобщения данных,
представленных в вышеуказанных источниках)

Таблица П1 ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТРАКТОРОВ

Гусеничные тракторы

Марка (модель)	Модельный ряд	Эффективная мощность двигателя N _е , кВт	Эксплуатационный вес (базовый), кН	Запас крутящего момента, %	Номинальная частота вращения к/в двигателя, мин ⁻¹ .	Удельный расход топлива г/кВт·ч	Диапазон скоростей движения, км/ч	Колея, мм	Габариты, мм (длина × ширина)	Примечание (производитель, ориентировочная цена)
Т я г о в ы й к л а с с 2										
Trekker	60F	43,5	27,1	30*	2000*	220*	1,0 – 12,0*	1300	3500×1700	Италия
	75F	50,2	38,0							
	85STD	60,6	41,2							
	95STD	67,6	46,2							
	105STD	72,5	46,9							
Agroclimber	V70	51,5	31,0	30*	2000	215*	1,5 – 16,0*	1300*	3300×1600*	Германия, от 2,0 до 2,7 млн. руб.
	V80	56,0	33,0							
	F90	64,0	40,5							
	F100	70,0	41,5							
	105	75,0	52,0							
New Holland TDK	80	58,5	41,0	33	2500	213	1,7 – 11,9	1350*	3356×1450	Транснацио- нальные корпо- рации
	90	65,5	41,5			218				
	100	69,0	49,5			201				
T-70	С, СМ-4	51,5	42	15*	2100	262	1,6 -11,4	1350	3300×1650	Молдова ≈ 1 млн.руб.
	СМ-В4		39					1100	3350×1400	
Т я г о в ы й к л а с с 3										
ВТЗ	ДТ-75Е	66,0	69,5	35	1750	238	3,7 - 11,2	1330	4530×1850	Волгоградский ТЗ от 0,9 до 1,5 млн.руб.
	ДТ-75М	66,2	61,1							
	ДТ-75	80,9	66,2		1800		5,3 – 11,2			
	ВТ-100Д	88,0	73-77,0				234		4,67 – 14,6	

Марка (модель)	Модельный ряд	Эффективная мощность двигателя N _е , кВт	Эксплуатационный вес (базовый), кН	Запас крутящего мо- мента, %	Номинальная частота вращения к/в дви- гателя, мин ⁻¹ .	Удельный расход топлива г/кВт·ч	Диапазон скоростей движения, км/ч	Колея, мм	Габариты, мм (длина × ширина)	Примечание (производитель, ориентировочная цена)
ХТЗ	T-150	110,4	69,8	20*	2000	240	4,26-15,31	1435	5000×1880	Харьковский ТЗ от 1,59 до 1,91 млн.руб.
	T-150-05-09	128,7	81,5		2100	220				
	ХТЗ-181(07)	139,7	90,5							
Т я г о в ы й к л а с с 4										
МТЗ	2102	156,0	108,0	15	2100	227	2,3 - 30	1600	6050×2085	Минский ТЗ
ВТ	150Д	110,0	78,2	40	1850	215	6,4 – 15,5	1330	5400×1850	Волгоградский ТЗ
	170Д	120,0		30	2000		5,3 – 16,7			
Алтайский трактор	T-4-01	95,7	80,8	25	2000*	224	2,22 – 9,32	1384	4650×1952	1,32 млн.руб.
	T-402A(01)	117(110)	88,3	40	1850*		2,67 – 11,94		4880×1820	1,55 млн.руб.
Т я г о в ы й к л а с с 5 и в ы ш е										
Алтайский трактор	T404	110,0	109,5	40	2100*	238	3,08 – 15,4	1720	6200×2250	Алтайский тракт- торный завод
	T-501	147,2	114,0			234	3,63 – 16,36			
	T-250	184,0	120,0	20		224	4,60 – 17,9			
	A-600	220,8	125,0	30		228	5,06 – 19,51			
ВТ	200	158,0	92,0	20	2000	210	0,5 – 17,0	1570	5600×2050	Волгоградск.ТЗ
Challenger	MF-700	200 – 238	117,6	42	1800	2000 *	6,0 – 15,0	2235 – 2936	6989×3036	Великобритания
	MF-800	260 - 424	>130*							
John Deere 9020T	9320T	280	176,9	38	2100	210*	4,8 – 12,0 транспорт- ная ско- рость до 35	1800*	6832×3454	Транснацио- нальные корпо- рации
	9420T	317								
	9520T	336								
John Deere 9030T	9430T	327	195,0	38	2100	210*	4,8 – 12,0 транспорт- ная ско- рость до 35	1800*	6832×3454	Транснацио- нальные корпо- рации
	9530T	366								
	9630T	405								

