

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Брянский государственный аграрный университет»

Инженерно-технологический институт

Кафедра технических систем в агробизнесе природообустройстве и дорожном
строительстве

Самусенко В.И., Сакович Н.Е., Кузьменко И.В.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, РАБОЧИХ МАШИН И АГРЕГАТОВ

Часть I

Учебно-методическое пособие для выполнения практических работ
по дисциплине: «Эксплуатация машинно-тракторного парка»
студентами инженерно-технологического института
по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия»

Брянская область, 2023

УДК 631.3 (076)

ББК 40.72

С 17

Самусенко, В. И. Эксплуатационные свойства мобильных энергетических средств, рабочих машин и агрегатов: учебно-методическое пособие для выполнения практических работ по дисциплине: «Эксплуатация машинно-тракторного парка» студентами инженерно-технологического института по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» / В. И. Самусенко, Н. Е. Сакович, И. В. Кузьменко. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2023. - Ч. I. – 68 с.

Учебно-методическое пособие предназначено для приобретения практических навыков обоснования оптимальных ресурсосберегающих параметров и режимов работы как отдельных двигателей, тракторов и рабочих машин, так и МТА в целом. Для студентов инженерно-технологического института.

Рецензенты: к.т.н., доцент Лабух В.М., к.т.н., доцент Кузюр В.М.

Рекомендовано к изданию решением методической комиссией инженерно-технологического института, протокол № 4, от 24 марта 2023 года.

© Самусенко В.И., 2023

© Сакович Н.Е., 2023

© Кузьменко И.В., 2023

© Брянский ГАУ, 2023

Содержание

Введение.....	4
1. Эксплуатационные свойства двигателей и сельскохозяйственных машин. Обоснование энергосберегающих режимов работы	5
2. Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных тракторов. Обоснование энергосберегающих и почвозащитных режимов работы	19
3. Эксплуатационные показатели мобильных сельскохозяйственных машин. Обоснование энергосберегающих режимов работы	32
4. Комплектование ресурсосберегающих машинно-тракторных агрегатов .	45
Контрольные вопросы.	65
Литература	67

Введение

Основная задача эксплуатации машинно-тракторного парка (ЭМТП) как научной и учебной дисциплины в современных условиях рыночной экономики и многообразия форм хозяйствования – технико-организационное обеспечение производства растениеводческой продукции с наименьшими затратами соответствующих ресурсов. Под техническим обеспечением подразумевается обоснование для местных условий или ландшафтов оптимальных ресурсосберегающих параметров и режимов работы как машинно-тракторных агрегатов (МТА), так и отдельных машин, используемых в производстве растениеводческой продукции (от подготовки семян и удобрений до уборки урожая, и закладки его на хранение).

К данной группе техники относятся также средства поддержания машин в работоспособном состоянии, включая средства технического обслуживания, устранения эксплуатационных отказов, а также материально-технического обеспечения работы агрегатов.

Организационное обеспечение механизированного производства растениеводческой продукции предусматривает создание условий для эффективной взаимосвязанной работы всех машин и агрегатов в каждом технологическом процессе на основе современных методов математического моделирования и оптимального проектирования сложных производственных процессов.

В пособии рассмотрены прогрессивные методы решения задач ЭМТП с учетом общих принципов операционной технологии выполнения полевых механизированных работ, системного подхода и местных условий.

Задания данного пособия охватывают основные вопросы производственной эксплуатации МТА – обеспечение ресурсосбережения и повышение производительности.

В первой части из четырех заданий студенты последовательно должны самостоятельно освоить методы выбора энергосберегающих режимов работы двигателей, тракторов и рабочих машин, а также комплектования ресурсосберегающих машинно-тракторных агрегатов.

1. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ДВИГАТЕЛЕЙ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН. ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

Цель задания — приобрести навыки самостоятельного выбора режима высокоэффективного использования двигателей тракторов в зависимости от условий выполнения технологической операции.

Поскольку двигатель является источником энергии на агрегате, то в конечном итоге задача сводится к умению реализовать вырабатываемую энергию с наибольшей эффективностью в соответствии с современными требованиями ресурсосбережения.

Содержание задания

1. Выписать из таблицы 1.1 исходные данные по соответствующему варианту задания.
2. Изобразить в тетради регуляторную и перегрузочную (корректорную) ветви регуляторной характеристики дизельного двигателя с всережимным регулятором, а также выбрать взаимосвязанные значения крутящего момента M , мощности N и частоты вращения n для основных граничных режимов работы, записав их в тетради.
3. Рассчитать коэффициенты приспособляемости двигателя по крутящему моменту k_M и по частоте вращения k_n и указать направление их изменения с целью улучшения эксплуатационных показателей двигателя и трактора в целом.
4. Определить из условия безостановочной устойчивой работы наибольшее допустимое значение момента сил сопротивления на валу двигателя M_y и соответствующую ему частоту вращения n_y .
5. Выбрать оптимальное значение коэффициента загрузки двигателя по мощности ϵ_{Nopt} при заданном коэффициенте вариации момента сил сопро-

тивления ν_M и рассчитать соответствующую частоту вращения n_{opt} . Определить также оптимальное значение коэффициента загрузки двигателя по крутящему моменту ξ_{Mopt} и сравнить его с ξ_{Nopt} .

б. Используя нормальный закон распределения момента M_c сил сопротивления на валу двигателя, определить наименьшее $M_{c\text{min}}$ (M_M) и наибольшее $M_{c\text{max}}$ (M_m) значения. Сделать вывод о необходимости переключения передач трактора в процессе работы.

Таблица 1.1 – Варианты заданий. Основные параметры двигателей тракторов

№ варианта	Трактор	Двигатель	Исходные данные по двигателям						Удельный расход g_e , г/(кВт ч)
			N_H , кВт	M_H , кН-м	M_{max} , кН-м	n_H , об/мин	n_s , об/мин	n_m , об/мин	
1	ВТЗ-2032	Д-120	18,4	0,097	0,107	1800	1920	1200	245
2	ВТЗ-2048	Д-130	33,0	0,105	0,119	2000	2150	ИЗО	241
3	Т-40МС	Д-144	36,8	0,196	0,226	1975	2150	1200	252
4	ЛТЗ-55А	Д-14432	39,0	0,183	0,210	1800	1950	1270	248
5	ЛТЗ-60АБ	Д-248	42,3	0,218	0,250	2000	2210	1500	229
6	ЛТЗ-155	ЯМЗ-236	110,0	0,613	0,704	1850	2010	1650	255
7	ЮМЗ-6АКМ	Д-65М	46,3	0,272	0,312	1750	2950	1430	235
8	ЮМЗ-8240	Д-243	57,4	0,268	0,308	2200	2370	1400	229
9	Беларус-80	Д-243	57,4	0,268	0,308	2200	2370	1400	229
10	Беларус-82	Д-243	57,4	0,268	0,308	2200	2370	1400	229
11	Беларус-1025	Д-245	73,6	0,345	0,396	2200	2390	1420	236
12	Беларус-1221	Д-260	114,0	0,560	0,644	2100	2300	1460	226
13	Беларус-2022	Д-2604	148,6	0,730	0,870	2100	2340	1450	227
14	Беларус-2522	ДТА-530	176,0	0,846	1,015	2100	2360	1570	246
15	ХТЗ-150-05	СМД-62	121,5	0,596	0,684	2100	2340	1470	329
16	ХТЗ-150-09	ЯМЗ-236	117,6	0,655	0,753	1850	2050	1300	242
17	ХТЗ-17221	ЯМЗ-236	121,3	0,595	0,674	2100	2350	1370	242
18	ХТЗ-2511	Д-120	18,4	0,105	0,113	1800	1980	1200	245
19	ХТЗ-3510	Д-120	18,4	0,105	0,113	1800	1960	1200	245
20	К-744Р	ЯМЗ-238	153,7	0,906	1,080	1750	1980	1250	240
21	К-701	ЯМЗ-240	221,0	1,199	1,323	1900	2170	1290	244
22	К-701М	ЯМЗ-240	246,0	1,335	1,505	1900	2150	1540	258
23	ДТ-75Д	А-41	66,3	0,391	0,463	1750	1940	1260	238
24	Т-4А.01	А-01МС	99,3	0,602	0,752	1700	1980	1230	238
25	Агром150ТГ	Д-442	116,0	0,629	0,723	1900	2170	1520	237
26	JD5725	JDPT4	61,8	0,294	0,368	2000	2200	1340	236

№ варианта	Трактор	Двигатель	Исходные данные по двигателям						Удельный расход g_e , г/(кВт ч)
			N_H , кВт	M_H , кН-м	M_{max} , кН-м	n_H , об/мин	n_x , об/мин	n_m , об/мин	
27	JD 6920	JDPT6	99,5	0,500	0,625	2100	2300	1407	236
28	JD 7730	JDPT6	138,7	0,683	0,990	2100	2280	1400	240
29	JD 8400	JDPT6	170,2	0,983	1,377	2100	2300	1420	240
30	JD9320	JDPT6	245,2	1,434	1,979	2100	2280	1400	240

Последовательность выполнения работы.

При нормальной нагрузке двигателя происходит более полное сгорание топлива и соответственно уменьшается количество вредных выбросов в атмосферу, что особенно важно с экологической точки зрения.

Методические указания относятся к дизельным двигателям с всережимными регуляторами, которыми оснащены все тракторы и самоходные сельскохозяйственные машины. Эксплуатационные свойства изучаемых двигателей внутреннего сгорания определяются эффективной мощностью, крутящим моментом, угловой скоростью или частотой вращения, а также часовым и удельным расходом топлива. Эти величины связаны между собой соотношениями:

$$g_e = \frac{10^3 \cdot G_T}{N};$$

$$N_m = M_m \cdot \omega_m = M_m \cdot \frac{\pi \cdot n_m}{30} \approx 0,105 \cdot M_m \cdot n_m.$$

Исходные данные из таблицы 1.1 выписываются в соответствии с номером варианта задания.

Взаимосвязанные значения N , M_m , n , G_T , g_e изобразить графически на регуляторной характеристике, которую для эксплуатационных расчетов чаще всего строят в функции n или M .

Регуляторной ветви на рисунке 1.1 соответствует участок **ab**, а перегрузочной (корректорной) — **bc**.

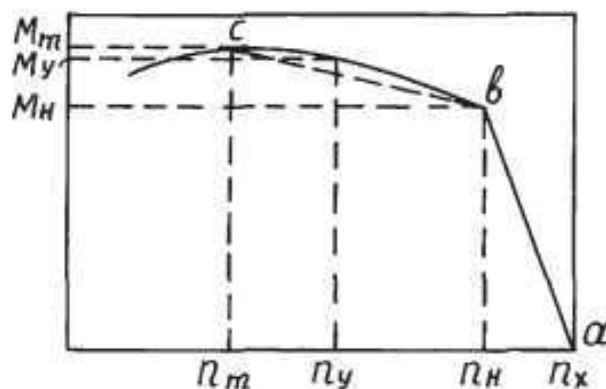


Рисунок 1.1 – Регуляторная характеристика дизеля с всежимным регулятором

Основным граничным режимам работы двигателя соответствуют: точка **a** — режим холостого хода при полной подаче топлива при крутящем моменте $M_x = 0$, мощности $N_x = 0$ и частоте вращения n_x , точка **b** — режим номинальной (паспортной) загрузки при крутящем моменте M_n , мощности N_n и частоте вращения n_n , точка **c** — режим максимальной перегрузки при наибольшем крутящем моменте M_m , мощности N_m и частоте вращения n_m .

Значения n_x , n_n , n_m , M_n , M_m , N_n выбираются непосредственно из таблицы 1.1. Под N_n подразумевается номинальная эффективная мощность двигателя при номинальной частоте вращения n_n , полной подаче топлива, нормальных атмосферных условиях, температуре и плотности топлива. При определении N_n двигатель устанавливается на стенд без вентилятора, воздухоочистителя и другого вспомогательного оборудования.

Эксплуатационная мощность двигателя $N_э$ определяется в тех же условиях, но с полным комплектом оборудования, включая вентилятор, воздухоочиститель и др.

Мощности N_n и $N_э$ различаются незначительно, поэтому в последующих расчетах рассматривается только номинальная мощность N_n , принимая $N_n = N_э$.

Значение мощности N_m рассчитывается по формуле

$$N_m = M_m \cdot \omega_m = M_m \cdot \frac{\pi \cdot n_m}{30} \approx 0,105 \cdot M_m \cdot n_m \quad (1.1)$$

где ω — угловая скорость, рад/с; n_m — соответствующая частота вращения, об/мин.

Коэффициенты приспособляемости по крутящему моменту (коэффициент запаса крутящего момента) K_M и по частоте вращения K_n в соответствии с теорией трактора определяется в виде соотношений:

$$K_M = \frac{M_m}{M_H}; K_n = \frac{n_H}{n_m} \quad (1.2)$$

Указанные коэффициенты характеризуют способность двигателя преодолевать временные перегрузки при колебаниях сил сопротивления, действующих на трактор и на рабочую машину. Чем больше значения K_M и K_n , тем выше способность двигателя преодолевать временные перегрузки без переключения передач трактора. Соответственно обеспечивается более высокая производительность агрегата, при прочих равных условиях.

На основании опытных данных установлено, что устойчивая работа тракторного двигателя при малой вероятности заглохания обеспечивается при соблюдении условия

$$M_y < 0,97M_m, \quad (1.3)$$

где M_y — наибольшее допустимое значение момента сил сопротивления на валу двигателя, кН·м.

Многие современные тракторы оборудованы тахоспидометрами, позволяющие оценивать загрузку двигателя по частоте вращения.

Необходимо в связи с этим определить частоту вращения вала двигателя n_y , соответствующую в формуле (1.3) наибольшему значению

$$M_y = 0,97M_m.$$

Для этого используются аналитические зависимости между крутящим моментом M на валу двигателя и частотой вращения n . Для этого график зависимости $M=f(n)$ на регуляторной характеристике рассматриваем приближенно в виде двух прямолинейных участков: **ab** — регуляторная ветвь и **bc** — перегрузочная ветвь.

На участке **ab** крутящий момент в любой i -й точке можно рассчитать по формуле

$$M_{iab} = M_H - (n_x - n_i)/(n_x - n_H). \quad (1.4)$$

Аналогичным образом можно установить зависимость между M_i и n_i на участке **bc** в виде

$$M_{ibc} = M_H + (M_m - M_H) \cdot \left[\frac{n_H - n_i}{n_H - n_m} \right]. \quad (1.5)$$

Приняв в этом равенстве $M_{ibc} = M_{ym} = 0,97M_m$, получим соответствующую частоту вращения

$$n_y = n_H - \left[\frac{0,97 \cdot M_m - M_H}{M_m - M_H} \right] \cdot (n_H - n_m). \quad (1.6)$$

Сопоставляя значение n_y из формулы (1.6) с показателями тахоспидометра в процессе работы, можно подбирать такие передачи трактора и соответствующие скорости, при которых фактическая частота вращения вала двигателя n_i будет удовлетворять требованию устойчивой работы по условию $n_i \geq n_y$.

Режим загрузки двигателя наиболее полно характеризуется коэффициентом загрузки по мощности

$$\varepsilon_N = \frac{N_\varepsilon}{N_H}, \quad (1.7)$$

где N_H , N_ε — номинальная мощность и мощность при данном коэффициенте загрузки, кВт.

Под оптимальным (наилучшим) в общем случае подразумевается такой режим загрузки двигателя, при котором выбранный технико-экономический показатель работы двигателя, трактора или соответствующего агрегата в целом достигают экстремального (максимального или минимального) значения. Чаще в качестве такого критерия оптимальности применяют минимум удельного (на единицу выполненной работы) расхода топлива, который примерно соответствует минимальному расходу топлива двигателем g_{emin} в расчете на единицу эффективной мощности.

Оптимальное значение ε_{Nopt} зависит от конструкции двигателя, особенностей регуляторной характеристики, характера внешней нагрузки и т. д. Чем больше неравномерность внешней нагрузки, характеризуемой коэффициентом вариации момента сил сопротивления ν_m , тем меньше должно быть значение ε_{Nopt} , так как требуется больший запас мощности для преодоления перегрузок. Вследствие отсутствия надежных аналитических методов решения значения

ϵ_{Nopt} обычно определяют экспериментальным путем. Такие опытные значения для ϵ_{Nopt} основных типов эксплуатируемых тракторных двигателей по литературным данным приведены в таблице 1.2 в зависимости от значения ν_m . Для двигателей новых тракторов приведены ориентировочные значения ϵ_{Nopt} в учебных целях и отмечены индексом (y).

