

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

ФГБОУ ВО БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В АГРОБИЗНЕСЕ
ПРИРОДООБУСТРОЙСТВЕ И ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Самусенко В.И., Сакович Н.Е.

КОМПЛЕКТОВАНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

Методические указания для выполнения
практической работы №4
по дисциплине: «Эксплуатация машинно-тракторного парка»
студентам инженерно-технологического института
по направлению подготовки
35.03.06 «Агроинженерия»

Брянск 2021

УДК 631.371 (076)
ББК 40.72
С 17

Самусенко, В. И. Комплектование ресурсосберегающих машинно-тракторных агрегатов: методические указания для выполнения практической работы № 4 по дисциплине «Эксплуатация машинно-тракторного парка» студентам инженерно-технологического института по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» / В. И. Самусенко, Н. Е. Сакович. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2021. - 22 с.

Методические указания предназначены для получения студентами навыков самостоятельного составления агрегатов, в максимальной степени отвечающих требованиям ресурсосбережения и высокой производительности с учетом агротехнических требований и природно-производственных условий работы. Для студентов инженерно-технологического института.

Рецензент: к.т.н., доцент Будко С.И.

Рекомендовано к изданию решением методической комиссией инженерно-технологического института, протокол № 5 от 26 февраля 2021 года.

© Брянский ГАУ, 2021
© Самусенко В.И., 2021
© Сакович Н.Е. 2021

Содержание

	стр.
ЦЕЛЬ РАБОТЫ	4
СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ	4
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	5
ОТЧЕТ	20
ЛИТЕРАТУРА.....	21

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

№ варианта	Вид операции	Класс длины гона, м	Угол склона α , град	Особые условия				
				СП	НМ	ПП	A1	УПТ
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			+		

Продолжение таблицы

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 ре-

сурсосбережения – приведенные затраты C_{Π} (руб./га) – принимает минимальное значение $C_{\Pi} = C_{\Pi\text{м}}$.

Если оптимальная мощность $N_{\text{НО}}$ соответствующая критерию $C_{\Pi} \rightarrow \text{min}$, недостаточно удовлетворяет конкретным местным условиям, то возможно определение соответствующей компромиссной мощности $N_{\text{НК}}$. Например, при недостатке механизаторских кадров или при неустойчивых погодных условиях желательно иметь агрегаты более высокой производительности при компромиссном контролируемом уровне приведенных затрат $C_{\text{НК}}$, 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 допустимым увеличением ΔC_{Π} минимальных приведенных затрат $C_{\Pi\text{м}}$ и получаем соответствующую компромиссную мощность $N_{\text{НК}}$, которая значительно больше оптимальной $N_{\text{НО}}$, и существенный прирост ΔW производительности по сравнению с оптимальным решением. Практические расчеты показали, что увеличение минимальных затрат $C_{\Pi\text{м}}$ всего на **5%** ($\Delta C_{\Pi} = 0,05C_{\Pi\text{м}}$) обеспечивает прирост производительности ΔW до **35-40%**, что объясняется пологим характером графика зависимости $C_{\Pi} = f(N_{\text{Н}})$ в области минимума.

