

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., Кузюр В.М.

**ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ
И РЕЖИМОВ РАБОТЫ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ
АГРЕГАТОВ ПО КРИТЕРИЯМ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ**

Методические указания для выполнения
практической работы № 8
по дисциплине: «Эксплуатация машинно-тракторного парка»
студентам инженерно-технологического института
по направлению подготовки
35.03.06 «Агроинженерия»

Брянск 2021

УДК 631.3.004 (076)

ББК 40.72

С 17

Самусенко, В. И. Оптимизация эксплуатационных параметров и режимов работы машинно-тракторных агрегатов по критериям ресурсосбережения: методические указания для выполнения практической работы № 8 по дисциплине: «Эксплуатация машинно-тракторного парка» студентам инженерно-технологического института по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» / В. И. Самусенко, В. М. Кузюр. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2020. - 21 с.

Методические указания предназначены для выполнения практической работы по оптимизации параметров и режимов работы МТА по критериям ресурсосбережения и высокой производительности.

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
© Кузюр В.М., 2021

Содержание

	стр.
ЦЕЛЬ РАБОТЫ	4
СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ	4
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	5
ПРИМЕР РАСЧЕТА АГРЕГАТА.....	13
ОТЧЕТ	18
ЛИТЕРАТУРА	20

Цель задания – освоить современные методы оптимизации параметров и режимов работы МТА по критериям ресурсосбережения и высокой производительности.

Содержание задания

1. Выписать из таблицы 8.1 исходные данные по соответствующему варианту задания.

Таблица 8.1

Варианты заданий

№ варианта	Вид операции	Класс длины гона, м	Угол склона, град	Коб	Особые условия				
					СП	НМ	ПП	А1	УПТ
1	Посев зерновых	300-400	0	0,88	+	+			
2	Сплошная культивация	300-400	0	0,85					
3	Лущение стерни	300-400	0	0,89				+	
4	Боронование зубowymi боронами	300-400	0	0,91					
5	Прикатывание	300-400	0	0,86					
6	Культивация между-рядная	300-400	0	0,87				+	+
7	Дискование	400-600	0	0,89	+			+	
8	Посев зерновых	400-600	2	0,88		+			
9	Вспашка легких почв	300-400	2	0,90				+	
10	Вспашка средних почв	300-400	0	0,92		+		+	
11	Вспашка тяжелых почв	300-400	0	0,90	+	+		+	
12	Культивация между-рядная	400-600	0	0,87				+	+
13	Сплошная культивация	400-600	1	0,92			+		
14	Лущение стерни	600 1000	1	0,90	+	+		+	
15	Боронование зубowymi боронами	400-600		0,91	+		+		
16	Прикатывание	400-600	1	0,87					
17	Культивация между-рядная	600 1000	1	0,87				+	+
18	Посев зерновых	1000 и более	2	0,88	+				
19	Дискование	1000 и более	0	0,90		+		+	
20	Посев зерновых	600 1000	1	0,87					
21	Сплошная культивация	600 1000	3	0,92		+	+		
22	Вспашка легких почв	400-600	2	0,91	+			+	
23	Вспашка средних почв	400-600	1	0,92		+		+	
24	Вспашка тяжелых почв	400-600	2	0,91		+		+	

Продолжение таблицы

25	Сплошная культивация	1000 и более	0	0,92			+		
26	Боронование зубowymi боронами	600 1000	2	0,91	+		+		
27	Культивация между-рядная	1000 и более	2	0,88				+	+
28	Вспашка легких почв	600 1000	1	0,91				+	
29	Вспашка средних почв	600 1000	2	0,92		+		+	
30	Вспашка тяжелых почв	1000 и более	2	0,91				+	

Примечание. $K_{об}$ – обобщенный поправочный коэффициент; СП – сложные погодные условия; НМ – не хватает механизаторов; ПП – почвы переуплотнены; А1 – одномашинный агрегат; УПТ – универсально-пропашной трактор. Знак «+» означает наличие соответствующего условия.