К о л е с н ы е т р а к т о р ы

Марка (модель)	Модельный ряд	Колесная формула	Эффективная мощность двигателя N _е , кВт	Эксплуатационный вес, кН(базовый)	Запас крутящего мо- мента, %	Номинальная частота вращения к/в двигателя, мин ⁻¹ .	Удельный расход топлива г/кВт·ч	Диапазон скоростей движения, км/ч	Колея, мм	Габариты, мм длина × ширина	Минимальный радиус поворота, м	Примечание (производитель, ориентировочная цена)	
Т я г о в ы й к л а с с ≤0,9													
ВТЗ	Т – 25А	2К4	18,4	17,8	15*	1800	247	6,08 -14,6	1210-1522	3470×1660	2,9	Владимирский ТЗ ≈0,36 млн.руб.	
	Т-30А-80	4К4	22,1	24,9		200	245	1,52 – 23,86		2900×1550			
	203А(-10)	2К4 (4К4)		23,9									3180×1560
МТЗ	320	2К4	26,5	17,0	12	3000	290	1, - 25,0	1250-1410	2900×1550	3,7	Минский ТЗ	
	422	4К4	36,6	22,05	15					3115×1570	3,8		
ХТЗ	3510-03	2К4	25,7	21,0	15*	2000*	245	1,37 – 30,25	1100-1500	3280×1420	3,5	Харьковский ТЗ	
Foton	200А	2К4	14,7	15,0*	35*	2350	266	2,37–33,82	1200-1500*	2663×1250	3,5*	КНР	
	250А	2К4	18,4	20,0*				1,96– 29,25		2757×1250			
Т я г о в ы й к л а с с от 0,9 до 1,4													
ВТЗ	30-СШ	2К4	22,1	24,4	20*	2000	245	3,42-30,0	1314-1484	4205×1630	3,5*	Владимирский ТЗ ≈0,39 млн.руб.	
	Т-45А(50)	4К4	33,1	26,0				1,53-23,86		1210-1522			3470×1660
	204А	2К4	35,3	27,5						3300×1675			
МТЗ-500	510(2)	2К4	42,0	34,3	15	1700	225	1,40-26,50	1400-1900	3850×1970	3,8	Минский ТЗ	
	520(2)	(4К4)	46,0	36,4		1800	220		1400-2100	3950×1970	4,1		
ЛТЗ	60А	4К4	42,3	30*	15*	2000	245	3,42-30	1375-1835	3920×1710	3,5*	Липецкий ТЗ 0,466 млн.руб	
	60АБ		44,1										
Massey Ferguson MF-2400	MF-2405	2К4	24,5	12,5	30*	3000	220*	0,74-30,0	1100-1280*	3065×1036	3,5*	Великобритания	
	MF-2410		29,0	13,0									
	MF-2415		34,5	13,2									

Марка (модель)	Модельный ряд	Колесная формула	Эффективная мощность двигателя N _e , кВт	Эксплуатационный вес, кН(базовый)	Запас крутящего мо- мента, %	Номинальная частота вращения к/в двигателя, мин ⁻¹ .	Удельный расход топлива г/кВт·ч	Диапазон скоростей движения, км/ч	Колея, мм	Габариты, мм длина × ширина	Минимальный радиус поворота, м	Примечание (производитель, ориентировочная цена.)
Т я г о в ы й к л а с с от 1,4 до 2,0												
Беларус	MT3-80 (82)	2К4 (4К4)	60,0	38,7	15	2200	220	2,05-27,3	1400-2100	4020×2370	4,3 (4,9)	Минский ТЗ от 0,656 до 1,000 млн.руб
	82.1 (826)	4К4	60,0	40,0	15	2200	220	1,9-34,3		3930×1970	4,1	
	920 (922.3)	2К4 (4К4)	62,0 (70,0)	41,0 (43,0)	25 (15)	1800	220	2,5-36,6 (2,6-37,1)		3970×1970	4,1 (4,5)	
	1021 (1021.3)	4К4	77,0 (81,0)	51,9	15 (25)	2200	226 (229)	2,61-37,46	1420-1800	4190×2250	4,36	
ЛТЗ	65Б	4К4	65	43,8	15*	1800	230*	2,13-38,6	1420-1800	4200×1950	4,7	Липецкий ТЗ
	120Б		91	44,3								
ЮМЗ	6АКМ	4К4	47,8	38,0	15*	1800	235	1,49-32,35	1350-1900	4165×1884	4,5*	Украина от 0,400 до 0,750 млн. руб.
	8240		47,4	43,7		2200		2,94-30,45				
	8040.2		61,1	41,3		239		1,52-33,08				
	10240		74,0	45,3		2,94-30,45						
ВТЗ	Т-85	4К4	62,5	38,0	15*	2100	235	1,47-37,72	1400-1800*	3900×1800	4,3*	Владимирск.ТЗ
Massey Ferguson	MF-400	4К4/ 2К4	55-74	34-42	25*	2200	220*	0,9-40,0	1410-2110	3410×1810	4,1*	Великобритания
	MF-5300		61-89	33-35		2200				4010×2140		
	MF-4400		54-72	50-90		2270				4060×2140		
New Holland	TND-A	2К4 (4К4)	66,0	32?5	20- 40	2300	220*	0,8-40,0	1430-2134	3750×2000	3,85	Транснацио- нальные корпо- рации
	T6000		93,0	от 50		2200			1352-1957	4292×1830	4,35	
	ТМ		142,0	до 120		2200			1840-2000	4694×2100	4,5*	
John Deere	5020	4К4	53-65	35-50	34	2200*	210*	3,3-40,0	-	3950×2175	4,0*	-«-
Agroplus S	70	4К4	51,5	21,9	22	2200*	210*	4,-40,0	995-1270	2905×1760	3,08	Германия, 2,250
	100		70	24,7					31	985-1260	3085×1905	