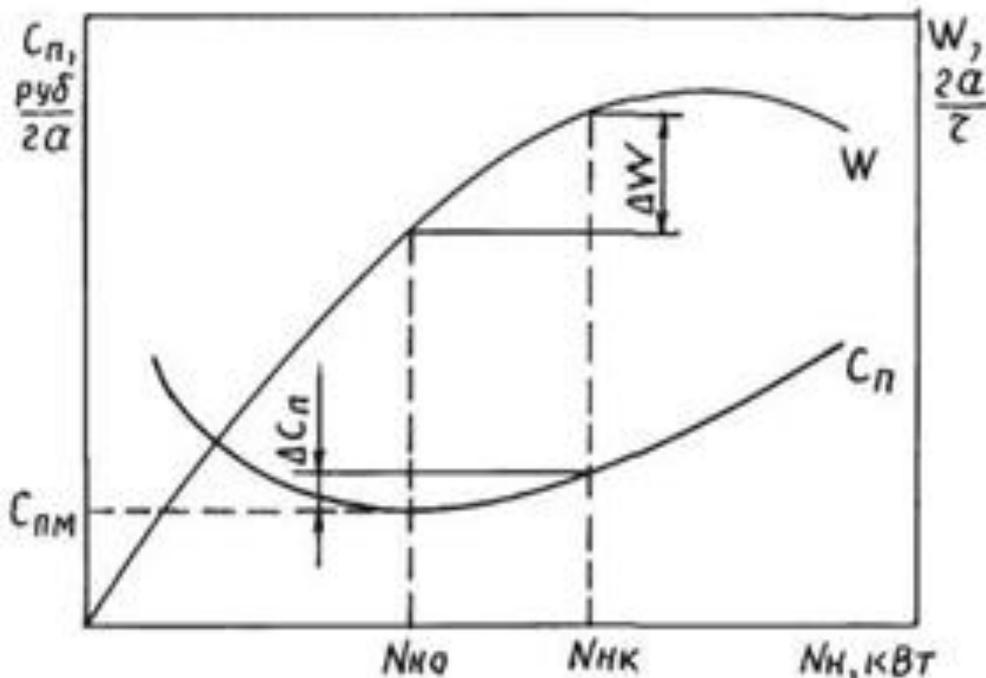


Рис. 4.1
Схема компромиссного решения

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 $N_{н0} - N_{нк}$ при $\Delta C_{п} = 0,05 C_{пм}$ 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 **A1** 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 $\Xi = N_H/(10^{-3})$, кВт/т.

Таблица 4.3

Характеристики тракторов

№ 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

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 N_H , кВт	Эксплуатационная масса m , 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

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_{KPO} определяются по минимуму удельных энергозатрат при рабочем ходе агрегата в виде

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

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.

продолжение таблицы 4.5

№ п/п	Э, кВт/т	Тяговый класс	Колесная формула	Назначение
1	9,75	0,6	4К2 (PP)	Универсально-пропашной
2	9,32 9,09	0,6	4К2 (PP) 4К4 (PP)	Универсально-пропашной
3	14,03 12,76	0,9	4К2 (PP) 4К4 (PP)	Универсально-пропашной
4	12,35	0,9	4К4 (PP)	Универсально-пропашной
5	13,23	1,4	4К2 (PP)	Универсально-пропашной
6	13,27	1,4	4К4 (PP)	Универсально-пропашной
7	15,84 14,61	1,4	4К2 (PP) 4К4 (PP)	Универсально-пропашной
8	9,19	3	Гусеничный	Общего назначения
9	10,89	3	Гусеничный	Общего назначения
10	17,84 16,94	1,4	4К2 (PP) 4К4 (PP)	Универсально-пропашной
11	18,71	2	4К2 (PP)	Универсально-пропашной
12	11,02	4	Гусеничный	Общего назначения
13	19,61	2	4К4 (OP)	Универсально-пропашной
14	14,88	3	Гусеничный	Общего назначения
15	23,55	2	4К4 (PP)	Универсально-пропашной
16	15,01	3	4К4 (OP)	Общего назначения
17	16,41	3	Гусеничный	Общего назначения
18	12,59	5	4К4 (OP)	Общего назначения
19	15,08	5	Гусеничный	Общего назначения
20	17,13	5	4К4 (OP)	Общего назначения
21	17,83	5	4К4 (OP)	Общего назначения

Примечание. PP – колеса разного размера; OP – колеса одинакового размера.

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 $\varepsilon_N = 0,9$. Оптимальные значения скоро-

сти V_0 и соответствующего тягового усилия трактора $P_{кр0}$ 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 $P_{крн}$, 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 $P_{кр0} = P_{крн0} \cdot \epsilon_{кр}$.

Однако тяговые характеристики с требуемой точностью чаще отсутствуют, особенно для новых и перспективных тракторов.

Исходя из этого, оптимальные значения $P_{кр0}$ 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_{T0} 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 зубовыми 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 \mathcal{E} , 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	
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
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
Гусеничные	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_O и P_{KPO} 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:

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

Соответствующий оптимальный коэффициент использования эксплуатационного веса трактора φ_{KPO} с учетом данных второго задания получим в виде

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

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 $P_{KPO} = P_{KPN0} \cdot \varepsilon_{KP}$ с учетом выбранного из тяговой характеристики оптимального номинального тягового усилия P_{KPN0} и допустимого коэффициента ε_{KP} его использования.

По значению B_{T0} 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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), $b_M = 0,95 \text{ м.}$

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

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), $m_M = 37,5 \text{ кг.}$

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

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

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

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, \mathcal{E}	10,4 кВт/т
9	Удельное сопротивление, $K; \Delta K$	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, $R_{КРО}$	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	0,95 м
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	

Литература

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

Учебное издание

Самусенко Владимир Иванович
Сакович Наталия Евгениевна

КОМПЛЕКТОВАНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

Методические указания для выполнения
практической работы №4
по дисциплине: «Эксплуатация машинно-тракторного парка»
студентам инженерно-технологического института
по направлению подготовки
35.03.06 «Агроинженерия»

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 22.03.2021 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.

Бумага офсетная. Усл. п. л. 1,27. Тираж 25 экз. Изд. № 6866.

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