Таблица 1.2 – Значения коэффициента загрузки двигателя в зависимости от коэффициента вариации момента сил сопротивления ν_m , обеспечивающие минимальный удельный расход топлива g_{emin}

Двигатель	Значения ν_m , %		
	10	20	30
	оптимальные значения ϵ_{Nopt}		
Д-21А	0,921	0,836	0,750
Д-120	0,925 (y)	0,838 (y)	0,760 (y)
Д-144	0,906 (y)	0,837 (y)	0,756 (y)
Д-65М	0,920 (y)	0,824 (y)	0,730 (y)
Д-240	0,905	0,811	0,718
Д-245	0,906 (y)	0,813 (y)	0,719 (y)
Д-260Т	0,907 (y)	0,814 (y)	0,719 (y)
Д-144-32	0,905 (y)	0,822 (y)	0,728 (y)
Д-65М1Л	0,921 (y)	0,823 (y)	0,729 (y)
СМД-25 (Д-181Т)	0,907 (y)	0,812 (y)	0,719 (y)
СМД-19Т	0,928 (y)	0,838 (y)	0,756 (y)
СМД-62	0,927	0,838	0,755
ЯМЗ-238НБ	0,904	0,805	0,698
ЯМЗ-240БМ	0,923	0,837	0,752
ЯМЗ-8481.10	0,924 (y)	0,837 (y)	0,753 (y)
А-41	0,920 (y)	0,828 (y)	0,740 (y)
Д-440	0,921 (y)	0,829 (y)	0,741 (y)
Д-241Л	0,905 (y)	0,812 (y)	0,719 (y)
СМД-60	0,926	0,830	0,752
СМД-66	0,927 (y)	0,837 (y)	0,754 (y)
А-01М	0,920 (y)	0,827 (y)	0,748 (y)
Д-460.1	0,922 (y)	0,829 (y)	0,747 (y)

Выбрав из таблицы 1.2 оптимальное значение коэффициента загрузки ϵ_{Nopt} (ϵ_{NO}) заданного двигателя, необходимо рассчитать соответствующую частоту вращения вала двигателя $n_{\epsilon opt}$ ($n_{\epsilon o}$) чтобы по показателям тахоспидометра

можно было выбрать соответствующий оптимальный режим работы двигателя и трактора в целом.

Определяем по таблице 1.2 значение $\varepsilon_{N_{opt}}$ при коэффициенте вариации момента сил сопротивления $\nu_m = 20\%$.

$$\varepsilon_{N_{opt}} = 0,837$$

Поскольку $\varepsilon_{N_{opt}} < 1$, то значение $n_{\varepsilon_{opt}}$ следует рассчитывать на основании формулы (1.4) для регуляторной ветви.

Равенство (1.7) при $\varepsilon_N = \varepsilon_{N_{opt}}$ с учетом (1.1), (1.4) можно представить в виде

$$\varepsilon_{NO} = \frac{N_{\varepsilon_0}}{N_H} = \frac{M_{\varepsilon_0} \cdot n_{\varepsilon_0}}{M_H \cdot n_H} = \frac{n_X \cdot n_{\varepsilon_0} - n_{\varepsilon_0}^2}{n_X \cdot n_H - n_H^2}, \quad (1.8)$$

где M_{ε_0} — значение крутящего момента при $n_i = n_{\varepsilon_0}$, кН·м.

При этом оптимальному режиму работы двигателя соответствует частота вращения

$$n_{\varepsilon_0} = 0,5 \cdot n_X + \sqrt{0,25 \cdot n_X^2 - \varepsilon_{NO} \cdot (n_X \cdot n_H - n_H^2)}, \quad (1.9)$$

Значение n_{ε_0} в процессе работы можно поддерживать по тахоспидометру путем соответствующего изменения скорости движения трактора и всего агрегата.

Более эффективным, естественно, является автоматическое поддержание значения n_{ε_0} путем бесступенчатого изменения скорости движения трактора, однако такие устройства не на всех современных отечественных тракторах установлены. Оптимальный коэффициент загрузки двигателя по крутящему моменту ε_{M_0} определяется с учетом (1.8) из равенства

$$\varepsilon_{M_0} = \frac{M_{\varepsilon_0}}{M_H} = \varepsilon_{NO} \cdot \frac{n_H}{n_{\varepsilon_0}}, \quad (1.10)$$

На регуляторной ветви имеем $n_H < n_{\varepsilon_0}$, поэтому $\varepsilon_{M_0} < \varepsilon_{N_0}$. Равенство $\varepsilon_{M_0} = \varepsilon_{N_0}$ имеет место только при $n_H = n_{\varepsilon_0}$. При нормальной загрузке двигателя значения n_H и n_{ε_0} близки между собой, поэтому в практических расчетах можно приближенно принять $\varepsilon_{M_0} = \varepsilon_{N_0}$.

Распределение момента сил сопротивления на валу двигателя приближенно можно принять нормальным. При этом наименьшее M_{cm} и наибольшее M_{cm} его значения определяются из равенств:

$$M_{CM} = \overline{M_C} - 3\zeta_M; \quad M_{cm} = \overline{M_C} + 3\zeta_M, \quad (1.11)$$

где $\overline{M_C}$ — математическое ожидание момента сил сопротивления, кН·м;
 ζ_M — среднее квадратическое отклонение момента, кН·м.

Значение $M_c = M_{\epsilon 0}$ с учетом (1.9) можно определить на основании (1.8) в виде

$$\overline{M_C} = \frac{\epsilon_{N0} \cdot M_H \cdot n_H}{n_{\epsilon 0}}, \quad (1.12)$$

Коэффициент вариации ν_M и среднее квадратическое отклонение ζ_M связаны соотношениями:

$$\nu_M = \frac{\xi_M}{M_C} \cdot 100; \quad \xi_M = \frac{\overline{M_C} \cdot \nu_M}{100}, \quad (1.13)$$

При этом равенства (1.11) соответственно примут вид:

$$M_{CM} = \overline{M_C} \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot \nu_M}{100}\right);$$

$$M_{cm} = \overline{M_C} \cdot \left(1 + \frac{3 \nu_M}{100}\right). \quad (1.14)$$

Если $M_{cm} < M_y$, то в процессе работы не требуется переключать передачи трактора из-за перегрузки двигателя и наоборот.

Если получено значение $M_{cm} > M_y$, то это свидетельствует о том, что оптимальный коэффициент перегрузки ϵ_{N0} не может гарантировать полное исключение чрезмерных перегрузок из-за случайного характера изменения сил сопротивления. Будет весьма мала только вероятность таких перегрузок. Если стремиться к полному исключению таких перегрузок путем уменьшения ϵ_N , то возрастает вероятность работы двигателя со средней недогрузкой и, как следствие, ухудшение его технико-экономических показателей.

Кроме рассмотренной нормальной регуляторной характеристики двигателя, получаемой на стенде при полной подаче топлива, в эксплуатационных условиях используют также частичные характеристики, получаемые при пониженной подаче топлива из-за невозможности полной загрузки двигателя. Регуляторные ветви частичных характеристик примерно параллельны линии **ab** (с левой стороны) на рисунке 1.1, а укороченные корректорные ветви совпадают с линией **bc**.

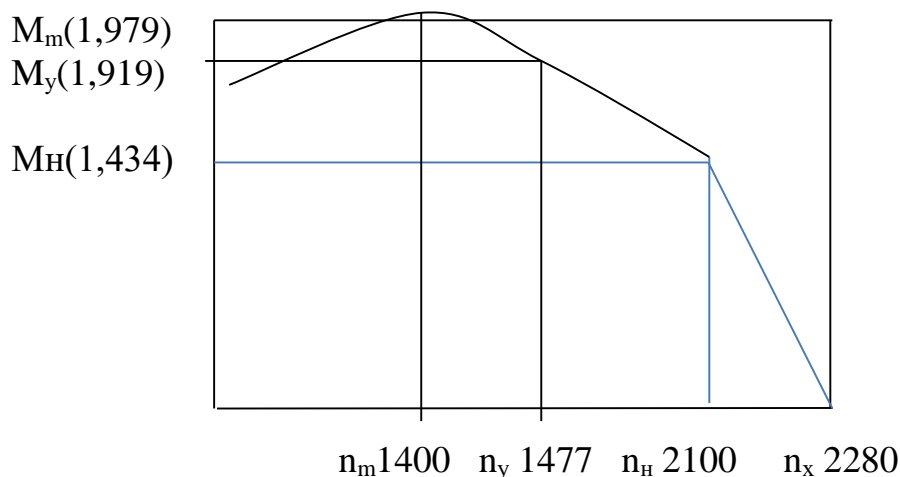
Для экономии топлива и энергии на частичном режиме рекомендуется включить соответствующую более высокую скорость при одновременном уменьшении подачи топлив. Диапазон практического использования частичных режимов работы ограничен тем обстоятельством, что при этом укорачивается корректорная ветвь регуляторной характеристики и ухудшается способность двигателя устойчиво преодолевать кратковременные перегрузки. Полученные закономерности справедливы и для двигателей самоходных сельскохозяйственных машин, так как на них также установлены дизельные двигатели с всережимными регуляторами.

Пример расчета варианта задания № 30.

1. Выписываем из таблицы 1.1 исходные данные варианта №30.

№ варианта	Трактор	Двигатель	Исходные данные по двигателям						Удельный расход g_e , г/(кВт·ч)
			N_H , кВт	M_H , кН·м	M_{max} , кН·м	n_H , об/мин	n_x , об/мин	n_m , об/мин	
30	JD9320	JDPT6	245,2	1,434	1,979	2100	2280	1400	240

2. Строим регуляторную характеристику двигателя в функции частоты вращения в соответствии с данными варианта.



3. Значение мощности N_m при наибольшем крутящем моменте M_m рассчитываем по формуле (1.1)

$$N_m = 0,105 \cdot 1,979 \cdot 1400 = 290,913 \text{ кВт}$$

4. Коэффициенты приспособляемости по крутящему моменту (коэффициент запаса крутящего момента) k_m и по частоте вращения k_n определяем по формуле (1.2)

$$K_M = \frac{1,979}{1,434} = 1,380; \quad K_n = \frac{2100}{1400} = 1,5$$

5. Определяем крутящий момент, соответствующий устойчивой работе двигателя по формуле (1.3)

$$M_y = 0,97 \cdot 1,979 = 1,919 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

6. Определяем устойчивую частоту вращения вала двигателя n_y , соответствующую в формуле (1.3) наибольшему значению M_m по формуле (1.6)

$$\begin{aligned} n_y &= 2100 - \left[\frac{0,97 \cdot 1,979 - 1,434}{1,979 - 1,434} \right] \cdot (2100 - 1400) = 2100 - \left[\frac{0,485}{0,545} \right] \cdot 700 \\ &= 2100 - 0,889 \cdot 700 = 2100 - 623 = 1477 \text{ об/мин.} \end{aligned}$$

7. Определяем по таблице 1.2 значение $\epsilon_{N_{opt}}$ при коэффициенте вариации момента сил сопротивления $\nu_m = 20\%$.

$$\epsilon_{N_{opt}} = 0,837$$

8. Оптимальному режиму работы двигателя соответствует оптимальная частота вращения, которую определяем по формуле (1.9)

$$\begin{aligned}
n_{\varepsilon 0} &= 0,5 \cdot 2280 + \sqrt{0,25 \cdot 2280^2 - 0,837 \cdot (2280 \cdot 2100 - 2100^2)} = \\
&= 1140 + \sqrt{1299600 - 0,837 \cdot (4788000 - 4410000)} = \\
&= 1140 + \sqrt{1299600 - 0,837 \cdot 378000} = \\
&= 1140 + \sqrt{1299600 - 316386} = 1140 + \sqrt{983214} = \\
&= 1140 + 990 = 2130 \text{ об/мин.}
\end{aligned}$$

9. Подставив значение $n_{\varepsilon 0}$ в формулу (1.8) получим

$$\varepsilon_{NO} = \frac{2280 \cdot 2130 - 2130^2}{2280 \cdot 2100 - 2100^2} = \frac{4856400 - 4536900}{4788000 - 4410000} = \frac{319500}{378000} = 0,845$$

10. Оптимальный коэффициент загрузки двигателя по крутящему моменту ε_{MO} определяется с учетом (1.8) по формуле (1.10)

$$\varepsilon_{MO} = 0,845 \cdot \frac{2100}{2130} = \frac{1774,5}{2130} = 0,833$$

11. Значение $M_c = M_{\varepsilon 0}$ с учетом (1.9) определяем на основании (1.8) по формуле (1.12)

$$\overline{M_c} = \frac{0,845 \cdot 1,434 \cdot 2100}{2130} = \frac{2545}{2130} = 1,195 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

12. Коэффициент вариации ν_M и среднее квадратическое отклонение ζ_M определяем по формуле (1.13)

$$\xi_M = \frac{1,195 \cdot 20}{100} = \frac{23,9}{100} = 0,239$$

13. Определяем наименьшее и наибольшее значения крутящего момента по формуле (1.14)

$$M_{cm} = 1,195 \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot 20}{100}\right) = 1,195 \cdot (1 - 0,6) = 1,195 \cdot 0,4 = 0,478 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_{cm} = 1,195 \cdot (1 + 0,6) = 1,195 \cdot 1,6 = 1,912 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Так как $M_{cm} < M_y$, (как в нашем примере) то в процессе работы не требуется переключать передачи трактора из-за перегрузки двигателя и наоборот.

Если получено значение $M_{cm} > M_y$, то это свидетельствует о том, что оптимальный коэффициент перегрузки e_{n0} не может гарантировать полное исключение чрезмерных перегрузок из-за случайного характера изменения сил сопротивления. Будет весьма мала только вероятность таких перегрузок. Если стремиться к полному исключению таких перегрузок путем уменьшения e_n , то возрастает вероятность работы двигателя со средней недогрузкой и, как следствие, ухудшение его технико-экономических показателей.

Кроме рассмотренной нормальной регуляторной характеристики двигателя, получаемой на стенде при полной подаче топлива, в эксплуатационных условиях используют также частичные характеристики, получаемые при пониженной подаче топлива из-за невозможности полной загрузки двигателя. Регуляторные ветви частичных характеристик примерно параллельны линии *ab* (с левой стороны) на рисунке 1.1, а укороченные корректорные ветви совпадают с линией *bc*.

Для экономии топлива и энергии на частичном режиме рекомендуется включить соответствующую более высокую скорость при одновременном уменьшении подачи топлив. Диапазон практического использования частичных режимов работы ограничен тем обстоятельством, что при этом укорачивается корректорная ветвь регуляторной характеристики и ухудшается способность двигателя устойчиво преодолевать кратковременные перегрузки. Полученные закономерности справедливы и для двигателей самоходных сельскохозяйственных машин, так как на них также установлены дизельные двигатели с всережимными регуляторами.

При компьютерном варианте выполнения задания в качестве исследовательской работы студенты могут составить математические модели полных регуляторных характеристик двигателей со всеми эксплуатационными показателями, а также вероятностные модели сил сопротивления с последующим анализом полученных многовариантных решений.

Отчет.

Результаты расчетов представить в виде таблицы.

Итоговые результаты расчетов по пунктам, включая исходные данные, оформить в виде таблицы 1.3.

Таблица 1.3

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
1	Трактор	JD9320
2	Двигатель	JDPT6
3	Номинальная мощность	245,2 кВт
4	Номинальный крутящий момент, Мн	1,434 кН·м
5	Максимальный крутящий момент, Мм	1,979 кН·м
6	Номинальная частота вращения,	2100 об/мин
7	Частота вращения на холостом ходу,	2280 об/мин
8	Максимальная частота вращения,	1400 об/мин
9	Максимальная мощность,	290,913 кВт
10	Коэффициент приспособляемости по крутящему моменту, Км	1,380
11	Коэффициент приспособляемости по частоте вращения, Кп	1,5
12	Крутящий момент соответствующий устойчивой работе двигателя, Му	1,919 кН·м
13	Коэффициент вариации, ν_m	20%
14	Коэффициент загрузки двигателя, ϵ_{Nopt}	0,837
15	Частота вращения соответствующая устойчивой работе двигателя, n_y	1477 об/мин
16	Частота вращения соответствующая оптимальной работе двигателя, $n_{\epsilon 0}$	2130 об/мин
17	Коэффициент загрузки двигателя на оптимальном режиме работы по мощности, ϵ_{N0}	0,845
18	Среднее значение момента сил сопротивления, M_c	1,195 кН·м
19	Среднее квадратическое отклонение, ζ_m	0,239
20	Наименьшее значение M_{cm}	0,478 кН·м
21	Наибольшее значение M_{cm}	1,912 кН·м

Практическое применение рассматриваемых в данном задании методов обеспечивает более полное использование мощности двигателя при одновременном уменьшении расхода топлива и улучшении экологических показателей за счет снижения вредных выбросов в атмосферу.

2. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ. ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ И ПОЧВОЗАЩИТНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

Цель задания — приобретение навыков самостоятельного выбора режимов высокоэффективного использования тракторов в зависимости от условий работы.