Марка (модель)	Модельный ряд	Колесная формула	Эффективная мощность двигателя N _е , кВт	Эксплуатационный вес, кН(базовый)	Запас крутящего мо- мента, %	Номинальная частота вращения к/в двигателя, мин ⁻¹ .	Удельный расход топлива г/кВт·ч	Диапазон скоростей движения, км/ч	Колея, мм	Габариты, мм длина × ширина	Минимальный радиус поворота, м	Примечание (производитель, ориентировочная цена.)		
Т я г о в ы й к л а с с от 2,0 до 3,0														
Беларус	1221(3)	4К4	96 (100)	53	20 (25)	2100	226 (245)	2,1-33,8	1500-2265	4950×2250	5,3	Минский ТЗ от 1,5 до 2,0 млн.руб		
	1523		60,0	40,0	15	2200	220	1,73-32,0	1610-2440	4750×2250	5,5			
ЛТЗ	ЛТЗ-140	4К4	103	53-90	30	2000	230	2,4-40,5	1500-2200	4480×2915	5,3	Липецкий ТЗ		
	ЛТЗ-155.4		110	59,81	15*	1850		2,1-35,0	1500-2265	5100×2765				
Massey Ferguson	MF-600	4К4/ 2К4	102- 123	54,2- 60,0	30*	2200	220*	0,9-50,0	1600-2000	4630×2910	9,42- 12,4	Великобритания		
	MF-7400		88-140	59,3- 67,7						4700×2550				
	T6000		93,0	от 50						1352-1957			4292×1830	4,35
	TM		142,0	до 120						1840-2000			4694×2100	4,5*
John Deere	620	4К4	66-118	44-110	35- 40	2200*	210*	0,8-45,0	1800-1900*	4728×2382	4,9*	Транснацио- нальные корпо- рации		
	7710/7810		118- 129	69,6	45	2300*				5100×2485				
New Holland	N-7500	4К4	104- 144	63,9- 115	38	2100	210*	до 50,0	1800-1900	4740×2490	5,4			
Challenger	WT-500	4К4	107,5- 142,8	75,0- 94,7	30*	2300	220*	1,5-45,0*	1700-2108	5400×2986	5,7- 6,3	Великобритания		
Agrotron	M	4К4	89-133	54,6- 110,0	35- 53	2100	210*	0,38-50,0	1800-2200*	4800×2200	4,95- 5,8	Германия, от 4, до 6,0 млн.руб.		
	120— 180.7		80-120			2350								
Agrotrac	125	4К4	92,4	49,4	35,7	2350	220*	0,5-30,0	1700-2200	4275×2670	5,4			
	150		115,5	57,6	34	2300								

Марка (модель)	Модельный ряд	Колесная формула	Эффективная мощность двигателя N _е , кВт	Эксплуатационный вес, кН(базовый)	Запас крутящего мо- мента, %	Номинальная частота вращения к/в двигателя, мин ⁻¹ .	Удельный расход топлива г/кВт·ч	Диапазон скоростей движения, км/ч	Колея, мм	Габариты, мм длина × ширина	Минимальный радиус поворота, м	Примечание (производитель, ориентировочная цена.)
Т я г о в ы й к л а с с о т 3,0 до 5,0												
ХТЗ	150К	4К4	128,8	83,5	25*	2100	234	3,36-30,8	1680-1860	6130×2460	6,5	Харьковский ТЗ от 2,3 до 3,5 млн.руб.
	16131		132,4	82,6			217	1,37-28,6	2050-2800	6640×2480	7,1	
	17021		132,4	87,0				3,9-31,0	1860	6500×2460	6,6	
МТЗ	2022	4К4	156	55	30	2100	227	2,8-39,5	1800-2500	6230×2500	5,5	2,5 млн.руб.
Кировец К-3000	К-3140АТМ	4К4	103	61-100	27	2100	200	0,59-40,0	1610-2115	4920×2500	7,1*	от 2,6 до 3,1 млн.руб.
	К-3140АТМ		118									
	К-3140АТМ		130									
КАМАЗ	Т-215	4К4	149	72	30	2200	204	0,5-40,0*	-	5307×2510	5,4	Камский АЗ
Massey Ferguson	MF-6400	4К4	155- 215	70-110	35	2000	200	0?5-50?0	-	-	7?7*	Великобритания
Challenger	MT-600B	4К4	158- 213	90,4- 94,1	40*	2200	210*	0,03-40,0	2500*	5240×3075	7,3*	Транснацио- нальные корпо- рации >4,5 млн.руб.
New Holland	Т-7030	4К4	121	66-120	40	2200	205	1,94-40,0	1524-2438	-	7,3*	
Agrotron	215/265	4К4	147/18 4	84/90	34/3 7	2100	210*	0,48-50,0	-	5600×2750	6,7	6,6 млн.руб