2. Определить для заданных условий работы потребную оптимальную мощность трактора в соответствии с требованиями ресурсосбережения и высокой производительности и выбрать трактор.

3. Рассчитать для выбранного трактора оптимальные рабочую скорость и ширину захвата, а также число машин в агрегате и фронт сцепки.

4. Выбрать ресурсосберегающий способ движения МТА и рассчитать оптимальную ширину загона.

5. Обосновать перспективные направления ресурсосбережения и повышения производительности МТА.

Последовательность выполнения работы

Оптимальными (наилучшими) считают такие эксплуатационные параметры и режимы работы МТА, при которых выбранный эксплуатационный показатель (критерий оптимальности) достигает максимума (например, производительность) или минимума (например, эксплуатационные затраты).

Из ранее выполненных заданий следует, что к основным эксплуатационным параметрам МТА, от которых зависят его технико-экономические показатели, относятся мощность N_H и эксплуатационная масса m трактора, ширина захвата B и рабочая скорость V . Основные режимы работы МТА — режимы рабочего и холостого ходов агрегата и режим работы двигателя при остановленном агрегате, доля которого незначительна по затратам времени и ресурсов. Указанные параметры и режимы работы МТА можно оптимизировать как на стадии создания новых тракторов и сельскохозяйственных машин, так и в производственных условиях на базе имеющейся в хозяйстве техники. В данном задании предусмотрена оптимизация параметров и режимов работы МТА на базе имеющихся в хозяйствах тракторов и сельскохозяйственных машин. С учетом сложности МТА как технической системы и разнообразия режимов работы в

основу оптимизации положен многоуровневый системный подход с использованием нескольких взаимосвязанных критериев ресурсосбережения. В соответствии с рассматриваемыми уровнями оптимизации составлены и пункты задания, которое является итоговым по первому разделу курса ЭМТП «Теоретические основы производственной эксплуатации машинно-тракторных агрегатов». Поскольку материал задания охватывает и обобщает ранее рассмотренные основные вопросы первого раздела курса, его можно использовать и в качестве самостоятельной индивидуальной или исследовательской работы с углубленным анализом влияния действующих факторов и параметров МТА на его технико-экономические показатели.

При определении оптимальной мощности трактора, отвечающей требованиям ресурсосбережения и высокой производительности, целесообразно в качестве основного критерия оптимальности выбрать минимум приведенных затрат, включающих в себя в соответствии с формулами (7.7) и (7.12) все основные виды расходов:

$$C_{\Pi} = C_Q + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{АПТО}} + E_{\Pi} \cdot K_y \rightarrow \min. \quad (8.1)$$

Приведенные затраты следует представить в виде функции мощности $C_{\Pi} = f_{\Pi}(N_H)$ и с учетом условия $dC_{\Pi}/dN_H = 0$ получить оптимальную мощность трактора N_{HO} . Каждое слагаемое в равенстве (8.1) также следует выразить в функции мощности, включая производительность W , входящую в состав этих слагаемых.

По аналогии с заданием 7 базовые расчеты выполнены в ценах 2003 г.

Затраты на топливо и смазочные материалы C_Q (руб./га) получим в функции мощности N_H на основании формул (7.6) и (7.8) в следующем виде:

$$C_{\theta} = \theta \Pi_{\text{К}} = \frac{N_H \varepsilon_N g_e \gamma_{\theta}}{10^3 W} \Pi_{\text{К}}. \quad (8.2)$$

В этой формуле можно использовать усредненные значения коэффициента загрузки двигателя и удельного расхода топлива двигателем: $\varepsilon_N = 0,9$; $g_e = 256$ г/(кВт·ч). Значения γ_Q для заданных технологических операций следует выписать из таблицы 6.1, а $\Pi_{\text{К}} = 20,085$ руб./кг получено в задании 7.