Трактор является промежуточным звеном при передаче энергии от двигателя к рабочим органам сельскохозяйственных машин. Поэтому одной из целей решения соответствующих задач является обоснование такого оптимального скоростного режима, при котором потери энергии при ее передаче к сельскохозяйственной машине будут минимальными с учетом допустимого буксования.

Таким образом, с позиций системного подхода полученный в первом задании оптимальный режим загрузки двигателя дополняется оптимизацией режима работы самого трактора.

Содержание задания

1. Выписать из таблицы 2.1 исходные данные по соответствующему варианту задания.

2. Определить номинальное тяговое усилие заданного трактора $R_{крн}$ и сравнить с значением, соответствующим его тяговому классу.

3. Определить оптимальный по максимуму тягового КПД энергосберегающий режим работы трактора и соответствующие значения тягового усилия $R_{кр0}$, рабочей скорости V_0 и коэффициента буксования δ_0 .

4. Сравнить δ_0 с допустимым по агротехническим требованиям буксованием δ_d и при $\delta_0 > \delta_d$ определить допустимые значения тягового усилия трактора $R_{крд}$ и рабочей скорости V_d .

5. Показать оптимальные и допустимые по буксованию значения тягового усилия и рабочей скорости (полученные диапазоны $R_{кр0} - R_{крд}$ и $V_0 - V_d$) на тяговой характеристике трактора.

Таблица 2.1 – Варианты заданий

№ варианта	Трактор	Колесная формула	Мощность, кВт	Эксплуатационная масса, кг	Тяговый класс, кН	Энергонасыщенность, кВт/т
1	Беларус-80	4К2	60	3345	14	18,0
2	Беларус-82	4К4	66	3780	14	17,5
3	Беларус-1025	4К2	77	4200	20	18,3
4	Беларус-1025	4К4	77	4345	20	17,7
5	Беларус-1221	4К4	96	5700	20	16,8
6	Беларус-1523	4К4	114	6000	20	19,0
7	Беларус-2102	4К4	156	10 800	40	14,4
8	JD-6620	4К4	65	4650	20	14,0
9	JD-6920SE	4К4	81,5	5900	20	13,8
10	JD-6920	4К4	99,5	6300	30	15,8
11	JD-77300	4К4	138	7770	30	17,7
12	JD-8400	4К4	170,2	8705	40	19,4
13	JD-8520	4К4	199	12 080	50	16,5
14	JD-9320	4К4	245	15 000	50	16,3
15	ХТЗ-150.05	4К4	121,5	8092	30	15,0
16	Т-4А.01	Гусеничный	99,3	9010	40	11,0
17	ДТ-175С	Гусеничный	116	7622	30	15,3
18	ЛТЗ-55А	4К4	39	3157	9	12,3
19	К-701М	4К4	246	12 900	50	19,1
20	ДТ-75Д	Гусеничный	66,3	6420	30	10,4
21	Т-150	Гусеничный	117,6	7460	30	15,8
22	ЛТЗ-60АВ	4К4	42,3	3490	14	12,1
23	ВТЗ-2032	4К2	18,4	1885	6	9,7
24	ВТЗ-2038	4К2	33	2370	6	13,9
25	Т-30А-80	4К4	33	2430	6	13,8
26	Т-40МС	4К2	36,4	2620	9	13,9
27	К-701М	4К4	221,0	13 800	50	16,0
28	ЛТЗ-155	4К4	110	5610	20	19,6
29	К-700М	4К4	246	12 200	50	20,2
30	ДТ-75М	Гусеничный	80,8	7205	30	11,2

Последовательность выполнения работы.

Варианты заданий охватывают все основные типы используемых и перспективных тракторов.

При выполнении технологического процесса мощность от двигателя трактора передается к сельскохозяйственным машинам. В связи с этим одной из задач с позиций ресурсосбережения является обоснование такого скоростного режима, при котором потери мощности в самом тракторе будут минимальными с учетом агротехнических требований на буксование.

Таким образом, с позиций системного подхода полученный в задании 1 оптимальный режим загрузки двигателя дополняется оптимизацией режима работы трактора при ограничении вредного воздействия на почву, связанного с буксованием.

Номинальным тяговым усилием в соответствии с принятой в нашей стране классификацией тракторов называют тяговое усилие трактора базового типа, реализуемое на стерне колосовых нормальной твердости и влажности на суглинистом черноземе при регламентируемом (допустимом по агротехническим требованиям) уровне буксования: **0,15** — для колесных **4К4**; **0,17- 0,18** — для колесных **4К2** и **0,05** — для гусеничных тракторов при работе двигателя на регуляторной ветви характеристики.

По указанному показателю выделяют десять классов сельскохозяйственных тракторов: **0,2, 0,6, 0,9, 1,4, 2, 3, 4, 5, 6, 8**. Указанные цифры соответствуют значениям номинальных тяговых усилий тракторов (табл. 2). Для перехода к современной системе (СИ) значения тяговых классов тракторов переводят в килоньютоны (кН) путем умножения на **10**. При этом в пределах каждого тягового класса оказываются тракторы определенного диапазона номинальных тяговых усилий $P_{крн}$. Соответствующие литературные данные приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Тяговые классы тракторов и соответствующие диапазоны номинальных тяговых усилий

Тяговый класс трактора	Диапазоны номинальных тяговых усилий $P_{крН}$, кН	Тяговый класс трактора	Диапазоны номинальных тяговых усилий $P_{крН}$, кН
2	1,8-5,4	30	27-36
6	5,4-8,1	40	36-45
9	8,1-12,6	50	45-54
14	12,6-18	60	57-72
20	18-27	80	72-108

Верхние границы каждого диапазона в таблице 2.2 также относятся к соответствующему классу тяги.

Номинальное тяговое усилие заданного трактора $P_{крН}$ в указанных ранее условиях рассчитывается по формуле (кН)

$$P_{крН} = 10^{-3} \cdot m \cdot q \cdot (\varphi_d \cdot \lambda - f),$$

где m — эксплуатационная масса трактора, кг; g — ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; φ_d — коэффициент сцепления движителей трактора с почвой при допустимом буксовании; λ — доля веса трактора, приходящаяся на движители (коэффициент нагрузки ведущих колес); f — коэффициент сопротивления качению трактора.

При практических расчетах пользуются упрощенным равенством

$$P_{крН} = G_H \cdot \varphi \cdot K_{крН} = 10^{-3} m \cdot q \cdot \varphi_{крН}, \quad (2.1)$$

где G_H — номинальный эксплуатационный вес трактора, соответствующий допустимому (номинальному) буксованию, кН; $\varphi_{крН}$ — коэффициент использования сцепного веса трактора при допустимом (номинальном) буксовании.

На основании обобщения результатов многочисленных тяговых испытаний тракторов по литературным данным рекомендуются следующие значения $\varphi_{крН}$ для практических расчетов:

- $\varphi_{крН} = 0,37-0,39$ — для колесных тракторов 4К2;
- $\varphi_{крН} = 0,40-0,45$ — для колесных тракторов 4К4;
- $\varphi_{крН} = 0,50-0,60$ — для гусеничных тракторов.

Подставив значение $\Phi_{крн}$ в формулу (2.1), получим расчетное номинальное тяговое усилие трактора $P_{крн}$, которое следует сопоставить с данными таблицы 2.2. Определенное расхождение, естественно, неизбежно, но в целом результаты должны быть близкими.

Энергосберегающий диапазон изменения тяговых усилий трактора находится в зоне $P_{кр} = P_{кр0} - P_{крд}$ между значениями $P_{кр0}$ при максимальном тяговом КПД $\eta_T = \eta_{Тм}$ и $P_{крд}$ при допустимом буксовании $\delta = \delta_d$ (значения δ_d приведены ранее).

Указанный диапазон изменения $P_{кр}$ обоснован по следующим соображениям. При максимуме тягового КПД $\eta_T = \eta_{Тм}$ суммарные непроизводительные потери мощности в самом тракторе на самопередвижение и на буксование будут наименьшими (потери мощности в трансмиссии при установившемся режиме работы можно принять постоянными). Однако трактор используется с сельскохозяйственными машинами, тяговое сопротивление большинства которых возрастает с увеличением скорости трактора и соответственно всего агрегата.

Энергосберегающий режим работы при этом смещается в сторону меньших значений рабочей скорости трактора и агрегата тем значительнее, чем больше влияние скорости на тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины. Такое уменьшение скорости возможно только до значений V_d и $P_{крд}$, соответствующих допустимому буксованию $\delta = \delta_d$. Как будет показано в последующих заданиях, в диапазоне $P_{кр} = P_{кр0} - P_{крд}$ трактор работает в энергосберегающем режиме с большинством сельскохозяйственных машин. Если тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины мало зависит от скорости, то энергосберегающие режимы трактора и всего агрегата совпадают при $P_{кр} = P_{кр0}$.

Необходимо для определения $P_{кр0}$ выразить тяговый КПД трактора η_T в функции $P_{кр}$ на основании известного из теории трактора исходного выражения

$$\eta_T = \eta_{Тр} \cdot \eta_f \cdot \eta_\delta, \quad (2.2)$$

где η_T — тяговый КПД трактора; $\eta_{Тр}$, η_f , η_δ — КПД, учитывающие потери мощности соответственно в трансмиссии, на самопередвижение трактора и на буксование.

Значение η_{TP} для установившегося режима рабочего хода трактора приближенно можно принять постоянным (в расчетах можно принять усредненное значение $\eta_{TP} = 0,88$). Для определения η_f воспользуемся равенством

$$\eta_f = \frac{P_{кр}}{P_k} = \frac{P_{кр}}{P_{кр} + 10^{-3} \cdot m \cdot g \cdot f} = \frac{\varphi_{кр}}{\varphi_{кр} + f}, \quad (2.3)$$

где $P_{кр}, P_k$ — значения тягового усилия и касательной силы трактора, кН; $\varphi_{кр}$ — коэффициент использования эксплуатационного веса трактора, $\varphi_{кр} = P_{кр} / 10^{-3} m \cdot g$; P_f — сила сопротивления качению трактора, кН, $P_f = 10^{-3} m \cdot g \cdot f$.

Значение η_δ зависит от самого буксования δ в виде

$$\eta_\delta = 1 - \delta \quad (2.4)$$

Буксование δ при этом также определяется в функции $\varphi_{кр}$ по эмпирической формуле:

$$\delta = \frac{a \cdot \varphi_{кр}}{b - \varphi_{кр}}, \quad (2.5)$$

где a, b — эмпирические коэффициенты, определяемые по результатам тяговых испытаний тракторов.

При этом для всех однотипных тракторов на одном и том же почвенном фоне значения a и b примерно одинаковые, что существенно упрощает практические расчеты.

На основании (2.2) - (2.5) получим значение тягового КПД трактора в функции $\varphi_{кр}$

$$\eta_T = \eta_{TP} \cdot \left(\frac{\varphi_{кр}}{\varphi_{кр} + f} \right) \cdot \left(1 - \frac{a \cdot \varphi_{кр}}{b - \varphi_{кр}} \right). \quad (2.6)$$

По условию $d\eta_T/d\varphi_{кр} = 0$ получим оптимальное значение $\varphi_{кр0}$, обеспечивающее максимум тягового КПД трактора:

$$\varphi_{кр0} = \frac{P_{кр0}}{10^{-3} \cdot m \cdot g} = S \pm \sqrt{S^2 - d}, \quad (2.7)$$

где

$$S = \frac{b \cdot f \cdot (1 + a)}{b - (1 + a) \cdot (b - f)}; \quad d = \frac{b^2 \cdot f}{b - (1 + a) \cdot (b - f)}.$$

Перед корнем берется знак «+» при $S < 0$ и $d < 0$, а в остальных случаях знак «-».

По значению $\Phi_{\text{КРО}}$ определим соответствующее оптимальное тяговое усилие трактора

$$P_{\text{КРО}} = 10^{-3} m \cdot q \cdot \Phi_{\text{КРО}}. \quad (2.8)$$

Численные значения a, b и f приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Значения a, b, f

Тип трактора	Стерня			Поле, подготовленное под посев		
	a	b	f	a	b	f
4К2 с колесами разного размера	0,141	0,615	0,08-0,10	0,248	0,712	0,16-0,20
4К4 с колесами разного размера	0,193	0,919	0,08-0,10	0,212	0,880	0,16-0,20
4К4 с колесами одинакового размера	0,110	0,773	0,08-0,10	0,0834	0,609	0,16-0,20
Гусеничные	0,0089	0,777	0,06-0,08	0,0441	0,869	0,09-0,12

Значение $\varphi_{\text{КРД}}$ при допустимом буксовании получим из формулы (2.5) при $\delta = \delta_{\text{д}}$:

$$\varphi_{\text{КРД}} = \frac{P_{\text{КРД}}}{10^{-3} \cdot m \cdot g} = \frac{b \cdot \delta_{\text{д}}}{a + \delta_{\text{д}}}. \quad (2.9)$$

Затем можно рассчитать соответствующее допустимое тяговое усилие трактора:

$$P_{\text{КРД}} = 10^{-3} \cdot m \cdot g \cdot \left(\frac{b \cdot \delta_{\text{д}}}{a + \delta_{\text{д}}} \right). \quad (2.10)$$

На основании (2.8), (2.10) получим искомый энергосберегающий диапазон изменения тяговых усилий трактора:

$$P_{\text{КР}} = P_{\text{КРО}} \dots P_{\text{КРД}} \quad (2.11)$$

в пределах которого в последующем должны рассчитываться соответствующие агрегаты.

Максимальное значение тягового КПД трактора $\eta_{\text{т0}}$, соответствующее $P_{\text{КРО}}$, получим из формулы (2.6) при $\Phi_{\text{КР}} = \Phi_{\text{КРО}}$, определяемом из (2.7), а значение $\eta_{\text{тд}}$ при допустимом буксовании из (2.6) при $\Phi_{\text{КР}} = \Phi_{\text{КРД}}$ из (2.9).

При $\varphi_{кр} = \varphi_{кРо}$ можно определить также буксование δ_0 , соответствующее максимуму тягового КПД трактора:

$$\delta_0 = \frac{a \cdot \varphi_{кРо}}{b - \varphi_{кРо}}. \quad (2.12)$$

Для определения энергосберегающего диапазона рабочих скоростей трактора V_0 и V_d , соответствующих $P_{кРо}$ и $P_{кРд}$, воспользуемся с учетом (2.3) равенством

$$P_{кР} = P_K - 10^{-3} \cdot m \cdot g \cdot f = \frac{N_H \cdot \varepsilon_N \cdot \eta_{ТР}}{V_T} - 10^{-3} \cdot m \cdot g \cdot f, \quad (2.13)$$

где N_H — номинальная мощность двигателя трактора (выбирается из табл. 2.1), кВт; ε_N — коэффициент загрузки двигателя; V_T — теоретическая скорость трактора, м/с.

Рабочая V и теоретическая V_T скорости связаны соотношением

$$V = V_T \cdot (1 - \delta). \quad (2.14)$$

Приближенно с учетом данных таблицы 1.2 из задания 1 для ε_N можно принять значение $\varepsilon_N = 0,90$.

Значения скоростей V_0 и V_d на основании формул (2.13), (2.14) определяются из равенств:

$$V_0 = \frac{N_H \cdot \varepsilon_N \cdot \eta_{ТР} \cdot (1 - \delta_0)}{P_{кРо} + 10^{-3} \cdot m \cdot g \cdot f} = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_N \cdot \eta_{ТР} \cdot (1 - \delta_0)}{g \cdot (\varphi_{кРо} + f)}; \quad (2.15)$$

$$V_d = \frac{N_H \cdot \varepsilon_N \cdot \eta_{ТР} \cdot (1 - \delta_d)}{P_{кРд} + 10^{-3} \cdot m \cdot g \cdot f} = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_N \cdot \eta_{ТР} \cdot (1 - \delta_d)}{g \cdot (\varphi_{кРд} + f)}, \quad (2.16)$$

где ε — энергонасыщенность трактора, $\varepsilon = N_H / (10^3 m)$, кВт/т.

Энергосберегающий диапазон скоростей при этом составит

$$V = V_d \dots V_0. \quad (2.17)$$

Из полученных результатов следует, что энергосберегающий диапазон скоростей для однотипных тракторов на одинаковых почвенных фонах и при равных энергонасыщенностях будет один и тот же, что существенно облегчает практические расчеты.

Диапазоны энергосберегающих значений тяговых усилий $P_{кр} = P_{кРо} - P_{кРд}$ и рабочих скоростей $V = V_d - V_0$ показаны на рисунке 2.1 на примерной тяговой характеристике трактора.