Марка (модель)	Модельный ряд	Колесная формула	Эффективная мощность двигателя N _е , кВт	Эксплуатационный вес, кН(базовый)	Запас крутящего мо- мента, %	Номинальная частота вращения к/в двигателя, мин ⁻¹ .	Удельный расход топлива г/кВт·ч	Диапазон скоростей движения, км/ч	Колея, мм	Габариты, мм длина × ширина	Минимальный радиус поворота, м	Примечание (производитель, ориентировочная цена.)
Т я г о в ы й к л а с с 5,0 и в ы ш е												
MTЗ	2522(Д)	4К4	184- 195	108- 111	15 (30)	2100 (2200)	240	2,16-37,75	2744	5860×2830	5,5	от 4,2 млн.руб.
	2822(ДИ)		206	115	30	2200	254			6150×2630		
	3022ДВ		220,6	111	30	2200	249	0,37-39,5		5,0		
Кировец	К-701	4К4	221	125	20*	2200	240*	2,94-11,59	2120	7050×2865	5,2	от 3,7 до 6,0 млн.руб.
	К744(Р)		184- 257	134- 175	35	1900	237	3,6-28,8	2115		7,- 7,9	
	К- 5000АТМ		155- 195	82-140	36	2300	210	0,45-40,0	2120	6500×2500	6,0*	
	К-9000		250-370	До140	35-41	2000	213	3,6-30,0		7350×3070	7,5*	
Палессе	УЭС-2-250	4К4	195	-	20*	2100	205- 210	4,5-16,3	1930-2235	5650×2900	7,5	Беларусия от 2,5 млн.руб.
	УЭС-2-280		213	-				3,0-13,2				
	УЭС-2-350		257	-				4,9-16,3				
Claas	Axion 850	4К4	171	до 120	до 45	2200*	230	1,58-50,0	-	5655×3153	7,*0	
	Atles 946		202			2100		1,0-40,0		5035×2400	5,65	
	Xerion 3800		253			0,5-50,0*		6630×2490		12,0		
New Hol- land	T-8000	4К4	182- 223	134- 156,8	47	2200	210	0,5-40,0	-	-	5,0	Транснациональ- ные корпорации >6,9 млн.руб.
	T-9000		286- 399	207- 245	40	2000						
Challenger	MT-900	4К4	425	140	42	2000	200*	0,5-39,6	-	8179×4826	8,0*	
John Deere	9030	4К4	до 390	до 255	40*	2100	205*	4,2-40,0	-	6960×2934	4,45	

Примечания

1. Справочные материалы подготовлены на основе информации Автоматизированной Справочной Системы «Сельхозтехника» (Выпуск 3).

2. В таблицы включены основные марки и модели тракторов как отечественных, так и зарубежных производителей. Все представленные тракторы поступают на рынок России.

3. «Звездочкой» (*) отмечены неуточненные (приблизительные) значения параметров.

4. Ориентировочные цены тракторов представлены по состоянию на 01.01.2010г.

5. При необходимости уточнения данных по сельскохозяйственной технике следует обратиться по адресу: info@agrobases.ru.

Таблица П2 - Обобщенные значения коэффициентов сцепления μ , сопротивления качению тракторов f и сельскохозяйственных машин f_m .

Агрофон	μ		f		f_m
	Колесный трактор	Гусеничный трактор	Колесный трактор	Гусеничный трактор	
Залежь, пласт многолетних трав, уплотненная стерня	0,90	1,00	0,05	0,07	0,05
Стерня зерновых колосовых и однолетних трав	0,85	0,95	0,07	0,08	0,08
Поле после уборки кукурузы и подсолнечника	0,80	0,90	0,08	0,09	0,09
Дискованная (взлуценная) стерня	0,75	0,85	0,10	0,10	0,10
Поле, подготовленное под посев	0,70	0,80	0,15	0,10	0,16
Культивированное поле, дискованная пашня	0,65	0,75	0,16	0,10	0,18
Слежавшаяся, уплотненная пашня	0,60	0,70	0,18	0,11	0,20
Свежевспаханное поле	0,55	0,65	0,20	0,12	0,25

Таблица ПЗ - Обобщенные данные по видам сельскохозяйственных работ (удельные тяговые сопротивления машин – k_m , средний удельный вес машин – q_m , интервал технологически допустимых скоростей движения – $V_{min} \dots V_{max}$).

Вид сельскохозяйственной работы	Глубина обработки, см	k_m , кН/м	q_m , кН/м	$V_{min} \dots V_{max}$, км/ч
Лущение стерни дисковыми орудиями типа ЛДГ	6-8	2,0-2,2	2,5	8-12
	8-10	2,3-2,4		
Дискование стерни боронами типа БД	6-8	3,0-3,2	4,1	8-11
Лемешное лущение стерни	10-12	7,5-8,0	4,8	6-10
	12-14	10,0-10,2		
Дискование стерни тяжелыми боронами типа БДТ	6-8	4,4-5,1	10-12	6-12
	8-10	6,5-6,7		
	10-12	6,7-6,9		
Дискование зяби боронами типа БД	8-10	3,5-3,8	4,8	6-10
Дискование зяби тяжелыми боронами типа БДТ	8-10	4,5-4,6	10-12	6-12
Обработка почвы комбинированными агрегатами типа АКП, АКВ, КМ	8-10	9,0-9,1	8-10	6-12
	10-12	9,5-9,7		
	12-14	10,0-10,5		
	16-18	11,0-11,3		
Рыхление почвы без оборота пласта агрегатами типа ОПО-4,25	6-8	3,6-3,7	6-7	5-10
	14-16	7,1-7,2		
Выравнивание почвы агрегатами типа ВП	–	3,2-3,3	2-4	5-9