Значение производительности МТА W (га/ч) в функции мощности N_H получим на основании равенства (6.13). Для этого представим чистую производительность агрегата Π (м²/с) с учетом формул (4.1), (4.3) в таком виде:

$$\Pi = BV = \frac{P_{кр}}{K_a} v = \frac{N_{кр}}{K_a} = N_H \frac{\varepsilon_N \eta'_T}{K_a} = N_H p_N, \quad (8.3)$$

где K_a – удельное сопротивление агрегата, $p_N = \varepsilon_N \eta'_T / K_a$.

По физическому смыслу p_N соответствует удельной чистой производительности агрегата, приходящейся на единицу номинальной мощности N_H двигателя трактора. На данном этапе оптимизации параметров МТА с учетом точности используемой исходной информации можно принять усредненные постоянные значения удельного сопротивления агрегата K_a и тягового КПД трактора η_T .

Среднее значение K_a можно определить на основании формул (3.4)-(3.6) и (3.9) при средней скорости $V = 2$ м/с. Средние значения тягового КПД тракторов η_T (по литературным данным) приведены в таблице 8.2.

Таблица 8.2

Усредненные значения тягового КПД тракторов основных типов

Трактор	η'_T	
	стерня	поле, подготовленное под посев
Гусеничный	0,78	0,68
Колесный (4К4)	0,70	0,62
Колесный (4К2)	0,62	0,52

Примечание. Стерню в качестве почвенного фона принимают для операций вспашки и луцения стерни, поле, подготовленное под посев, — для других операций.

На основании формул (6.1) и (8.3) получим производительность МТА в функции мощности при $\Pi = p_N N$:

$$W = 0,36 \cdot K_{об} \cdot \Pi \cdot \tau = 0,36 \cdot K_{об} \cdot \left(\frac{h_W \cdot p_N N - a_W \cdot (p_N N)^2}{1 + K_{WU} \cdot p_N N} \right). \quad (8.4)$$

Значения h_W , a_W и K_W для соответствующих операций в зависимости от длины гона указаны в таблице 6.1, а значения $K_{об}$ – в таблице 8.1.

Расходы на заработную плату в функции мощности получим на основании формул (7.9) и (8.5):

$$C_3 = \frac{1}{W} \cdot \sum m_{\text{мех}i} \cdot f_i \cdot \mu_i. \quad (8.5)$$

Для посевных агрегатов в среднем можно принять $m_{\text{мех}} = 2$ (один тракторист и один сеяльщик), при выполнении других операций $m_{\text{мех}} = 1$. Принимаем также средние значения тарифной ставки $f = 24,937$ руб./ч и поправочного коэффициента $\mu = 1,3$ для всех механизаторов.

Расходы на амортизацию, ремонт и техническое обслуживание $C_{\text{АРТО}}$ находим в функции мощности N_H на основании формул (7.10)-(7.11). Из анализа статистических данных следует, что балансовые цены сцепки $\Pi_{\text{БС}}$ и машин $n\Pi_{\text{БМ}}$ можно принять пропорциональными балансовой цене трактора, $\Pi_{\text{БТ}} = \varphi_T \Pi_T$:

$$C_{\text{АРТО}} = \frac{\Pi_T}{W} \cdot \left(\frac{a_{\text{АРТО}}^T}{100 \cdot T_{\text{ГТ}}} + \frac{\gamma_{\text{БС}} \cdot a_{\text{АРТО}}^C}{100 \cdot T_{\text{ГС}}} + \frac{\gamma_{\text{БМ}} \cdot a_{\text{АРТО}}^M}{100 \cdot T_{\text{ГМ}}} \right), \quad (8.6)$$

где $\gamma_{\text{БС}}$, $\gamma_{\text{БМ}}$ – коэффициенты пропорциональности, $\gamma_{\text{БС}} = \Pi_{\text{БС}}/\Pi_{\text{БТ}}$, $\gamma_{\text{БМ}} = n_M \Pi_{\text{БМ}}/\Pi_{\text{БТ}}$