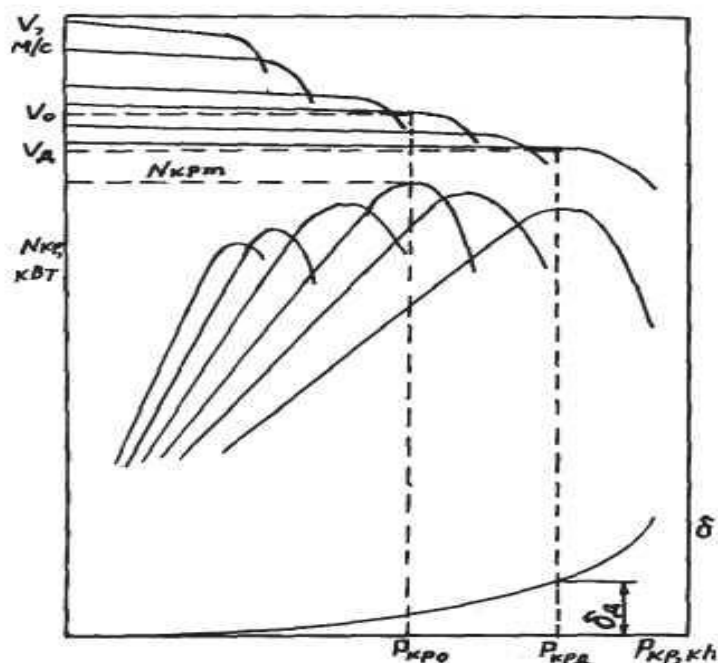


Рисунок 2.1 – Общий вид тяговой характеристики трактора

Значения $R_{кр0}$ и V_0 примерно соответствуют передаче, на которой тяговая мощность $N_{кр}$ имеет наибольшее значение $N_{кр} = N_{крm}$, а значения $R_{крд}$ и $V_д$ определяются при $\delta = \delta_д$, как показано на рисунке.

Если имеется опытная тяговая характеристика трактора на данном почвенном фоне, то приближенные значения $R_{кр0}$, V_0 , δ_0 и $R_{крд}$, $V_д$, $\delta_д$ выбираются непосредственно по тяговой характеристике, а значения $\eta_{т0}$ и $\eta_{тд}$ рассчитываются по формулам:

$$\eta_{т0} \approx \frac{N_{крm}}{N_H \cdot \epsilon_H}; \quad \eta_{тд} \approx \frac{R_{крд} \cdot V_д}{N_H \cdot \epsilon_H}. \quad (2.18)$$

Если описанный энергосберегающий режим работы трактора в диапазоне $R_{кр} = R_{кр0} - R_{крд}$ не может быть реализован по агротехническим или другим причинам, то за пределы указанного диапазона можно переходить только при значениях $R_{кр} < R_{кр0}$ и соответственно $V > V_0$, т. е. в сторону повышенных скоростей при обеспечении требуемого качества работы. При необходимости возможен и переход на частичный режим работы двигателя, описанный в предыдущем задании. Во всех указанных случаях удельный расход энергии и топлива на единицу объема выполненной работы будет больше по сравнению с оптимальным режимом работы двигателя и трактора.

При выполнении данного задания на компьютере в качестве исследовательской студенческой работы следует получить закономерности изменения определяемых параметров и показателей работы трактора для всего диапазона изменения действующих факторов с последующим научным анализом и практическими рекомендациями под руководством преподавателя.

Например, можно проанализировать влияние на показатели работы трактора массы балласта, а также дополнительной нагрузки на ходовую часть трактора, создаваемой устройствами типа гидроразжимателя сцепного веса (ГРСВ).

Для этого в соответствующих равенствах эксплуатационный вес трактора $G=10^{-3}mg$ упрощенно следует представить в виде

$$G= 10^{-3}g(m_0+ m_δ) + P_Г \quad (2.19)$$

где $m_δ$ — общая масса балластных грузов, кг; $P_Г$ — нормальная нагрузка на ходовую часть трактора, создаваемая ГРСВ, кН; m_0 — эксплуатационная масса трактора без балластных грузов, кг.

Изменяя $m_δ$ и $P_Г$ в соответствующих пределах, можно обосновать желаемый энергосберегающий режим работы трактора.

При более точных расчетах, естественно, следует учитывать перераспределение веса трактора между осями и другие факторы, включая вопросы устойчивости и управляемости в соответствии с теорией трактора.

Пример расчета варианта задания №16.

1. Выписываем из таблицы 2.1 вариант задания №16.

№ варианта	Трактор	Колесная формула	Мощность, кВт	Эксплуатационная масса, кг	Тяговый класс, кН	Энергонасыщенность, кВт/т
16	Т-4А.01	Гусеничный	99,3	9010	40	11,0

В соответствии с вариантом задания, тяговому классу **40 кН** соответствует диапазон номинальных тяговых усилий $P_{кр.н} = 36...45$ кН.

2. Определяем номинальное тяговое усилие заданного трактора по формуле (2.1)

$m = 9010$ кг — эксплуатационная масса трактора, кг; $g = 9,81$ — ускорение свободного падения, м/с²; $\phi_{крн} = 0,5$ — коэффициент использования эксплуатационного веса трактора

$$P_{крн} = 10^{-3} \cdot 9010 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 44,2 \text{ Кн}$$

3. Уточняем значение коэффициента использования эксплуатационного веса трактора по формуле $\phi_{кр} = P_{кр} / 10^{-3} m g$

$$\phi_{кр} = 44,2 / 10^{-3} \cdot 9010 \cdot 9,81 = 44,2 / 88,4 = 0,5$$

4. Определяем КПД, учитывающий потери мощности на самопередвижение трактора по формуле (2.3), $f = 0,06$

$$\eta_f = 0,5 / (0,5 + 0,06) = 0,5 / 0,56 = 0,89$$

5. Определяем значение буксования по формуле (2.5)

$a = 0,0089$; $b = 0,777$ — эмпирические коэффициенты из таблицы 2.3

$$\delta = \frac{0,0089 \cdot 0,5}{0,777 - 0,5} = \frac{0,00445}{0,277} = 0,016$$

6. Определяем значение КПД, учитывающий потери мощности на буксование по формуле (2.4)

$$\eta_\delta = 1 - 0,016 = 0,98$$

7. Тяговый КПД трактора определяем по формуле (2.2), принимая $\eta_{тр} = 0,88$

$$\eta_T = 0,88 \cdot 0,89 \cdot 0,98 = 0,77$$

8. Определяем значение коэффициентов S и d

$$S = \frac{0,777 \cdot 0,06 \cdot (1 + 0,0089)}{0,777 - (1 + 0,0089) \cdot (0,777 - 0,06)} = \frac{0,047}{0,054} = 0,87;$$

$$d = \frac{0,777^2 \cdot 0,06}{0,054} = \frac{0,36}{0,054} = 0,66.$$

9. Оптимальное значение $\phi_{кpo}$, обеспечивающее максимум тягового КПД трактора, определяем по формуле (2.7). Так как у нас значения S и d больше 0 перед корнем берем «-». Тогда

$$\phi_{кpo} = 0,87 - \sqrt{0,87^2 - 0,66} = 0,87 - \sqrt{0,7569 - 0,66} = 0,87 - \sqrt{0,0969} = 0,87 - 0,311 = 0,56.$$

10. По значению Φ_{KPO} , определяем оптимальное тяговое усилие трактора по формуле (2.8)

$$P_{KPO} = 10^{-3} \cdot 9010 \cdot 9,81 \cdot 0,56 = 49,5 \text{ Кн}$$

11. Определяем значение Φ_{KPD} при допустимом буксовании по формуле (2.9)

$$\Phi_{KPD} = \frac{0,777 \cdot 0,05}{0,0089 + 0,05} = \frac{0,039}{0,0589} = 0,66.$$

12. Затем рассчитываем соответствующее допустимое тяговое усилие трактора по формуле (2.10)

$$P_{KPD} = 10^{-3} \cdot 9010 \cdot 9,81 \cdot 0,66 = 58,3 \text{ Кн}$$

13. На основании (2.8) и (2.10) получим искомый энергосберегающий диапазон изменения тяговых усилий трактора

$$P_{KP} = 49,5 \dots 58,3 \text{ Кн}$$

14. Максимальное значение тягового КПД трактора η_{Tom} , при соответствующем P_{KPO} , получим из формулы (2.6) при $\Phi_{KP} = \Phi_{KPO}$, определяемом из (2.7), а значение тягового КПД η_{TD} при допустимом буксовании из формулы (2.6) при $\Phi_{KP} = \Phi_{KPD}$ из (2.9).

$$\eta_{Tom} = 0,88 \cdot \left(\frac{0,56}{0,56 + 0,06} \right) \cdot \left(1 - \frac{0,0089 \cdot 0,56}{0,777 - 0,56} \right) = 0,88 \cdot 0,90 \cdot 0,98 = 0,78$$

$$\eta_{TD} = 0,88 \cdot \left(\frac{0,66}{0,66 + 0,06} \right) \cdot \left(1 - \frac{0,0089 \cdot 0,66}{0,777 - 0,66} \right) = 0,88 \cdot 0,92 \cdot 0,95 = 0,76$$

15. При $\Phi_{KP} = \Phi_{KPO}$ определяем буксование, соответствующее максимуму тягового КПД трактора по формуле (2.12)

$$\delta_0 = \frac{0,0089 \cdot 0,56}{0,777 - 0,56} = \frac{0,004984}{0,217} = 0,023.$$

16. Определяем оптимальное значение рабочей скорости по формуле (2.15), учитывая

$\epsilon_N = 0,90$ – коэффициент загрузки двигателя из таблицы 1.2 задания №1;

$\mathcal{E} = 11 \text{ кВт/т}$ – энергонасыщенность трактора.

$$V_0 = \frac{11 \cdot 0,9 \cdot 0,88 \cdot (1 - 0,023)}{9,81 \cdot (0,56 + 0,06)} = \frac{8,51}{6,08} = 1,4 \text{ м/с.}$$

17. Определяем допускаемое значение рабочей скорости по формуле (2.16)

$$V_D = \frac{11 \cdot 0,9 \cdot 0,88 \cdot (1 - 0,05)}{9,81 \cdot (0,66 + 0,06)} = \frac{8,23}{7,06} = 1,16 \text{ м/с.}$$

Энергосберегающий диапазон скоростей составит

$$V = 1,16 \dots 1,40 \text{ м/с.}$$

Отчет.

Результаты расчетов по пунктам, включая исходные данные, представить в виде таблицы 2.4.

Таблица 2.4 – Результаты расчетов

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
1	Трактор	T-4A.01
2	Мощность, N_H	99,3, кВт
3	Эксплуатационная масса, m	9010, кг
4	Тяговый класс	40, кН
5	Энергонасыщенность, \mathcal{E}	11,0 кВт/т
6	Диапазон номинальных тяговых усилий, R_{KPH}	36...45 кН
7	Номинальное тяговое усилие, R_{KPH}	44,2 кН
8	Коэффициент использования эксплуатационного веса трактора, φ_{KP}	0,5
9	КПД, учитывающий потери мощности на самопередвижение, η_f	0,89
10	Буксование движителей, δ	0,016
11	КПД, учитывающий потери мощности на буксование, η_δ	0,98
12	Тяговый КПД трактора, η_T	0,77
13	S	0,87
14	d	0,66
15	Оптимальное значение φ_{KPO}	0,56
16	Оптимальное тяговое усилие, R_{KPO}	49,5 кН
17	Допускаемое значение φ_{KPD}	0,66
18	Допускаемое тяговое усилие, R_{KPD}	58,3 кН
19	Энергосберегающий диапазон тяговых усилий, $R_{KPO} \dots R_{KPD}$	49,5...58,3 кН
20	Максимальное значение тягового КПД трактора, $\eta_{ТОm}$	0,78

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
21	Допускаемое значение тягового КПД трактора, $\eta_{ТД}$	0,76
22	Буксование, δ_0	0,023
23	Оптимальная рабочая скорость, V_0	1,4 м/с
24	Допускаемая рабочая скорость, $V_д$	1,16 м/с
25	Энергосберегающий диапазон рабочих скоростей, $V_д - V_0$	1,16...1,4 м/с

3. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОБИЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН. ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

Цель задания — приобретение навыков самостоятельного выбора ресурсосберегающих режимов работы основных типов мобильных сельскохозяйственных машин с учетом агротехнических требований и условий работы.

Содержание задания

1. Выписать из таблицы 3.1 исходные данные по соответствующему варианту задания.
2. Определить общую силу тягового сопротивления всего агрегата R_a и машины R_m и прицепной части (в расчете на одну машину).
3. Определить требуемую мощность N_m , удельные энергозатраты E_m и соответствующую номинальную мощность двигателя трактора N_n в расчете на одну машину.
4. Обосновать практические рекомендации по энергосбережению и экономии топлива.
5. Определить основные вероятностные числовые характеристики силы тягового сопротивления сельскохозяйственной машины.

Последовательность выполнения работы.

Под мобильными сельскохозяйственными машинами подразумеваются такие машины, которые выполняют соответствующие технологические процессы путем перемещения по полю.

Сельскохозяйственные машины являются основными потребителями энергии в составе агрегата, поэтому одной из важнейших задач при их эксплуатации является уменьшение расхода энергии при высоком качестве работы.

Силы сопротивления сельскохозяйственной машины в общем случае характеризуются тяговым сопротивлением и моментом сил сопротивления на валу отбора мощности (ВОМ).

Тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины в общем случае характеризуется рациональной формулой В. П. Горячкина, которая получена применительно к плугам в виде

$$R_M = 10^{-3} m_M \cdot g \cdot f_M + K_{П} \cdot a_M \cdot b_M + \varepsilon \cdot a_M \cdot b_M \cdot V^2, \quad (3.1)$$

где m_M — масса плуга, кг; g — ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с²; f_M — коэффициент сопротивления протаскиванию плуга в открытой борозде; $K_{П}$ — удельное тяговое сопротивление плуга, кН/м²; a_M , b_M — глубина обработки и ширина захвата, м; ε — коэффициент скоростного сопротивления плуга, (кНс²)/м⁴; V — скорость плуга, м/с.

Таблица 3.1 – Варианты заданий

№ вар.	Вид операции	Сельскохозяйственная машина	b_M , м	V , м/с	ε , кг/м ²	α , град	m_M , кг
1	Вспашка тяжелых почв	ПП-8-40 (трактор класса 5)	3,2	2,50	—	1	2560
2	Вспашка средних почв	ПНИ-8-40 (трактор класса 5)	2,8-3,6	2,50	—	2	2150
3	Вспашка легких почв	ПЛН-5-35 (трактор класса 3)	1,75	2,77	—	3	800
4	Вспашка средних почв	ПНИ-5-40 (трактор класса 3)	1,75- 2,25	2,22	—	0	980
5	Вспашка тяжелых почв	ПЛН-4-35 (трактор класса 3)	1,4	2,22	—	0	710

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8
6	Вспашка средних почв	ПНИ-4-40 (трактор класса 3)	1,4-1,8	2,22	—	1	800
7	Вспашка легких почв	ПНИ-3-40 (трактор класса 1.4)	1,05- 1,35	2,22	—	2	586
8	Вспашка средних почв	ПЛН-3-35 (трактор класса 1.4)	1,05	2,22	—	0	475
9	Междурядная культивация	КРН-4,2Б	4,2	2,22	—	3	871
10	Междурядная культивация	КРН-5,6Б	5,6	2,22	—	0	1300
11	Междурядная культивация	КРН-8,4	8,4	2,22	—	0	2142
12	Обработка почвы плоскорезами	КПШ-5 (трактор класса 3)	4,57	2,50	—	1	900
13	Обработка почвы плоскорезами	КПШ-11 (трактор класса 5)	10	2,50	—	2	2590
14	Мотыжение бороной- мотыгой игольчатой	БМШ-15 (трактор класса 3)	14	2,77	—	0	6800
15	Мотыжение бороной- мотыгой игольчатой	БМШ-20 (трактор класса 5)	20	2,77	—	3	8600
16	Лушение стерни и дискование	ЛДГ-5А	5	2,77	—	0	1200
17	Лушение стерни и дискование	ЛДГ-10А	10	2,77	—	1	2480
18	Лушение стерни и дискование	ЛДГ-20	20	2,77	—	2	5430
19	Боронование зубовыми боронами	БЗСС-1	0,95	2,50	—	0	37,5
20	Сплошная культивация	КПС-4	4	2,77	—	2	927
21	Лушение стерни и дискование	ЛДГ-15А	15	2,50	—	3	3850
22	Прикатывание	ЗККШ-6 (3 катка)	6,1	2,77	—	3	1940
23	Посев зерновых	СЗА-3,6	3,6	2,50	—	1	1380
24	Посадка картофеля	СН-4Б	2,8	1,40	0,24	2	1015
25	Посадка картофеля	СКМ-6	4,2	1,67	0,28	0	1780
26	Посадка картофеля	СКС-4	2,8	1,94	0,32	3	1450
27	Посадка картофеля	КСМ-6	4,2	1,94	0,36	0	3060
28	Комбайновая уборка картофеля	ККУ-2А	1,4	1,40	2,00	2	4520
29	Уборка силосных культур	КС-1,8	1,6	2,22	2,00	1	2400
30	Уборка силосных культур	КСС-2,6	2,6	2,22	2,50	0	3800

Слагаемые в этом равенстве, как известно, характеризуют силы сопротивления, связанные соответственно с перемещением плуга по полю, с деформацией отрезаемого пласта почвы и с сообщением частицам почвы кинетической энергии. Разделив обе части равенства (3.1) на ширину захвата b_M , получим удельное тяговое сопротивление, справедливое для всех однотипных плугов:

$$K_{Пv} = \frac{R_M}{b_M} = 10^{-3} \cdot m_{МУ} \cdot g \cdot f_M + K_{П} \cdot a_M + \varepsilon \cdot a_M \cdot V^2, \quad (3.2)$$

где $m_{МУ}$ — средняя удельная масса плугов данного типа, кг/м.