Продолжение таблицы ПЗ

Вид сельскохозяйственной работы	Глубина обработки, см	k_m , кН/м	q_m , кН/м	$V_{min...V_{max}}$, км/ч
Боронование почвы: сетчатыми боронами; зубовыми боронами; ножевыми боронами; пружинными боронами	3-4	0,4-0,6	0,2-0,4	9-12
	3-4	0,7-0,9	0,4-0,6	до 12
	6-8	1,1-1,3	0,8	9-15
	4-6	1,2-1,5	0,5	7-12
Прикатывание почвы: гладкими катками, кольчато-шпоровыми	-	0,8-1,2	4,0	7-12
	-	0,6-0,9	3,0	9-13
Сплошная культивация почвы культиваторами ти- па КТП, КТС, КПЭ, КШУ	6-8	2,0-2,1	3,0-4,0	6-12
	8-10	2,9-3,1		
	10-12	3,5-3,7		
	12-14	4,4-4,5		
	14-16	5,0-5,5		
Обработка почвы плоско- резами типа КПШ	8-10	4,0-5,0	2,5-3,0	6-10
	10-12	4,0-5,4		
Обработка почвы плоско- резами типа КПГ, ПГ	25-27	10,0-11,5	2,0-3,3	6-10
	28-30	12,4-13,0		
Глубокое рыхление почвы агрегатами типа ПРПВ	27-30	12,8-13,0	5,0-5,5	6-10
	30-35	13,0-13,5		
	40-43	14,0-14,5		
Чизельное рыхление поч- вы агрегатами типа ПЧНК, ПЧ	14-16	7,8-8,0	4,0-4,5	5-8
	30-35	11,0-14,0		
	35-40	16,0-18,0		

Продолжение таблицы ПЗ

Вид сельскохозяйственной работы	Глубина обработки, см	k_m , кН/м	q_m , кН/м	$V_{min...V_{max}}$, км/ч
Посев зерновых колосовых сеялками типа СЗ: без внесения удобрений	3-4	1,7-1,9	3,7-5,0	до 12
	с внесением удобрений	3-4		
Прямой (по стерне) посев зерновых колосовых сеялками типа СЗС	3-4	4,2-4,3	5,0-6,0	до 10
Посев зерновых колосовых по стерне комбинированными агрегатами типа АУП	6-8	4,8-4,9	8,0-9,0	до 11
Посев кукурузы и подсолнечника сеялками типа СУПН	4-6	1,2-1,4	2,2-2,5	до 10
Посев сахарной свеклы (сои) сеялками типа ССТ	4-6	1,0-1,2	2,0-2,5	4-9
Прикатывание посевов	-	1,2-1,4	2,5-3,0	9-13
Боронование до и после всходов	-	0,7-1,0	0,4-0,6	3-9
Междурядная культивация без внесения удобрений	4-6	1,5-1,8	2,7-3,5	6-13
	6-8	1,6-1,9		
	8-10	2,2-2,3		
	10-12	2,4-2,5		
Междурядная культивация с внесением удобрений	4-6	1,7-1,9	2,7-3,5	6-13
	6-8	1,8-2,0		
	8-10	2,5-2,6		
	10-12	2,6-2,9		
	12-14	2,7-2,9		

Таблица П4 - Обобщенные данные по пахотным агрегатам

Вид сельскохозяйственной работы	Тип почв	$K_{пл}$, кН/м ²	$Q_{пл}$, кН/м	$V_{min...V_{max}}$, км/ч
Вспашка почвы прицепными плугами	легкие	до 35	8-9	4,5-8,5
	средние	35-50		
	тяжелые	50-85		
	весьма тяжелые	свыше 85		
Вспашка почвы навесными и полунавесными плугами	легкие	до 30	5-8	7,0-12,0
	средние	30-42		
	тяжелые	42-72		
	весьма тяжелые	свыше 72		

Таблица П5 – Мощность $N_{вом}$, необходимая для привода рабочих органов сельскохозяйственных машин

Тип сельскохозяйственной машины	$N_{вом}$, кВт
Комбайн кормоуборочный	20-25
Косилка-измельчитель	13-17
Разбрасыватель органических удобрений, опрыскиватель	10-15
Разбрасыватель минеральных удобрений	8-12
Ботвоуборочная машина	9-12
Опрыскиватель штанговый	10-12
Опыливатель	9-10
Жатка валковая	5-9

Таблица П6 - Техническая характеристика сельскохозяйственных машин

Наименование машины	Марка	Ширина захвата, м	Вес, кН	Допустимая рабочая скорость, км/ч	
Плуг лемешный отвальный	ПЛН-3-35П	1,05	4,8	7-10	
	ПЛН-4-35	1,40	7,4	7-10	
	ПЛН-5-35	1,75	9,0	6-8	
	ПЛП-6-35	2,1	12,3	6-8	
	ПЛП-7-35	2,45	26,5	7-9	
	ПН-8-35У	2,80	21,0	7-9	
	ПТК-9-35	3,15	33,85	7-11	
	ПНТК-10-35	3,5	26,45	7-11	
	ПН-3-40	1,2	4,8	6-8	
	ПНА-4-40	1,6	6,8	7-9	
	ПКМ-5-40Р	1,5-2,5	18,5	7-9	
	ПКМ-6-40Р	1,8-3,0	20,5	7-9	
	ПГБ-7-40Б-2	2,8	24,55	7-10	
	ПНУ-8-40	3,2	23,15	5-12	
	ПГУ-4-45	1,8	13,2	7-10	
	ПГУ-5-45	2,25	15,9	7-10	
	ПРК-7-45	3,05	20,0	6-10	
	ПРК-8-45	3,50	22,0	6-10	
	Плуг скоростной комбинированный	ПСК-4	2,4	8,7	5-10
ПСК-5		3,0	9,8	5-10	
ПСК-6		3,6	13,5	5-10	
ПСК-8		1,6-3,6	17,5	4-9	