Таблица 8.3

Средние значения коэффициентов пропорциональности

Технологическая операция	$\gamma_{\text{БМ}}$	$\gamma_{\text{БС}}$
Лущение стерни и дискование	0,197	0
Вспашка	0,054	0
Боронование зубowymi боронами	0,053	0,224
Сплошная культивация	0,160	0,086
Междурядная культивация	0,269	0
Прикатывание	0,251	0,181
Посев зерновых	0,257	0,063

Необходимые исходные данные для определения $a_{\text{АРТО}}^T$, $a_{\text{АРТО}}^C$ и $a_{\text{АРТО}}^M$ мо, а также $T_{\text{ГТ}}$, $T_{\text{ГС}}$ и $T_{\text{ГМ}}$ приведены в задании 7 при $\varphi_T = 1,1$.

Оптовую цену Π_T тракторов всех типов в упрощенном варианте можно выразить в функции мощности N_H линейной статистической зависимостью:

$$\mathbf{Ц}_T = \mathbf{a}_T + \mathbf{b}_T N_H, \quad (8.7)$$

где $\mathbf{a}_T = 153\,769$ руб.; $\mathbf{b}_T = 8933$ руб./кВт – статистические коэффициенты (в ценах 2003 г.).

Преимущество упрощенной формулы (8.7) состоит в возможности получения оптимального аналитического решения с достаточной точностью.

При углубленных исследованиях применительно к перспективным тракторам большой мощности на основании численного метода оптимизации с применением ЭВМ можно использовать параболическую зависимость

$$\mathbf{Ц}_T = \mathbf{a} + \mathbf{b}N_H + \mathbf{c}N_H^2. \quad (8.8)$$

Статистические коэффициенты \mathbf{a} , \mathbf{b} , \mathbf{c} определяют известными методами.

На основании формулы (8.8) можно выполнить многовариантную студенческую исследовательскую работу по определению закономерностей влияния различных факторов на результаты оптимизации. В пределах же данного задания достаточно решить упрощенное равенство (8.7).

В функции мощности можно также выразить удельные капиталовложения (см. формулу (7.13)):

$$K_y = \frac{\mathbf{Ц}_T \Phi_T}{W} \left(\frac{1}{T_{ГС}} + \frac{\gamma_{БС}}{T_{ГС}} + \frac{\gamma_{БМ}}{T_{ГМ}} \right). \quad (8.9)$$

Подставив в формулу (8.1) полученные значения слагаемых, определим приведенные затраты в функции мощности:

$$C_{\Pi} = (A_C N_H + D_C) / \left[0,36 K_{\text{ОБ}} \left(\frac{h_W p_N N_H - a_W p_N^2 N_H^2}{1 + K_W p_N N_H} \right) \right], \quad (8.10)$$

где

$$A_C = 10^{-3} \varepsilon_N g_e \gamma_{\theta} \Pi_K + 10^{-2} b_T \varphi_T \left(\frac{\alpha_{\text{АРТ}}}{T_{\text{ГТ}}} + \frac{\gamma_{\text{БС}} \alpha_{\text{АРС}}}{T_{\text{ГС}}} + \frac{\gamma_{\text{БМ}} \alpha_{\text{АРМ}}}{T_{\text{ГМ}}} \right) +$$

$$+ E_H b_T \varphi_T \left(\frac{1}{T_{\text{ГТ}}} + \frac{\gamma_{\text{БС}}}{T_{\text{ГС}}} + \frac{\gamma_{\text{БМ}}}{T_{\text{ГМ}}} \right);$$

$$D_C = m_{\text{мех}} f \mu + 10^{-2} a_T \varphi_T \left(\frac{\alpha_{\text{АРТ}}}{T_{\text{ГТ}}} + \frac{\gamma_{\text{БС}} \alpha_{\text{АРС}}}{T_{\text{ГС}}} + \frac{\gamma_{\text{БМ}} \alpha_{\text{АРМ}}}{T_{\text{ГМ}}} \right) +$$

$$+ E_H a_T \varphi_T \left(\frac{1}{T_{\text{ГТ}}} + \frac{\gamma_{\text{БС}}}{T_{\text{ГС}}} + \frac{\gamma_{\text{БМ}}}{T_{\text{ГМ}}} \right).$$