Входящие в равенства (3.1), (3.2) общие и удельные составляющие сил сопротивления, связанные с обработкой сельскохозяйственных технологических материалов, справедливы практически для всех типов сельскохозяйственных машин и соответственно позволяют наметить общие направления как энергосбережения, так и ресурсосбережения.

К таким направлениям относятся: создание облегченных конструкций машин из более качественных материалов; разработка оптимальных геометрических форм рабочих органов сельскохозяйственных машин, обеспечивающих минимальный расход энергии на обработку соответствующих технологических материалов при высоком качестве работы (это выражается в уменьшении значений f_M , $K_{П}$ и ε); оптимальная настройка рабочих органов и всей машины на требуемый режим работы; хорошая подготовка полей, включая удаление камней и пожнивных остатков, выравнивание полей; обработка технологических материалов в таком состоянии, когда силы сопротивления наименьшие (например, для почвы это соответствует состоянию механической спелости при влажности примерно 18-20%) с учетом агротехнических требований; поддержание рабочих органов и машин в целом в хорошем техническом состоянии при высоком уровне качества технического обслуживания (например, при затупленных лемехах тяговое сопротивление плуга возрастает до 20-25%); создание благоприятных условий для работы людей на сельскохозяйственных машинах и др.

Из указанного множества направлений ресурсосбережения в пределах данного задания рассматриваются методы количественной оценки тягового со-

противления сельскохозяйственных машин и соответствующих энергозатрат для последующего составления ресурсосберегающих агрегатов.

Несмотря на универсальный характер формул (3.1), (3.2), их практическое применение затруднено из-за отсутствия достаточно надежных значений f_M , K_P и ϵ применительно к различным типам машин.

Исходя из этого, тяговое сопротивление рабочих машин определяют на основании обобщенных опытных данных по упрощенной формуле:

$$R_M = K_{va} \cdot b_M \quad (3.3)$$

где K_{va} — среднее удельное тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины данного типа с учетом влияния скорости и угла склона, кН/м.

Из формулы (3.2) видно влияние скорости на тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, которое выражается параболической зависимостью, показанной на рисунке 3.1. Рабочие скорости современных сельскохозяйственных машин в большинстве случаев выбирают в диапазоне от $V_0 > 1,4$ м/с (5 км/ч) до $V < 3,33$ м/с (12 км/ч), в пределах которых зависимость $K_v = f(v)$ с достаточной для эксплуатационных расчетов точностью может быть принята в виде прямой cd .

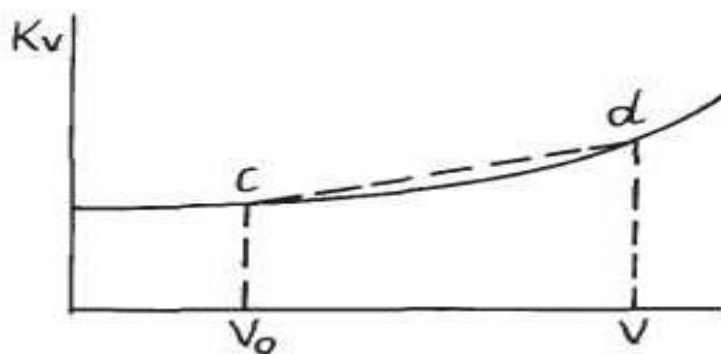


Рисунок 3.1 – Зависимость удельного тягового сопротивления рабочей машины от скорости

При этом удельное тяговое сопротивление машины в функции скорости имеет вид:

$$K_v = a_M \cdot K_0 \cdot [1 + \Delta K \cdot (V - V_0)] \text{ - для плугов;} \quad (3.4)$$

$$K_V = K \cdot [1 + \Delta K \cdot (V - V_0)] \text{ - для др. машин,} \quad (3.5)$$

где V – рабочая скорость машины, м/с, $V_0 = 1,4$ м/с; a_m – глубина вспашки, м; K_0 – удельное сопротивление плуга при скорости $V = V_0$, кН/м²; K – удельное тяговое сопротивление других машин при $V = V_0$, кН/м; ΔK – относительное приращение удельного тягового сопротивления при увеличении скорости на 1 м/с (при $V < V_0$ следует принять $\Delta K = 0$).

Обычно глубину вспашки принимают одинаковой: $a_m = 0,22$ м, но можно выбрать ее и с учетом местных условий.

Численные значения K_0 , K и ΔK для соответствующих операций приведены в таблице 3.2.

В условиях неровного рельефа следует учесть также удельное тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, связанное с преодолением подъема в соответствии с равенством

$$K_{Va} = K_V + 10^{-3} \cdot m_{MY} \cdot g \cdot \sin \alpha, \quad (3.6)$$

где α — угол склона, град.

Для случая спуска перед $\sin \alpha$ следует принять знак «-», однако расчеты в данном случае следует вести для наиболее тяжелого случая — подъема.

Значение m_{MY} для соответствующих типов машин также приведены в таблице (3.2).

На основании формул (3.2) - (3.6) общее тяговое сопротивление тяговых сельскохозяйственных машин получим в виде

$$R_M = K_{Va} \cdot b_M = (K_V + 10^{-3} m_{MY} \cdot g \cdot \sin \alpha) \cdot b_M. \quad (3.7)$$

Таблица 3.2 – Удельные тяговые сопротивления и массы сельскохозяйственных машин

Вид операции	K_0 , кН/м ²	K , кН/м	ΔK	m_{MY} , кг/м	m_{CY} , кг/м
Вспашка целины, залежи, пласта многолетних трав и стерни озимых на тяжелых почвах	63	—	0,216	616	—
Вспашка средних почв	52	—	0,180	616	—
Вспашка легких почв	42	—	0,108	616	—
Противоэрозионная обработка почвы плоскорезами	—	5,00	0,144	258	—

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6
Мотыжение вращающимися мотыгами	—	0,60	0,072	451	—
Лущение стерни и дискование	—	1,60	0,108	254	—
Боронование зубowymi боронами	—	0,50	0,072	40	60
Сплошная культивация	—	1,90	0,144	202	110
Междурядная культивация	—	1,60	0,108	234	—
Прикатывание	—	0,70	0,072	243	50
Посев зерновых	—	1,60	0,100	500	89
Посадка картофеля СН-4Б, СКМ-6	—	2,60	0,090	400	—
Посадка картофеля ККС-4	—	2,80	0,09	600	—
Посадка картофеля КСМ-6	—	3,20	0,09	728	—
Культивация междурядная	—	1,60	0,108	231	—
Комбайновая уборка картофеля	—	11,00	0,100	2900	—
Уборка силосных культур прицепными комбайнами	—	1,60	0,072	1390	—

Общее тяговое сопротивление прицепной части всего агрегата в расчете на одну машину R_a определяется с учетом тягового сопротивления сцепки

$$R_a = K_a \cdot b_M, \quad (3.8)$$

где K_a — общее удельное тяговое сопротивление рабочих машин и сцепки, кН/м.

Значение K_a рассчитывается по формуле

$$K_a = K_{VA} + 10^{-3} \cdot m_{cy} \cdot g \cdot (f_c \cdot \cos \alpha + \sin \alpha), \quad (3.9)$$

где m_{cy} — средняя удельная масса сцепки, кг/м; f_c — коэффициент сопротивления качению сцепки (усредненно можно принять $f_c = 0,16$).

Средние значения удельных масс сцепок в расчете на 1 м ширины захвата агрегата m_{cy} приведены в таблице 3.2. Для одномашинных агрегатов соответственно следует в (3.9) принять $m_{cy} = 0$.

Подставив значение K_a в формулу (3.8), получим общее тяговое сопротивление агрегата в расчете на одну сельскохозяйственную машину.

Для тягово-приводных машин (посадка и уборка картофеля, уборка силосных культур) определяется по аналогии с (3.7) условное тяговое сопротивление

$$R_{MB} = (K_{VA} + K_B) b_M, \quad (3.10)$$

где K_B — условное удельное сопротивление на валу отбора мощности, кН/м.

Значение K_B можно рассчитать по формуле

$$K_B = \frac{P_B}{b_M}. \quad (3.11)$$

Под P_B при этом подразумевается условное тяговое сопротивление на ВОМ, определяемое из равенства

$$P_B = \frac{N_B \cdot \eta_{TP}}{\eta_B \cdot V_T} = \frac{N_B \cdot \eta_{TP} \cdot (1 - \delta_B)}{\eta_B \cdot V}, \quad (3.12)$$

где N_B — мощность на ВОМ, кВт; η_{TP} , η_B — КПД трансмиссий соответственно ходовой части трактора и привода ВОМ; V_T , V — соответственно теоретическая и рабочая скорости машины (агрегата), м/с; δ_B — буксование движителей трактора с учетом мощности на ВОМ.

Значение N_B в практических расчетах приближенно принимают пропорциональной секундной подаче технологического материала:

$$N_B = a_N \cdot q = a_N \cdot b_M \cdot v \cdot u, \quad (3.13)$$

где q — секундная подача, кг/с; a_N — удельная мощность на единицу подачи, кВт/(кг/с); u — удельное количество технологического материала в расчете на единицу площади, кг/м².

На основании (3.11) - (3.13) условное удельное сопротивление на ВОМ получим в виде

$$K_B = \frac{a_N \cdot u \cdot \eta_{TP} \cdot (1 - \delta_B)}{\eta_B}, \quad (3.14)$$

Подставив в (3.10) значение K_{va} из (3.6) и K_B из (3.14), получим условное тяговое сопротивление тягово-приводной машины.

Значения u приведены в таблице 3.1, а для η_{TP} , η_B , δ_B можно принять приближенные значения $\eta_{TP} = 0,88$, $\eta_B = 0,95$, $\delta_B = 0,85\delta_d$.

Для a_N можно воспользоваться усредненными опытными значениями:

- $a_N = 2,25$ кВт/(кг/с) — посадка картофеля;
- $a_N = 4,00$ кВт/(кг/с) — комбайновая уборка картофеля;
- $a_N = 2,81$ кВт/(кг/с) — уборка силосных культур.

Потребная для работы сельскохозяйственной машины в составе агрегата мощность на валу двигателя определяется с учетом (3.8), (3.13) в виде суммы

$$N_M = N_T + N_B = \frac{R_a \cdot V}{\eta_T} + \frac{N_B}{\eta_B} = b_M \cdot V \cdot \left(\frac{K_a}{\eta_T} + \frac{a_N \cdot u}{\eta_B} \right), \quad (3.15)$$

где N_T, N_B – мощности, потребляемые на тяговые процессы и на ВОМ, кВт.

Для тягового КПД трактора η_T принимаем усредненные значения $\eta_T = 0,70$ — на стерне и $\eta_T = 0,60$ — на поле, подготовленном под посев. Почвенный фон стерни соответствует вспашке, лушению стерни и уборочным работам, а для остальных видов работ принимается поле, подготовленное под посев.

Соответствующие удельные энергозатраты в расчете на единицу площади выполненной работы E_M получим в виде

$$E_M = \frac{N_M}{b_M \cdot V} = \frac{K_a}{\eta_T} + \frac{a_N \cdot u}{\eta_B}, \text{ кДж/м}^2. \quad (3.16)$$

Значения $E_{MT} = K_a$ и $E_{MB} = a_N$ и соответствуют удельному расходу энергии непосредственно самой машиной на тяговые процессы и на привод рабочих органов через ВОМ. Пропорционально энергозатратам будет изменяться и расход топлива. Номинальная мощность двигателя трактора в расчете на одну машину N_{HM} с учетом формулы (3.15) определяется из равенства

$$N_{HM} = \frac{N_M}{\varepsilon_N}. \quad (3.17)$$

При этом для коэффициента загрузки двигателя приближенно можно принять значение $\varepsilon_N = 0,90$.

Практические рекомендации по энергосбережению и экономии топлива следует обосновать с учетом формулы (3.16) и показателей, изложенных после формулы (3.2).

Необходимость учета вероятностного характера изменения сил сопротивления, действующих на рабочие органы машины, наглядно видна из таблицы 1.2 первого задания для обоснования оптимального режима загрузки двигателя.

Вероятностный характер изменения сил сопротивления, действующих на сельскохозяйственные машины, обусловлен изменчивостью действующих внешних факторов, в частности физико-механических свойств почвы, и обрабатываемых материалов, рельефа и других факторов.

Методику определения основных вероятностных числовых характеристик рассмотрим на примере тягового сопротивления отдельной сельскохозяйственной машины примерный характер изменения, которого показан на рисунке 3.2.

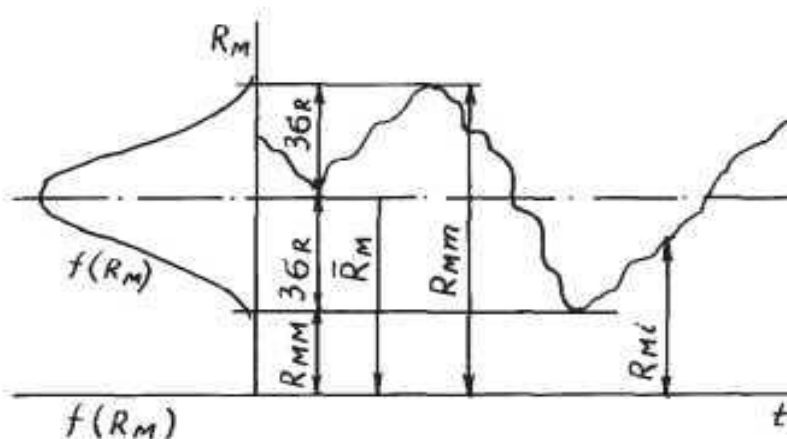


Рисунок 3.2 – Изменение тягового сопротивления машины во времени

Многочисленными экспериментальными исследованиями установлено, что плотность распределения тягового сопротивления R_M как показано на рисунке 3.2, с достаточной точностью подчиняется нормальному закону.

$$f(R_M) = \frac{1}{\zeta_R \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(R_{Mi} - \bar{R}_M)^2}{2\zeta_R^2}}, \quad (3.18)$$

где R_{Mi} — значение R_M в i -й момент времени, кН; \bar{R}_M — математическое ожидание, кН; ζ_R — среднее квадратическое отклонение, кН.

В качестве основных числовых характеристик определяются: математическое ожидание \bar{R}_M , среднее квадратическое отклонение ζ_R , дисперсия $D_R = \zeta_R^2$, степень неравномерности δ_R и коэффициент вариации ν_R , рассчитываемые по формулам:

$$\bar{R}_M = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n R_{Mi}; \quad (3.19)$$

$$\zeta_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{Mi} - \bar{R}_M)^2}{n-1}}, D_R = \zeta_R^2; \quad (3.20)$$

$$\nu_R = \frac{\zeta_R}{\bar{R}_M}; \quad (3.21)$$

$$\delta_R = \frac{R_{Mm} - R_{MM}}{R_M} = \frac{6 \cdot \zeta_R}{R_M} = 6 \cdot \nu_R, \quad (3.22)$$

где n — число опытных значений R_{Mi} .

Численные значения $\overline{R_M}$, ζ_R , D_R , ν_R , δ_R определяются по формулам (3.19) - (3.22) после статистической обработки полученных по результатам полевых испытаний осциллограмм типа, представленного на рисунке 3.2.

При отсутствии таких данных и ограниченного времени занятия предлагается упрощенный вариант решения.

В качестве математического ожидания тягового сопротивления $\overline{R_M} = R_M$ принимается значение, полученное в формуле (3.7) для соответствующей машины.

Далее воспользуемся известными из литературных источников усредненными значениями коэффициента вариации тягового сопротивления ν_R для соответствующих операций, которые приведены в таблице 3.3.