Продолжение таблицы П6

Наименование машины	Марка	Ширина захвата, м	Вес, кН	Допустимая рабочая скорость, км/ч
Плуг лемешный оборотный	ПГПО-2-35	0,7	Н.Д	6-7
	ПОН-3-35П	1,05	8,85	5-7
	ПГПО-4-35	1,40	Н.Д	6-7
	ПГПО-5-35	1,75	Н.Д	6-7
	ПО-3-40	1,05-1,35	9,6	5-9
	ПО-4-40	1,40-1,8	13,1	5-9
	ПОН-5-40	1,75-2,40	22,3	5-9
	ПОН-7-40	2,45-3,50	26,0	5-9
	ППО-(4+1)-40К	1,6-2,4	24,8	7-10
	РН-100(7+1)	2,45-3,60	36,4	4-7
	Евро-Титан 10 8/3+1	2,64 -6,5	52,8	5-9
	Корморан 160 VII	2,67-3,46	32,2	4-9
Плуг чизельный	ПЧН-2,3	2,3	7,7	до 12
	ПЧН-3,2	3,2	15,4	7-10
	Артиглио-400	3,6	28,2	4-7
	ПЧН-4,5	4,5	18,6	до 12
Глубоко-рыхлитель	КГ-2,5	2,25	20,5	8-10
	ПРБ-3А	3,0	20,2	7-10
	ГЩ-4М	3,9	17,5	2,5-7,0
	КНГ-6	4,0	25-30	до 7
	ПРБ-4А	4,0	20,2	7-10
	РН-4	4,4	20,0	7-8
	ГЧН-4,5Б	4,5	22,8	5-10

Продолжение таблицы П6

Наименование машины	Марка	Ширина захвата, м	Вес, кН	Допустимая рабочая скорость, км/ч
Борона дисковая	БД-1,8	1,8	19,7	8-12
	БД-2,8	2,8	25,0	8-12
	БДК-3,0	3,0	43,0	10-13
	БДК-4,0	4,0	51,0	10-13
	БД-4,2	4,2	41,7	8-12
	БДК-5,4	5,4	71,0	10-13
	БД-6,6	6,6	65,0	9-12
	БД-10Б	10	44,5	до 12
Борона дисковая тяжелая	БДТ-3	3,0	17,5	до 12
	ДАКН-3,3Н	3,3	22,8	9-15
	БДТМ-3,8В	3,8	43,0	6-10
	БДТМ-4х4	4,0	27,8	до 12
	БДТ-5/810ЭТМ	5,0	76,5	6-10
	БДТМ-5,5Б	5,5	60,1	7-12
	БДМ-6х4ПК	5,7	57,9	7-13
	БДТ-6х3	5,5	60,1	до 15
	БДТ-7К	7,0	38,0	до 12
	«Рубин Гигант» 800	8,0	70,2	9-12
	«Карриер-820»	8,2	70,6	10-15
Мульчировщик дисковый	ДМ-3,2	3,2	31,1	до 15
	ДМ-4	4,0	39,5	до 15
	ДМ-5х2	5,0	51,0	12-20
	ДМ-5,2	5,2	51,0	10-15
	ДМ-6	6,2	63,8	12-15

Продолжение таблицы П6

Наименование машины	Марка	Ширина захвата, м	Вес, кН	Допустимая рабочая скорость, км/ч
Агрегат комбинированный дисковый	ДАКН-2,3П	2,3	15,0	10-15
	ДАКН-3,3П	3,3	23,0	10-15
	ДАКН-4	4,0	28,0	10-15
	ДА-4-2П	4,0	29,0	10-15
	ДАКТ-4П	4,0	32,0	10-15
	ДА-7,2П	7,2	34,3	10-15
Агрегат комбинированный	КАО-2М	1,4	10,8	7-11
	АЧУ-2,8	1,6	12,0	до -22
	КНК-2300	2,3	9,3	8-14
	АПК-2,5	2,5	19,8	7-10
	АПК-3	3,0	14,0	7-10
	Агро-3	3,0	53,8	до-9
	АПУ-3,5	3,5	16,0	7-10
	АПК-4	4,0	15,0	7-9
	АКСО-4	4,0	35,0	до-10
	КУМ-4	4,0	18,8	7-8
	УНС-5	4,5	29,0	9-12
	АКП-5	5,0	14,0	до-10
	КПК-5,4	5,4	17,2	7-10
	АКШ-6Г	6,0	35,0	до-10
	КНК-6000	6,0	29,5	9-12
	АПУ-6,5	6,5	33,0	7-10
	АКП-7,4	7,4	30,0	7-10
	ОПО-8,25	8,25	30,5	6-9

Продолжение таблицы П6

Наименование машины	Марка	Ширина захвата, м	Вес, кН	Допустимая рабочая скорость, км/ч
Борона зубовая	БЗСС-1	1,0	0,34	до-12
	БЗТС-1	1,0	0,40	до-12
	ЗБП-0,6А	1,8	0,49	до-7
	З-ОР-0,7	2,2	0,36	до-8
	БЗШ-21	21,0	31,5	до-10
	АБ-24	24,4	39,9	до-12
Борона пружинная	БП-8	8,4	8,5	7-12
	БПП-8730	12,0	15,0	10-12
Борона ножевая	KUOSA-3,3B	3,3	9,0	до-12
	KUOSA-4,4B	4,4	13,6	до-12
Борона игольчатая	БИГ-3А	3,0	10,1	до-13
Каток	ЗКВГ-1,4	4,0	8,3	7-12
	ККЗ-6	6,0	24,5	до-13
	ЗККШ-6А	6,1	19,4	7-12
	ККЗ-10	10,0	55,0	до-12
Выравниватель почвы	ГН-4А	4,3	8,8	до-7
	ВПН-5,6А	5,6	7,7	до-8
	МРН-8,4	8,4	16,5	до-12
	ВП-8А	9,7	13,9	6-8,5
	БМШ-15	14,8	66,7	7-12
Сцепка	СП-10	Фронт 10,0	11,3	до-12
	СП-11	Фронт 7,2	9,1	
	СП-16	Фронт 13,5	17,6	
	СГ-21	Фронт 21	18,0	