По значению ν_R с учетом (3.20) - (3.22) рассчитываются

$$\zeta_R = \nu_R \overline{R_M}, \quad D_R = \zeta_R^2, \quad \delta_R = 6\nu_R. \quad (3.23)$$

Таблица 3.3 – Значения коэффициента вариации тягового сопротивления сельскохозяйственных машин

Наименование операций	Коэффициент вариации тягового сопротивления ν_R
Вспашка легких почв	0,08
Вспашка средних почв	0,11
Вспашка тяжелых почв	0,15
Боронование (зубовыми боронами)	0,03
Лушение и дискование	0,02
Сплошная культивация	0,07
Плоскорезная обработка	0,09
Прикатывание	0,04
Мотыжение	0,06
Посев зерновых	0,05
Посадка картофеля	0,06
Культивация междурядная	0,06
Уборка картофеля (комбайном)	0,10
Уборка силосных культур	0,12

Для оценки максимальной перегрузки двигателя можно определить также наибольшее значение тягового сопротивления машины

$$R_{Mm} = \overline{R_M} + 3\zeta_R. \quad (3.24)$$

Аналогичные зависимости можно получить и для момента сил сопротивления на ВОМ.

Пример расчета агрегата для посадки картофеля.

1. Выписываем из таблицы 3.1 исходные данные по варианту №27

№ варианта	Вид операции	Сельскохозяйственная машина	$b_M, м$	$V, м/с$	$c, кг/м^2$	$\alpha, град$	$m_M, кг$
27	Посадка картофеля	КСМ-6	4,2	1,94	0,36	0	3060

2. Определяем удельное тяговое сопротивление машины в функции скорости по формуле (3.5). Необходимые значения принимаем из таблиц (3.1) и (3.2).

$$K_V = 3,2 \cdot [1 + 0,09 \cdot (1,94 - 1,4)] = 3,2 \cdot [1 + 0,09 \cdot 0,54] = 3,2 \cdot [1 + 0,05] = 3,2 \cdot 1,05 = 3,36 \text{ кН/м.}$$

3. Определяем удельное тяговое сопротивление, связанное с преодолением подъема по формуле (3.6). Так как в нашем варианте $\alpha = 0^\circ$, то

$$K_{V_A} = K_V = 3,36 \text{ кН/м}$$

4. По формуле (3.14), так как у нас машина тягово-приводная, определяем условное удельное сопротивление на ВОМ.

$$\delta_B = 0,85\delta\delta = 0,85 \cdot 0,15 = 0,13$$

$$K_B = \frac{2,25 \cdot 0,36 \cdot (1 - 0,13)}{0,95} = \frac{0,81 \cdot 0,87}{0,95} = \frac{0,7}{0,95} = 0,74 \text{ кН/м.}$$

5. Подставив полученное значение K_B в формулу (3.10), определяем условное тяговое сопротивление для тягово-приводных машин

$$R_{MB} = (3,36 + 0,74) \cdot 4,2 = 4,1 \cdot 4,2 = 17,22 \text{ кН}$$

6. Определяем по формуле (3.15) потребную для работы с/х. машины в составе агрегата мощность на валу двигателя

$$N_M = 4,2 \cdot 1,94 \cdot \left(\frac{3,36}{0,6} + \frac{2,25 \cdot 0,36}{0,13} \right) = 8,15 \cdot (5,6 + 6,2) = 8,15 \cdot 11,8 = 96,17 \text{ кВт.}$$

7. Удельные энергозатраты в расчете на единицу площади выполненной работы определяем по формуле (3.16)

$$E_M = \frac{3,36}{0,6} + \frac{2,25 \cdot 0,36}{0,13} = 5,6 + 6,2 = 11,8 \text{ кДж/м}^2.$$

8. Определяем номинальную мощность двигателя трактора в расчете на одну машину по формуле (3.17)

$$N_{HM} = 96,17 / 0,9 = 106,8 \text{ кВт.}$$

9. Определяем по формуле (3.23) среднее квадратическое отклонение ζ_R , дисперсию D_R и степень неравномерности δ_R

$$\zeta_R = 0,06 \cdot 17,22 = 1,03; D_R = 1,03^2 = 1,06; \delta_R = 6 \cdot 0,06 = 0,36.$$

10. Определяем наибольшее значение тягового сопротивления машины для оценки максимальной перегрузки двигателя

$$R_{Mm} = 17,22 + 3 \cdot 1,03 = 17,22 + 3,09 = 20,31 \text{ кН.}$$

Отчет.

Результаты расчетов по пунктам, включая исходные данные, представить в виде таблицы.

Таблица 3.4

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
1	Вид операции	Посадка картофеля
2	Сельскохозяйственная машина	КСМ-6
3	Ширина захвата, b_M	4,2 м
4	Рабочая скорость, V	1,94 м/с
5	Норма высева, u	0,36 кг/м ²
6	Угол склона, α	0 град.

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
7	Масса машины, m_M	3060 кг.
8	Удельное тяговое сопротивление, K	3,2 кН/м
9	Приращение удельного тягового сопротивления с ростом скорости, ΔK	0,09
10	Удельная масса машины, m_{MY}	728 кг/м
11	Удельное тяговое сопротивление в функции скорости, K_V	3,36 кН/м
12	Удельное тяговое сопротивление, связанное с преодолением подъема, K_{VA}	3,36 кН/м
13	Условное удельное сопротивление на ВОМ, K_B	0,74 кН/м
14	Условное тяговое сопротивление, R_{MB}	17,22 кН
15	Потребная мощность на валу двигателя, N_M	96,17 кВт
16	Удельные энергозатраты, E_M	11,8 кДж/м ²
17	Номинальная мощность, N_{HM}	106,8 кВт
18	Среднее квадратическое отклонение, ζ_R	1,03
19	Дисперсия, D_R	1,06
20	Степень неравномерности, δ_R	0,36
21	Наибольшее значение тягового сопротивления машины, R_{Mm}	20,31 кН

При выполнении задания на ПЭВМ следует получить многовариантные решения соответствующих задач для всего диапазона изменения действующих параметров и внешних факторов.

4. КОМПЛЕКТОВАНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

Цель задания - получение студентами навыков самостоятельного составления агрегатов, в максимальной степени отвечающих требованиям ресурсосбережения и высокой производительности с учетом агротехнических требований и природно-производственных условий работы

Содержание задания

1. Выписать из таблицы 4.1 данные по соответствующему варианту задания.

Таблица 4.1 – Варианты заданий

№ вар.	Вид операции	Класс длины гона, м	Угол склона α , град	Особые условия				
				СП	НМ	ПП	А1	УП Т
1	Посев зерновых	300-400	0	+	+			
2	Сплошная культивация	300-400	0					
3	Лущение стерни	300-400	0				+	
4	Боронование зубowymi боронами	300-400	0					
5	Прикатывание	300-400	0					
6	Культивация междурядная	300-400	0				+	+
7	Дискование	400-600	2	+			+	
8	Посев зерновых	400-600	2		+			
9	Вспашка легких почв	300-400	0				+	
10	Вспашка средних почв	300-400	0		+		+	
11	Вспашка тяжелых почв	300-400	0	+	+		+	
12	Культивация междурядная	400-600	1				+	+
13	Сплошная культивация	400-600	1			+		
14	Лущение стерни	600-1000	3	+	+		+	
15	Боронование зубowymi боронами	400-600	1	+		+		
16	Прикатывание	400-600	1					
17	Культивация междурядная	600-1000	2				+	+
18	Посев зерновых	1000 и более	0	+				
19	Дискование	1000 и более	1		+		+	
20	Посев зерновых	600-1000	3					
21	Сплошная культивация	600-1000	2		+	+		
22	Вспашка легких почв	400-600	1	+			+	
23	Вспашка средних почв	400-600	2		+		+	
24	Вспашка тяжелых почв	400-600	0		+		+	
25	Сплошная культивация	1000 и более	2			+		
26	Боронование зубowymi боронами	600-1000	2	+		+		
27	Культивация междурядная	1000 и более	1				+	+
28	Вспашка легких почв	600-1000	2				+	
29	Вспашка средних почв	600-1000	2		+		+	
30	Вспашка тяжелых почв	1000 и более	0				+	

Примечание. **СП** — сложные погодные условия; **НМ** — не хватает механизаторов; **ПП** — почвы переуплотнены; **УПТ** — применить универсально-пропашной трактор; **А1** — агрегат одномашинный.

2. Определить для заданной операции потребный ресурсосберегающий диапазон мощностей и выбрать соответствующий условиям работы трактор.

3. Определить оптимальную энергосберегающую рабочую скорость и соответствующее тяговое усилие трактора $P_{кpo}$.

4. Рассчитать оптимальную ширину захвата МТА и определить число машин в агрегате.

5. Рассчитать потребный фронт сцепки и выбрать соответствующую марку сцепки.

6. Определить фактическую загрузку трактора по тяге и дать соответствующее заключение.

7. Представить основные результаты расчетов в форме таблицы, приведенной в конце данного задания.

Основные положения

Машинно-тракторный агрегат, как известно, представляет собой совокупность источника энергии (двигателя), передаточного механизма (трактора с трансмиссией), вспомогательных устройств (навесного, прицепного механизмов и сцепки) и рабочих машин.

В предыдущих заданиях были рассмотрены методы выбора энергосберегающих режимов работы двигателя, трактора и рабочей машины.

В связи с этим в пределах данного задания с учетом ранее полученных результатов излагаются современные методы расчета оптимального ресурсосберегающего состава и скоростного режима МТА.

Последовательность выполнения работы

Данные по варианту задания выписываются из таблицы **4.1**.

Потребный ресурсосберегающий диапазон мощности трактора выбирается по данным таблицы 4.2.

Исследованиями установлено, что каждому сочетанию природно-производственных условий, включая длину гона L и другие, соответствует такая оптимальная мощность трактора $N_{но}$, при которой основной показатель ресурсосбережения — приведенные затраты $C_{п}$ (руб./га) — принимает минимальное значение $C_{п} = C_{пм}$.

Если оптимальная мощность $N_{но}$ соответствующая критерию $C_{п} \rightarrow \min$, недостаточно удовлетворяет конкретным местным условиям, то возможно определение соответствующей компромиссной мощности $N_{нк}$. Например, при недостатке механизаторских кадров или при неустойчивых погодных условиях желательно иметь агрегаты более высокой производительности при компромиссном контролируемом уровне приведенных затрат $C_{пк}$, чтобы выполнить работы в установленные агротехнические сроки с соблюдением требований ресурсосбережения.

Таблица 4.2 – Рекомендуемые диапазоны ресурсосберегающих потребных мощностей двигателей тракторов для выполнения заданных операций

Вид операции	Класс длины гона, м			
	300-400	400-600	600-1000	1000 и более
	Диапазоны мощностей, кВт			
Вспашка легких почв	61-105	65-114	73-132	95-178
Вспашка средних почв	70-124	75-135	84-156	109-213
Вспашка тяжелых почв	76-134	80-145	90-168	117-230
Лущение стерни и дискование	61-110	74-138	83-160	106-217
Боронование средними зубовыми боронами	26-41	32-52	37-61	43-75
Сплошная культивация	55-95	67-119	84-155	99-187
Прикатывание кольчато-шпоровыми катками	30-51	53-62	40-74	47-90
Посев зерновых (узкорядный)	54-87	59-94	62-101	69-114
Культивация междурядная	50-80	56-91	60-99	71-121

Схема такого компромиссного решения показана на рисунке 4.1. Задаем-ся допустимым увеличением $\Delta C_{п}$ минимальных приведенных затрат $C_{пм}$ и по-

лучаем соответствующую компромиссную мощность $N_{нк}$, которая значительно больше оптимальной $N_{но}$, и существенный прирост ΔW производительности по сравнению с оптимальным решением. Практические расчеты показали, что увеличение минимальных затрат $C_{пм}$ всего на 5% ($\Delta C_{п} = 0,05C_{пм}$) обеспечивает прирост производительности ΔW до 35-40%, что объясняется пологим характером графика зависимости $C_{п} = f(N_{н})$ в области минимума.

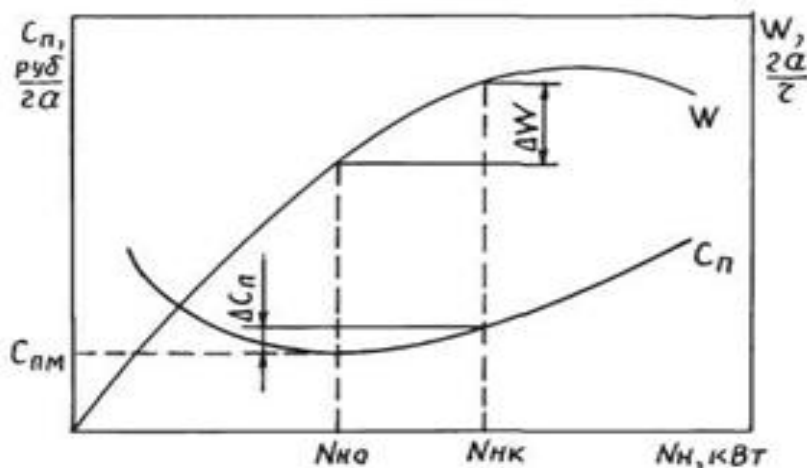


Рисунок 4.1 – Схема компромиссного решения

Такие пределы компромиссного решения в достаточной степени удовлетворяют современным требованиям ресурсосбережения и высокой производительности.

Исходя из этого, в таблице 4.2 приведены диапазоны ресурсосберегающих мощностей трактора $N_{но} - N_{к}$ при $\Delta C_{п} = 0,05C_{пм}$ для заданных операций в зависимости от основных классов длины гона L , принятых при нормировании полевых механизированных работ. При этом для других факторов приняты усредненные значения, которые уточняются на последующих этапах расчета.

Глубина вспашки для тяжелых и средних почв — **0,22** м, для легких почв — **0,25** м.

На основании данных таблицы 4.2 выбирается ресурсосберегающий диапазон мощностей для выполнения заданной операции с учетом особых условий, указанных в задании (табл. 4.1). Например, при сложных погодных условиях и

нехватке механизаторов (в графах **СП** и **НМ** знак «+») мощность трактора выбирается в правой половине диапазона, указанного в таблице 4.2. При отсутствии знака «+» в указанных графах мощность выбирается в левой половине диапазона. В пределах соответствующего диапазона выбирается трактор требуемого типа и требуемой мощности.

При переуплотненных почвах (в графе **ПП** знак «+») предпочтение отдается гусеничным тракторам, однако это не исключает использование колесного трактора, если он больше отвечает требованиям ресурсосбережения, а также требованиям лучшего агрегатирования с соответствующей сельскохозяйственной машиной. Следует учесть также, что междурядная культивация может выполняться только универсально-пропашным трактором (в графе **УПТ** « + »). Для одномашинных агрегатов (в графе **А1** знак « + ») при выборе трактора следует учесть возможность обеспечения нормальной загрузки двигателя. Соответствующие данные по современным и перспективным тракторам приведены в таблице 4.3. Тракторы общего назначения не могут выполнять работы по уходу за пропашными сельскохозяйственными культурами в междурядьях. Универсально-пропашные тракторы могут выполнять все виды работ, включая уход за пропашными сельскохозяйственными культурами в междурядьях. С учетом изложенных соображений из таблиц 4.4 и 4.5 выбирается соответствующий ресурсосберегающий трактор с мощностью N_H , эксплуатационной массой m и энергонасыщенностью $\mathcal{E} = N_H/(10^3)$, кВт/т.