Продолжение таблицы П6

Наименование машины	Марка	Ширина захвата, м	Вес, кН	Допустимая рабочая скорость, км/ч
Культиватор паровой	КПС-4	4,0	7,8	10-12
	КСПС-6	6,0	8,0	до 12
	КПС-8Ш	8,0	18,5	8-12
	ШККС-8	8,0	26,9	8-12
	ШККС-10	10,0	32,1	8-12
	ШККС-12	12,0	32,6	8-12
	КШУ-12	12,0	32,6	до 12
Культиватор стерневой тяжелый	КСТ-2,2	2,2	9,8	6-10
	КСТ-3,8	3,8	18,5	6-10
	КСТ-5,5	5,5	26,0	6-10
Культиватор стерневой комбинированный	КСКН-3Н	3,0	20,0	10-12
	КС-4	4,0	22,0	10-12
	КСКН-4	4,0	24,5	10-12
	КСКН-6	6,0	46,0	10-12
Культиватор комбинированный	КНК-4	4,0	22,2	до 12
	КУК-4	4,1	9,0	8-12
	КНК-6	6,0	26,5	до 12
	КПН-8	8,0	22,5	6-12
	ККШ-11,3АМ	11,3	41,9	7-13
Культиватор для глубокой обработки почвы	PEGASUS 3000	3,0	13,5	9-12
	KE 403	4,0	19,0	7-12
	ПБО-4,4	4,4	12,8	7-12
	КРГ-6,0	6,1	56,8	7-9
	СМАРАГД 1000	10,0	69,8	6-12

Продолжение таблицы П6

Наименование машины	Марка	Ширина захвата, м	Вес, кН	Допустимая рабочая скорость, км/ч
Культиватор плоскорез	КПШ-5	4,8	9,0	6-10
	КПШ-9	9,0	18,5	6-10
	КПШ-11	9,8	25,0	6-10
Культиватор пртивоэрозийный	КПЭ-3,8	3,9	10,2	до 10
Культиватор для междурядной обработки сахарной свеклы, сои	УСМК-5,4Б	5,4	11,2	7-9
	КГС-4,8А-01	5,4	26,9	5-9
	КФ-5,4	5,4	11,0	до 7,5
	КРШ-8,1	8,1	30,7	6-8
Прореживатель	УСМП-5,4А	5,4	7,7	до 8
	ПСА-5,4-01	5,4	14,9	2-6
	ПСА-2,7	2,7	10,0	3-6
Культиватор для междурядной обработки овощных культур	КОР-1,8	1,8	5,0	5-7
	КЧН-2,7	2,7	9,5	до 9
	КУП-2,8	2,8	9,9	до 10
	КОР-4,2	4,2	10,9	до 9
	КОР-5,4	5,4	25,0	6-10
Культиватор фрезерный для междурядной обработки овощных культур	КВС-1,4	1,4	5,0	до 9
	КФО-1,8	1,8	5,5	5-7
	ФПУ-4,2	4,2	9,3	5-7
	КФО-4,2	4,2	13,9	5-7
Культиватор для междурядной обработки пропашных культур	КРН-4,2Б	4,2	11,9	6-10
	КРН-5,6Б	5,6	15,2	6-10
	КРН-8,4	8,4	21,0	до 9

Продолжение таблицы П6

Наименование машины	Марка	Ширина захвата, м	Вес, кН	Допустимая рабочая скорость, км/ч
Зернотуковая сеялка	СЗНТ-1,8	1,8	2,5	до 10
	СЗРС-2,1	1,9	15,0	5-15
	СЗТС-2	2,05	16,2	5-10
	СЗ-3,6А	3,6	14,4	до 15
	Rapid RDA400S	4,0	37,0	до 12
	СМП-4,2	4,2	29,0	до 8
	Rapid RDA450S	4,5	40,0	до 12
	«Виктория»	4,6	43,0	9-12
	СЗ-5,4	5,4	25,5	9-12
	СТВ-100 Аист	5,4	12,2	4-9
	«Мультикорн»	5,6	10,3	до 10
	СЗМ-201	6,0	20,0	10-12
	СЗП-8	7,8	56,6	до 12
	СТВ-110 Аист	8,4	15,2	4-9
	СЗПЦ-12	12	51,6	10-12
	«Казачка»	12,0	72,2	9-15
Посевные комплексы	Обь-4	4,0	21,0	до 10
	Обь-8	7,4	45,0	до 10
	Лидер-С	8,0	45,0	10-12
	ППК-8,2	8,2	150,0	8-13
	ППК-12,4	12,4	184,0	8-13
Посевные агрегаты	АУП-18	4,5	31,6	до 10
	«Топмастер»	12,2	119,0	до 9
	«Конкорд-4012/2000»	12,2	115,4	до 10