Таблица 4.3 – Характеристики тракторов

№ вар.	Трактор	Колесная формула	Мощность, кВт	Эксплуатационная масса, кг	Тяговый класс, кН	Энергонасыщенность, кВт/т
1	Беларус-80	4К2	60	3345	14	18,0
2	Беларус-82	4К4	66	3780	14	17,5
3	Беларус-1025	4К2	77	4200	20	18,3
4	Беларус-1025	4К4	77	4345	20	17,7
5	Беларус-1221	4К4	96	5700	20	16,8
6	Беларус-1523	4К4	114	6000	20	19,0
7	Беларус-2102	4К4	156	10 800	40	14,4

Продолжение таблицы 4.3

№ вар.	Трактор	Колесная формула	Мощность, кВт	Эксплуатационная масса, кг	Тяговый класс, кН	Энергонасыщенность, кВт/т
8	JD-6620	4К4	65	4650	20	14,0
9	JD-6920SE	4К4	81,5	5900	20	13,8
10	JD-6920	4К4	99,5	6300	30	15,8
11	JD-77300	4К4	138	7770	30	17,7
12	JD-8400	4К4	170,2	8705	40	19,4
13	JD-8520	4К4	199	12 080	50	16,5
14	JD-9320	4К4	245	15 000	50	16,3
15	ХТЗ-150.05	4К4	121,5	8092	30	15,0
16	Т-4А.01	Гусеничный	99,3	9010	40	11,0
17	ДТ-175С	Гусеничный	116	7622	30	15,3
18	ЛТЗ-55А	4К4	39	3157	9	12,3
19	К-701М	4К4	246	12 900	50	19,1
20	ДТ-75Д	Гусеничный	66,3	6420	30	10,4
21	Т-150	Гусеничный	117,6	7460	30	15,8
22	ЛТЗ-60АВ	4К4	42,3	3490	14	12,1
23	ВТЗ- 2032	4К2	18,4	1885	6	9,7
24	ВТЗ-2038	4К2	33	2370	6	13,9
25	Т-30А-80	4К4	33	2430	6	13,8
26	Т-40МС	4К2	36,4	2620	9	13,9
27	К-701М	4К4	221,0	13 800	50	16,0
28	ЛТЗ-155	4К4	110	5610	20	19,6
29	К-700М	4К4	246	12 200	50	20,2
30	ДТ-75М	Гусеничный	80,8	7205	30	11,2

Таблица 4.4 – Тяговые классы тракторов и соответствующие диапазоны номинальных тяговых усилий

Тяговый класс трактора	Диапазоны номинальных тяговых усилий $P_{крн}$, кН
2	1,8-5,4
6	5,4-8,1
9	8,1-12,6
14	12,6-18
20	18-27
30	27-36
40	36-45
50	45-54
60	57-72
80	72-108

Таблица 4.5 – Основные данные по тракторам

№ п/п	Трактор	Двигатель	Мощность <i>N_н</i> , кВт	Эксплуатационная масса <i>m</i> , кг
1	Т-25А	Д-21А	18,38	1885
2	Т-30 Т-30А-80	Д-120	22,10	2370 2430
3	Т-40М Т-40АМ	Д-144	36,76	2620 2880
4	ЛТЗ-55А	Д-144-32	39,00	3157
5	ЮМЗ-6АКЛ	Д-65М	46,32	3500
6	ЛТЗ-60АВ	Д-65М1Л	46,32	3490
7	МТЗ-80 МТЗ-82	Д-240	55,22	3486 3780
8	ДТ-75М	А-41	66,25	7205
9	ДТ-75Т	Д-440 постоянная мощность	69,90	6420
10	МТЗ-100 МТЗ-102	Д-245	73,60	4125 4345
11	Т-3К	СМД-19Т	88,30	4720
12	Т-4А	А-01М	99,26	9010
13	ЛТЗ-155	СМД-25	110,00	5610
14	Т-150	СМД-60	111,00	7460
15	Т-142	Д-260Т	114,00	4840
16	Т-150К	СМД-62	121,47	8092
17	ДТ-175С	СМД-66	125,10	7622
18	К-700А	ЯМЗ-238НБ	153,67	12 200
19	Т-250	Д-460.1	184,00	12 200
20	К-701	ЯМЗ-240БМ	221,00	12 900
21	К-701М	ЯМЗ-8423	246,00	13 800
№ п/п	Э, кВт/т	Тяговый класс	Колесная формула	Назначение
1	9,75	0,6	4К2 (РР)	Универсально-пропашной
2	9,32 9,09	0,6	4К2 (РР) 4К4 (РР)	Универсально-пропашной
3	14,03 12,76	0,9	4К2 (РР) 4К4 (РР)	Универсально-пропашной
4	12,35	0,9	4К4 (РР)	Универсально-пропашной
5	13,23	1,4	4К2 (РР)	Универсально-пропашной
6	13,27	1,4	4К4 (РР)	Универсально-пропашной
7	15,84 14,61	1,4	4К2 (РР) 4К4 (РР)	Универсально-пропашной
8	9,19	3	Гусеничный	Общего назначения
9	10,89	3	Гусеничный	Общего назначения

№ п/п	Э, кВт/т	Тяговый класс	Колесная формула	Назначение
10	17,84 16,94	1,4	4К2 (РР) 4К4 (РР)	Универсально-пропашной
11	18,71	2	4К2 (РР)	Универсально-пропашной
12	11,02	4	Гусеничный	Общего назначения
13	19,61	2	4К4 (ОР)	Универсально-пропашной
14	14,88	3	Гусеничный	Общего назначения
15	23,55	2	4К4 (РР)	Универсально-пропашной
16	15,01	3	4К4 (ОР)	Общего назначения
17	16,41	3	Гусеничный	Общего назначения
18	12,59	5	4К4 (ОР)	Общего назначения
19	15,08	5	Гусеничный	Общего назначения
20	17,13	5	4К4 (ОР)	Общего назначения
21	17,83	5	4К4 (ОР)	Общего назначения

Примечание. РР — колеса разного размера; ОР — колеса одинакового размера.

Если в последующем при определении рабочей скорости и ширины захвата агрегата загрузка двигателя окажется недостаточной, то возможен и повторный выбор трактора меньшей мощности в соответствующем диапазоне таблицы 4.2.

Оптимальная энергосберегающая скорость V_0 и соответствующее тяговое усилие трактора $P_{кpo}$ определяются по минимуму удельных энергозатрат при рабочем ходе агрегата в виде

$$E_P = \frac{N_H \cdot \varepsilon_N}{B \cdot V} \rightarrow \min, \quad (4.1)$$

где E_P — удельные энергозатраты при рабочем ходе агрегата, кДж/м²;

N_H — номинальная мощность двигателя, кВт;

B — ширина захвата агрегата, м;

ε_N — коэффициент загрузки двигателя;

V — скорость движения при рабочем ходе, м/с.

Этот критерий эквивалентен минимуму удельного расхода топлива в расчете на 1 м² обработанной площади при рабочем ходе агрегата:

$$\theta_P = \frac{G_T}{3600 \cdot B \cdot V} = \frac{N_H \cdot \varepsilon_N}{3,6 \cdot 10^6 \cdot B \cdot V} \cdot g_e, \quad (4.2)$$

где θ_P — удельный расход топлива при рабочем ходе агрегата, кг/м²; g_e — соответствующий удельный расход топлива двигателем, кг/(кВт·с); G_T — расход топлива двигателем за единицу времени, кг/с.

Поскольку значение g_e при нормальной загрузке двигателя можно принять постоянным ($g_e \approx \text{const}$), то соответственно критерии (4.1) и (4.2) будут эквивалентными.

Исходя из этого, дальнейшее решение для удобства выполнено на основе более простого критерия (4.1).

Решение поставленной задачи в пределах данного задания осуществляется применительно к тяговым агрегатам, для которых имеется более широкий выбор вариантов, что является необходимым условием для полноценной оптимизации.

Составы тягово-приводных агрегатов ограничиваются одним-двумя вариантами, которые известны заранее. В связи с этим для выбранного на основании таблицы 4.2 ресурсосберегающего трактора практически известна и соответствующая тягово-приводная машина.

При установившемся рабочем ходе тягового агрегата ширину захвата B можно представить в виде частного

$$B = P_{KP} / K_a,$$

и критерий оптимальности (4.1) соответственно примет вид

$$E_P = \frac{N_H \cdot \varepsilon_N \cdot K_a}{V \cdot P_{KPH} \cdot \varepsilon_{KP}} = \frac{N \cdot K_a}{N_{KP}} = \frac{K_a}{\eta_T} \rightarrow \min, \quad (4.3)$$

где N — развиваемая двигателем мощность при данной загрузке, $N = N_H \cdot \varepsilon_N$, кВт; P_{KPH} — номинальное тяговое усилие трактора, кН; N_{KP} — тяговая мощность трактора, кВт; K_a — удельное тяговое сопротивление рабочих машин и сцепки, кН/м; ε_{KP} — коэффициент использования номинального тягового усилия; η_T — тяговый КПД трактора.

Значение K_a определяется из равенства (3.9) предыдущего задания, а для ϵ_N принимается усредненное значение $\epsilon_N = 0,9$. Оптимальные значения скорости V_0 и соответствующего тягового усилия трактора P_{KPO} по критерию (4.3) можно определить на основе соответствующей типовой тяговой характеристики трактора или аналитическим путем.

При наличии тяговой характеристики трактора для соответствующего почвенного фона в равенство (4.3) подставляем последовательные взаимосвязанные значения P_{KPH} , V и K_a из формулы (3.9) с учетом влияния скорости на разных передачах и численным решением при $E_P = E_{Pmin}$ получим V_0 и $P_{KPO} = P_{KPH0} \cdot \epsilon_{кр}$. Однако тяговые характеристики с требуемой точностью чаще отсутствуют, особенно для новых и перспективных тракторов.

Исходя из этого, оптимальные значения P_{KPO} и V_0 рекомендуется определить изложенным ниже упрощенным аналитическим методом (без тяговой характеристики трактора).

На основании равенства (2.6) и других данных из второго задания можно заключить, что тяговый КПД трактора η_T в конечном итоге является функцией энергонасыщенности \mathcal{E} и теоретической скорости в виде

$$\eta_T = f_T(\mathcal{E}, V_T), \quad (4.4)$$

где \mathcal{E} — энергонасыщенность трактора, $\mathcal{E} = \frac{N_H}{10^{-3} \cdot m}$, кВт/т.

Значение K_a в (4.3) в общем случае определяется из равенства (3.9) предыдущего задания и также является функцией энергонасыщенности трактора \mathcal{E} и теоретической скорости V_T в виде

$$K_a = f_K(\mathcal{E}, V_T). \quad (4.5)$$

Справедливость этой зависимости следует из равенств (3.4), (3.5), в которых можно принять

$$V = V_T \cdot (1 - \delta), \quad (4.6)$$

где δ — буксование движителей трактора.

Из данных второго задания следует, что δ является функцией \mathcal{E} и V_T , что подтверждает справедливость равенства (4.5).

Таким образом, критерий оптимальности (4.3) получим в виде функции

$$E_P = \frac{K_a}{\eta_T} = \frac{f_K(\mathcal{E}, V_T)}{f_T(\mathcal{E}, V_T)}, \quad (4.7)$$

Значения \mathcal{E} для всех используемых тракторов приведены в таблице 4.3.

Таким образом, оптимальную теоретическую скорость V_{TO} получим на основании (4.7) по условию $dE_P/dV_T = 0$. Соответствующее развернутое решение приведено в [7,8]. При этом выявлено, что V_{TO} зависит в основном не от абсолютного значения удельного сопротивления, а от соотношения

$$\mu_K = \Delta K / (1 - \Delta K \cdot V_0). \quad (4.8)$$

Значения ΔK для рассматриваемых операций приведены в таблице 3.2 предыдущего задания.

Результаты практических расчетов по критерию оптимальности (4.7) показали, что с ростом энергонасыщенности трактора \mathcal{E} оптимальная теоретическая скорость V_{TO} и соответствующее ей буксование δ_0 возрастают.

При этом чем больше μ_K , тем меньше V_{TO} и больше δ_0 при равных значениях энергонасыщенности трактора \mathcal{E} . Наибольшие значения V_{TO} и наименьшие значения δ_0 при равных энергонасыщенностях имеют место при $\mu_K = 0$, что соответствует максимуму тягового КПД трактора $\eta_T \rightarrow \max$.

Однако, как следует из таблицы (3.2), предыдущего задания, значения μ_K в соответствии с равенством (4.8) изменяются в широком диапазоне от $\mu_K = 0,08$ — для боронования зубowymi боронами до $\mu_K = 0,31$ — для вспашки тяжелых почв.

Значение буксования δ_0 , соответствующего оптимальному энергосберегающему режиму работы по критерию (4.7), при этом часто выходит за допустимые пределы δ_d , приведенные во втором задании: $\delta_d = 0,15$ — для колесных тракторов 4К4; $\delta_d = 0,17-0,18$ — для колесных тракторов 4К2 (в расчетах принять $\delta_d = 0,18$); $\delta_d = 0,05$ — для гусеничных тракторов.

Таким образом, искомые значения оптимальной теоретической скорости V_{TO} должны определяться в диапазоне буксований

$$\delta = \delta_0 - \delta_d. \quad (4.9)$$

В пределах указанного диапазона буксований на основании многовариантных практических расчетов установлены соотношения между δ_0 и δ_d в виде

$$\delta_0 = \gamma \cdot \delta_d. \quad (4.10)$$

Значения поправочного коэффициента для возможных вариантов решения приведены в таблице 4.6.

Из полученных результатов наглядно видно, что для современных энергонасыщенных тракторов при оптимальном энергосберегающем режиме работы по критерию (4.7) буксование δ_0 в большинстве случаев выходит за допустимые пределы. При этом с ростом энергонасыщенности существенно увеличиваются и минимальные удельные энергозатраты. Для уменьшения этого роста необходимо обеспечить значение $\mu_k = 0$ при $\Delta K = 0$.

Критерий (4.7) при этом соответствует максимуму тягового КПД трактора $\eta_t \rightarrow \max$, при котором, как показывают расчеты, буксование почти всех тракторов остается в допустимых границах при всех реальных значениях энергонасыщенности.

Таблица 4.6 – Значения поправочных коэффициентов γ

Тип трактора	Энергонасыщенность Э, кВт/т	Значения μ_k					
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	0,2
		Стерня				Поле, подготовленное под посев	
		значения γ				значения γ	
1	2	3	4	5	6	7	8
4К4 (ОР)	8	0,816	0,949	1,0	1,0	0,906	1,0
	12	0,886	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	16	0,938	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	20	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	24	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
4К4 (РР)	8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	—
	12	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	20	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	24	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Продолжение таблицы 4.6

1	2	3	4	5	6	7	8
4К2	8	0,897	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	12	0,967	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	20	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	24	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Гусенич- ные	8	0,700	0,856	0,984	1,0	1,0	1,0
	12	0,778	0,976	1,0	1,0	1,0	1,0
	16	0,856	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	20	0,920	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	24	0,984	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Примечание. ОР — с колесами одного размера; РР — с колесами разного размера.

Однако современные сельскохозяйственные машины, как видно из таблицы 3.2 третьего задания, пока не удовлетворяют этому требованию, что необходимо учитывать при создании новых конструкций тракторов.

Последующие упрощенные расчеты по определению оптимальных значений $V_{то}$, V_0 и $P_{кpo}$ с учетом данных таблицы 4.4 выполняются в следующей последовательности.

Для заданной операции с учетом данных таблицы 3.2 третьего задания рассчитывается значение μ_k по формуле (4.8). Затем по значениям μ_k и энергонасыщенности выбранного трактора \mathcal{E} из таблицы 4.4 принимается соответствующее значение поправочного коэффициента γ (для операций вспашки и лущения стерни почвенным фоном считается стерня, а для всех других операций — поле, подготовленное под посев). После этого на основании (4.10) и формулы (2.5) второго задания получим выражение для буксования в оптимальном режиме:

$$\delta_0 = \gamma \cdot \delta_D = \frac{a \cdot \varphi_{кpo}}{b - \varphi_{кpo}}, \quad (4.11)$$

Соответствующий оптимальный коэффициент использования эксплуатационного веса трактора $\varphi_{кpo}$ с учетом данных второго задания получим в виде

$$\varphi_{кpo} = \frac{P_{кpo}}{10^{-3} \cdot m \cdot g} = \frac{b \cdot \gamma \cdot \delta_D}{a + \gamma \cdot \delta_D}, \quad (4.12)$$

Численные значения эмпирических коэффициентов a, b приведены в таблице 2.3 второго задания.

Из этого равенства получим значение искомой оптимальной силы тяги трактора:

$$P_{KPO} = 10^{-3} \cdot m \cdot g \cdot \left(\frac{b \cdot \gamma \cdot \delta_D}{a + \gamma \cdot \delta_D} \right), \quad (4.13)$$

Соответствующую оптимальную теоретическую скорость V_{TO} определим на основании формулы (2.13) второго задания:

$$V_{TO} = \frac{N_H \cdot \varepsilon_N \cdot \eta_{TP}}{P_{KPO} + 10^{-3} \cdot m \cdot g \cdot f}, \quad (4.14)$$

Значения коэффициента сопротивления качению трактора на соответствующем почвенном фоне приведены в таблице 2.3 второго задания, а для ε_N и η_{TP} принимаем усредненные значения $\varepsilon_N = 0,90$ и $\eta_{TP} = 0,88$.

Искомую оптимальную рабочую скорость агрегата V_O получим на основании (4.6):

$$V_O = V_{TO} \cdot (1 - \delta_D \cdot \gamma). \quad (4.15)$$

Расчетная оптимальная ширина захвата агрегата определяется по формуле

$$B_{PO} = \frac{1}{K_a} \cdot (P_{KPO} - 10^{-3} \cdot m \cdot g \cdot \sin \alpha), \quad (4.16)$$

Значение полного удельного сопротивления агрегата K_a рассчитывается по формуле (3.9) третьего задания, а вместо P_{KPO} подставляется значение, полученное в (4.13).

В случае решения данной задачи на основе тяговой характеристики трактора следует в равенство (4.16) подставить значение $P_{KPO} = P_{KPH0} \cdot \varepsilon_{KP}$ с учетом выбранного из тяговой характеристики оптимального номинального тягового усилия P_{KPH0} и допустимого коэффициента ε_{KP} его использования.

По значению V_{TO} рассчитывается соответствующее потребное расчетное число машин:

$$n_{MPO} = \frac{B_{PO}}{b_M}, \quad (4.17)$$

где b_M — ширина захвата одной машины (значения b_M выбираются из таблицы 3.1 третьего задания).

Фактическое число машин в составе агрегата n_M получим путем округления значения n_{MPO} в меньшую сторону по условию

$$n_M \leq n_{MPO}. \quad (4.18)$$

Для одномашинных агрегатов (в таблице 3.2 третьего задания $m_{cy} = 0$) следует выбрать машину с такой шириной захвата b_M из таблицы 3.1, при которой в равенстве (4.17) обеспечивается условие

$$n_{MPO} \geq 1. \quad (4.19)$$

При этом из (4.18) округленно получим $n_M = 1$. Для пахотных агрегатов необходимо учесть также возможность агрегатирования выбранного плуга с трактором с учетом его класса в соответствии с данными таблицы 3.1.

Потребный расчетный фронт сцепки для многомашинных агрегатов ($n_M \geq 2$) определяется по формуле

$$\Phi_{CP} = (n_M - 1) \cdot b_M. \quad (4.20)$$

По значению Φ_{CP} подбирается сцепка с фактическим фронтом Φ_C по условию

$$\Phi_C \geq \Phi_{CP}. \quad (4.21)$$

Соответствующие данные для наиболее распространенных сцепок приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Основные данные по сцепкам

Сцепка	Масса, кг	Фронт сцепки Φ_C , м
СП-11А	915	7,2
С-11У	700	11,0
СП-16	1762	13,5
СГ-21 (для борон и катков типа 3 ККШ-6А)	1800	21,0

Фактическая загрузка трактора в составе тяговых агрегатов определяется по фактическому значению тягового сопротивления выбранной сцепки и всех рабочих машин:

$$R_{af} = n_M \cdot (b_M \cdot K_V + 10^{-3} \cdot m_M \cdot g \cdot \sin \alpha) + 10^{-3} \cdot m_C \cdot g \cdot (f_C \cdot \cos \alpha + \sin \alpha), \quad (4.22)$$

где m_M , m_C — соответственно масса одной машины и сцепки, кг; f_C — коэффициент сопротивления качению сцепки.

Значения m_M приведены в таблице 3.1 предыдущего задания, в которой указаны также классы тракторов, с которыми могут агрегатироваться соответствующие плуги и некоторые другие машины. Ранее для f_C было принято усредненное значение $f_C = 0,16$. Значения K_V были определены выше по формулам (3.4), (3.5) предыдущего задания при расчете K_a .

Фактическая загрузка трактора в данном случае с учетом (4.16) оценивается коэффициентом использования оптимальной силы тяги в виде

$$\varepsilon_{KPO} = \frac{R_{a\phi} + 10^{-3} \cdot m \cdot g \cdot \sin \alpha}{P_{KPO}}, \quad (4.23)$$

Желательно получить значение ε_{KPO} в диапазоне $\varepsilon_{KPO} = 0,85 \dots 1$.

Приемлемость значения $\varepsilon_{KPO} = 1$ обусловлена тем, что ранее при определении P_{KPO} был учтен допустимый коэффициент загрузки двигателя по мощности $\varepsilon_N \approx 0,9$.

Если $\varepsilon_{KPO} < 0,80$, то следует выявить возможность работы на более высокой скорости, подставив в (4.14) вместо P_{KPO} значение $P_{a\phi}$.

Если расчет агрегата производился на основе тяговой характеристики, то в (4.23) следует вместо P_{KPO} подставить соответствующее номинальное тяговое усилие трактора P_{KPO} .

При этом для ε_{KPO} желательно иметь значение $\varepsilon_{KPO} = 0,85 \dots 0,95$.

Завершается задание формулой полученного агрегата (например, Т-150 + СП-11А + 2КПС-4).

При компьютерном варианте выполнения задания следует получить многовариантные зависимости для всего диапазона изменения соответствующих факторов.

Пример расчета агрегата для боронования зубowymi боронами.

1. Выписываем из таблицы 4.1 вариант задания №26.

№ варианта	Вид операции	Класс длины гона, м	Угол склона α , град	Особые условия				
				СП	НМ	ПП	А1	УПТ
26	Боронование зубowymi боронами	600-1000	2	+		+		

2. На основании таблицы 4.2 выбираем ресурсосберегающий диапазон мощностей для выполнения заданной операции с учетом особых условий, указанных в задании.

$$N_{HO} \dots N_K = 37 \dots 61 \text{ кВт.}$$

Так как у нас сложные погодные условия (СП +) мощность трактора выбирается в правой половине диапазона, т.е. $N_K = 61 \text{ кВт}$.

На переуплотненных почвах (ПП +) предпочтение отдается гусеничным тракторам.

С учетом изложенных соображений из таблиц 4.3 и 4.5 выбираем ресурсосберегающий трактор *ДТ-75Д*.

$$N_H = 66,25 \text{ кВт.}; \quad m = 6420 \text{ кг}; \quad \mathcal{E} = 10,4 \text{ кВт/м.}$$

3. Для заданной операции с учетом данных таблицы 3.2 третьего задания, рассчитываем значение μ_K по формуле (4.8).

$$K = 0,5 \text{ кН/м}; \quad \Delta K = 0,72; \quad m_{MY} = 40 \text{ кг/м}; \quad m_{CY} = 60 \text{ кг/м.}$$

$$\mu_K = \frac{0,072}{(1 - 0,072 \cdot 1,4)} = \frac{0,072}{1 - 0,1} = \frac{0,072}{0,9} = 0,08 \approx 0,1$$

Затем по значениям μ_K и энергонасыщенности \mathcal{E} выбранного трактора из таблицы 4.6 принимаем значение поправочного коэффициента $Y=1$.

4. Оптимальный коэффициент использования эксплуатационного веса трактора с учетом данных второго задания определяем по формуле (4.12), принимая значения коэффициентов «а» и «в» по таблице 2.3.

$$a = 0,0441; \quad v = 0,869; \quad f = 0,09 \dots 0,12.$$

$$\varphi_{KPO} = \frac{0,869 \cdot 1 \cdot 0,05}{0,0441 + 1 \cdot 0,05} = \frac{0,04345}{0,08755} = 0,5$$

$$\delta_0 = \frac{0,0441 \cdot 0,5}{0,869 - 0,5} = \frac{0,02205}{0,369} = 0,06$$

5. Определяем значение оптимальной силы тяги трактора по формуле (4.13)

$$P_{KPO} = 10^{-3} \cdot 6420 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 31,5 \text{ кН.}$$

6. Определяем оптимальную теоретическую скорость по формуле (4.14)

$$V_{To} = \frac{66,25 \cdot 0,9 \cdot 0,88}{31,5 + 10^{-3} \cdot 6420 \cdot 9,81 \cdot 0,1} = \frac{52,47}{31,5 + 6,3} = \frac{52,47}{37,8} = 1,4 \text{ м/с}$$

7. Определяем оптимальную рабочую скорость агрегата по формуле (4.15)

$$V_o = 1,4 \cdot (1 - 0,05) = 1,4 \cdot 0,95 = 1,33 \text{ м/с}$$

8. Определяем оптимальную ширину захвата агрегата по формуле (4.16), а K_a по формуле (3.9) третьего задания.

$$K_V = 0,5 \cdot [1 + 0,72 \cdot (2,5 - 1,4)] = 0,5 \cdot [1 + 0,792] = 0,5 \cdot 1,792 = 0,396 \text{ кН/м}$$

$$K_{VA} = 0,396 + 10^{-3} \cdot 40 \cdot 9,81 \cdot 0,03 = 0,396 + 0,01 = 0,406 \text{ кН/м}$$

$$K_A = 0,406 + 10^{-3} \cdot 60 \cdot 9,81 \cdot (0,16 \cdot 0,99 + 0,03) = 0,406 + 0,11 = 0,517 \text{ кН/м}$$

$$B_{PO} = 1/0,517 \cdot (31,5 - 10^{-3} \cdot 6420 \cdot 9,81 \cdot 0,03) = 1,93 \cdot (31,5 - 1,89) = 1,93 \cdot 29,61 = 57 \text{ м.}$$

9. Определяем расчетное число машин в агрегате по формуле (4.17), $\mathbf{b_m = 0,95 \text{ м.}}$

$$n_{MPO} = 57/0,95 = 60 \text{ шт.}$$

Фактическое число машин в агрегате определяют путем округления n_{MPO} в меньшую сторону.

10. Потребный расчетный фронт сцепки определяем по формуле (4.20)

$$\Phi_{CP} = (60 - 1) \cdot 0,95 = 59 \cdot 0,95 = 56 \text{ м.}$$

По таблице 4.7 выбираем сцепку СГ-21. $m_C = 1800 \text{ кг}$; $\Phi_C = 21 \text{ м}$.

11. Определяем фактическое значение тягового сопротивления выбранной сцепки и всех машин по формуле (4.22), $\mathbf{m_m = 37,5 \text{ кг}}$.

$$\begin{aligned} R_{af} &= 60 \cdot (0,95 \cdot 0,396 + 10^{-3} \cdot 37,5 \cdot 9,81 \cdot 0,03) + 10^{-3} \cdot 1800 \cdot 9,81 \cdot (0,16 \cdot 0,99 + 0,03) = \\ &= 60 \cdot (0,38 + 0,01) + 17,66 \cdot 0,19 = 23,4 + 3,35 = 26,75 \text{ Кн.} \end{aligned}$$

12. Определяем коэффициент использования оптимальной силы тяги трактора по формуле (4.23)

$$\epsilon_{KPO} = \frac{26,75 + 10^{-3} \cdot 6420 \cdot 9,81 \cdot 0,03}{31,5} = \frac{26,75 + 1,89}{31,5} = \frac{28,64}{31,5} = 0,9$$

Так как к сцепке СГ-21 можно присоединить только 21 борону, то состав агрегата будет ДТ-75Д + СГ-21 + 21БЗСС-1,0.

Отчет.

Результаты расчетов по пунктам, включая исходные данные, представить в виде таблицы.

Таблица 4.8

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
1	Вид операции	Боронование
2	Класс длины гона	600...1000, м
3	Угол склона, α	2, град.
4	Диапазон мощностей, $N_{НО...}N_{К}$	37...61, кВт
5	Трактор	ДТ-75Д
6	Мощность двигателя, N_H	66,25, кВт
7	Масса, m	6420, кг
8	Энерговооруженность, Э	10,4 кВт/т
9	Удельное сопротивление, К; ΔK	0,5; 0,072 Кн/м
10	Удельная масса машины, $m_{МУ}$	40 кг/м
11	Удельная масса сцепки, $m_{СУ}$	60 кг/м
12	Коэффициент μ_K	0,1
13	Поправочный коэффициент, Y	1
14	Коэффициент, a	0,0441
15	Коэффициент, b	0,869
16	Коэффициент сопротивления качению, f	0,09...0,12
17	Коэффициент использования эксплуатационного веса трактора, $\varphi_{КРО}$	0,05
18	Оптимальное буксование, δ_0	0,06
19	Оптимальная сила тяги трактора, $P_{КРО}$	31,5 кН
20	Оптимальная теоретическая скорость, $V_{ТО}$	1,4 м/с
21	Оптимальная рабочая скорость, $V_{ТО}$	1,33 м/с
22	Коэффициент K_V	0,396 Кн/м
23	Коэффициент K_{VA}	0,406 Кн/м
24	Коэффициент K_A	0,517 Кн/м
25	Ширина захвата машины, b_m	0,95м
26	Число машин в агрегате, $n_{МРО}$	60
27	Расчетный фронт сцепки, $\Phi_{СР}$	56 м
28	Сцепка	СГ-21
29	Масса сцепки, m_C	1800 кг
30	Фронт сцепки, Φ_C	21 м
31	Тяговое сопротивление сцепки, $R_{аф}$	26,75 кН
32	Коэффициент использования оптимальной силы тяги трактора, $\epsilon_{КРО}$	0,9
33	Состав агрегата: ДТ-75Д + СГ-21 + 21БЗСС-1,0	

Контрольные вопросы.

1. Какие основные требования предъявляют к мобильным энергетическим средствам?
2. Какими соотношениями связаны основные эксплуатационные показатели тракторного дизеля?
3. Какими показателями характеризуется степень нагрузки двигателя и как они определяются?
4. По каким показателям определяется способность двигателя преодолевать перегрузки?
5. Чем характеризуется неравномерность момента сил сопротивления на валу двигателя?
6. По какому критерию определяют оптимальную степень нагрузки двигателя и как влияет на нее коэффициент вариации момента сил сопротивления?
7. От каких факторов и параметров трактора зависит движущая сила?
8. За счет чего можно улучшить сцепные свойства трактора?
9. Как составить тяговый баланс трактора?
10. Как рассчитать тяговое усилие трактора при работе с ВОМ?
11. За счет чего можно обеспечить работу трактора в пределах допустимых значений буксования?
12. Как определить мощностной баланс трактора?
13. Как выражаются полный и тяговый КПД трактора?
14. Чем объясняется наличие максимума тягового КПД трактора?
15. Каким образом можно получить максимум тягового КПД трактора на желаемой передаче?
17. Как вычислить номинальное тяговое усилие на данной передаче?
18. Как определить по тяговой характеристике трактора режимы работы, соответствующие максимуму тягового КПД и допустимому буксованию?
19. Какие основные направления улучшения эксплуатационных свойств тракторов и других энергомашин сельскохозяйственного назначения вы знаете?

20. Какими основными особенностями характеризуются условия работы МТА?
21. Какие основные требования предъявляются к МТА?
22. Какой режим работы оптимизируется при комплектовании агрегатов?
23. Перечислите основные критерии ресурсосбережения, используемые при комплектовании агрегатов.
24. Какие условия связи и ограничения следует учитывать при комплектовании агрегатов?
25. Может ли буксование трактора при минимальных энергозатратах агрегата превышать допустимые пределы?
26. В каких частных случаях можно аналитически определить оптимальную скорость и ширину захвата МТА?
27. В каких случаях совпадают результаты оптимизации состава и рабочей скорости МТА по минимуму удельных энергозатрат и по максимуму тягового КПД трактора?
28. Каково соотношение между оптимальными скоростями МТА по минимуму энергозатрат и по максимуму тягового КПД трактора?
29. Как изменяются оптимальные скорости МТА и минимальные удельные энергозатраты при росте энергонасыщенности тракторов?
30. Как можно обеспечить экономию топлива, если при заданной ширине захвата рабочая скорость МТА не может быть увеличена с целью полной загрузки двигателя из-за агротехнических ограничений?
31. Какие передачи трактора на тяговой характеристике примерно соответствуют минимуму удельных энергозатрат?
32. С помощью каких устройств, устанавливаемых на тракторе, можно изменять оптимальные значения ширины захвата и рабочей скорости агрегата?
33. Как повлияет использование балластных грузов или ГСВ на оптимальные значения скорости и ширины захвата агрегата?

Литература

1. Зангиев А.А., Лышко Г.Д., Скороходов А.Н. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка. М.: Колос, 1996. 320 с.
2. Зангиев А.А., Шпилько А.В., Левшин А.Г. Эксплуатация машинно-тракторного парка. М.: КолосС, 2003. 320 с.
3. Зангиев А.А., Скороходов А.Н. Практикум по эксплуатации машинно-тракторного парка. М.: КолосС, 2006. 320 с.: ил.
4. Скороходов А.Н., Левшин А.Г. Выбор оптимальных параметров и режимов работы МТА: практикум. М.: Триада, 2012. Ч. 1. 75 с.
5. Зангиев А.А., Скороходов А.Н. Практикум по эксплуатации машинно-тракторного парка: учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Лань, 2016. 464 с.: ил.

Учебное издание

Самусенко Владимир Иванович

Сакович Наталья Евгеньевна

Кузьменко Игорь Владимирович

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, РАБОЧИХ МАШИН И АГРЕГАТОВ

Часть I

Учебно-методическое пособие для выполнения практических работ

по дисциплине: «Эксплуатация машинно-тракторного парка»

студентами инженерно-технологического института

по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия»

Редактор Аддылина Е.С.

Подписано к печати 18.04.2023 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.

Бумага офсетная. Усл. п. л. 3,95. Тираж 25 экз. Изд. №7516

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