Продолжение таблицы П6

Наименование машины	Марка	Ширина захвата, м	Вес, кН	Допустимая рабочая скорость, км/ч
Сеялка для пропашных культур	СУПН-6	4,2	8,0	до-10
	СПЧ-6ФС	4,2	8,2	до-10
	СУПН-8А	5,6	12,9	7-9
	Тс-М8000	5,6	Н.д	7-9
	Моносем NG	5,6	Н.д	7-9
	СТВ-107 Аист	5,6	Н.д	7-9
	СКПП-12	8,4	46,0	до-12
	СУПН-12А	8,4	21,6	6-7
Свекловичная сеялка	ССТ-12В	5,4	11,9	до 7
	СПС-5,4	5,4	25,0	5-8
	ССТ-18Б	8,1	20,6	4-8
	СПС-24	10,8	66,2	до 10
Сеялка для овощных культур	АГП-2,8	2,8	6,2	2,5-3,5
	АТВ-6	4,2	9,0	2,5-3,5
	СОЛ-4,2	4,2	10,0	До-9
	СУПО-9А-01	1,8-5,4	9,6	2,5-3,5
	СУ-12 Оризон	5,4	10,0	3-4
Рассадопосадочная машина	МРП-1,8	1,8	5,2	0,9
	МРУ-2	2,8	6,0	до 1,8
	МРУ-6	4,2	11,0	до 1,8
	МРГ-6	4,2	8,0	до 5
	МПР-5,4	5,4	17,4	0,16-1,0

Продолжение таблицы П6

Наименование машины	Марка	Ширина захвата, м	Вес, кН	Допустимая рабочая скорость, км/ч
Машина для внесения минеральных удобрений	МВУ-1200	Зависит от вида удобрений	3,1	до-12
	Vikon-RS-M		3,2	
	СУ-12М		6,7	
	ССТ-10		24,5	
	МВУ-5		21,7	
	МВУ-8Б		31,3	
Машина для внесения жидких удобрений	ПЖУ-2,5	4-22	20,0	до-12
	ПЖУ-5	7-22	48,0	
	ПЖУ-9	18-22,5	44,9	
	ПОМ-630-1	2,8-16,2	7,2	
	МЖТ-6	-	30,4	до-15
	МЖТ-10		40,2	до-10
	МЖТ-16		57,0	до-10
	МЖТ-19		73,6	7-12
Машина для внесения твердых органических удобрений	МТТ-4	5-8	21,2	до-10
	МТТ-7		34,0	до-12
	МТТ-8		35,0	до-12
	МТТ-Ф-10		82,0	до-10
	МТТ-13		59,0	до-13
	МТТ-19		82,0	до-5
	ПРТ-7А	6-8	28,5	до-10
	ПРТ-10		40,0	до-10
	ПРТ-11		39,0	до-12
	ПРТ-16М		53,3	2,8

Продолжение таблицы П6

Наименование машины	Марка	Ширина захвата, м	Вес, кН	Допустимая рабочая скорость, км/ч
Косилка с беспальцевым рабочим органом	К-1,2	1,2	0,60	6-9
	К-1,5	1,5	0,78	2,5-6,3
	К-1,6	1,6	0,80	6-9
	КТБ-2,1	2,1	1,95	до -12
Косилка с сегментопальцевым рабочим органом	КТС-1,4	1,4	1,50	6-7
	КНТ-1,8	1,8	1,77	6-12
	КБН-2,1	2,1	2,10	до -15
	КС-Ф-2,1М	2,1	2,05	до -12
Косилка с ротационным рабочим органом	КР-1,5	1,5	2,6	до -15
	КРН-2,1	2,1	5,1	
	КДН-210	2,1	5,3	
Косилка-плющилка	КПРН-3А	3,0	14,5	до -4,5
	КПП-3,1	3,1	15,0	до -12
	ПН-530 «Простор»	3,6	21,5	2,8
	КПП-4,2	4,2	32,2	до -7
	КПН-5	4,95	18,0	до -10
Грабли гидравлические	ГПГ-4,2	4,2	2,1	до -12
	ГПГ-6	6,0	3,1	
	ГПГ-10	10,0	7,0	
Грабли-ворошилки	ГВР-420	4,2	6,5	до -12
	ПН-600	3,8-4,2	6,0	
	ГВД-Ф-6,0	6,0	10,8	
	ГВР-630	6,3	11,0	
Сеноворошилка	МВС-4,2	4,2	5,4	8-11

Продолжение таблицы П6

Наименование машины	Марка	Ширина захвата, м	Вес, кН	Допустимая рабочая скорость, км/ч
Машина ботвоуборочная	ОГД-6М	2,7	8,95	до 9
	МБШ-6		Н.д	5-7
	МRF-6		12,5	7-9
	МБП-6		35,0	6-8
	БМ-6Б		30,5	5-8
Машина корнеуборочная	РKM-6	2,7	108,5	1,4-2,8
	МКП-6		50,9	4-7
	MRS-6		12,5	до -6
	КНБ-6		41,5	до -6
	КБ-6		115,0	2,9-3,7
Комбайн кормоуборочный прицепной	КИР-1,5М	1,5	8,5	до -6
	ИР-1,5 «Енисей»	1,5	17,0	до -10
	«Дон-1,8»	1,8	8,5	до -8
	КИР-1,85	1,85	12,0	до -10
	КП-Ф-2	2,0	12,5	до -8
	«Енисей-720»	2,1	17,0	до -8
	КПИ-Ф-2,4А	2,4	17,7	до -10
	КИН-2,7	2,7	13,0	до -8
	КДП-3000 «Полесье»	3,0	Н.д	до -12

Примечание: при необходимости уточнения данных по сельскохозяйственной технике следует обратиться по адресу:

info@agrobases.ru.