Оптимальное значение мощности $N_{\text{НО}}$ по минимуму приведенных затрат $C_{\Pi} \rightarrow \min$ получим из выражения (8.10) при условии $dC_{\Pi}/dN_H = 0$:

$$N_{\text{НО}} = \frac{1}{K_W p_N \beta_C} \left(\sqrt{1 + \frac{h_W K_W}{a_W} \beta_C} - 1 \right), \quad (8.11)$$

$$\text{где } \beta_C = 1 + \frac{A_C}{D_C p_N} \left(\frac{1}{K_W} + \frac{h_W}{a_W} \right).$$

На основании формул (8.3) и (8.11) можно определить также соответствующую оптимальную чистую производительность агрегата:

$$\Pi_0 = N_{\text{НО}} p_N = \frac{1}{K_W \beta_C} \left(\sqrt{1 + \frac{h_W K_W}{a_W} \beta_C} - 1 \right). \quad (8.12)$$

Из равенств (8.11) и (8.12) следует, что оптимальные значения N_{HO} и P_O не зависят от обобщенного поправочного коэффициента $K_{об}$ на местные условия, что существенно расширяет возможности практического применения результатов оптимизации в различных почвенно-климатических зонах. Кроме того, согласно выражению (8.11) оптимальная мощность мало зависит от колебания цен в рыночных условиях, так как определяется отношением A_C/D_C , которое стабильно при любых ценах. Такая стабильность отношения A_C/D_C обусловлена тем, что значения A_C и D_C возрастают или убывают примерно пропорционально изменению цен. Следовательно, результаты оптимизации, полученные на базе цен 2003 г., будут справедливы и в другой период. Подставив значение оптимальной мощности N_{HO} в формулы (8.4) и (8.10), получим соответствующие производительность МТА и минимальные приведенные затраты $C_{Пmin}$.

Значения $C_{Пmin}$, $W_{СП}$ и N_{HO} можно определить и по графикам $C_{П} = f_{П}(N_{H})$ и $W = f_{W}(N_{H})$ (см. рис. 4.1). Для этого необходимо подставить в формулы (8.4) и (8.10) последовательно возрастающие значения мощности N_{H} и откладывать на графике в выбранном масштабе соответствующие значения производительности агрегата W и приведенных затрат $C_{П}$. Полученные точки соединить плавной линией. Аналогичное численное решение можно получить и для более точной статистической зависимости (8.8).

Полученная при оптимальной мощности N_{HO} производительность МТА $W_{СП}$ может оказаться слишком малой при сжатых сроках выполнения полевых работ или при недостаточной численности механизаторов. Тогда необходимо принять компромиссное решение, т. е. за счет небольшого приемлемого отклонения от минимальных затрат D_C , получить компромиссное значение мощности трактора N_{HK} , обеспечивающее существенное увеличение производительности МТА. Такой агрегат в достаточной степени будет соответствовать требованиям ресурсосбережения и высокой производительности. Схема компромиссного решения показана ранее на рисунке 4.1.

Чтобы определить компромиссное значение мощности N_{HK} , следует в формулу (8.10) вместо $C_{П}$ подставить компромиссные приведенные затраты $C_{ПК}$, определяемые из равенства

$$C_{ПК} = C_{Пmin} + \Delta C_{П} = C_{Пmin}(1 + \varepsilon_{СП}), \quad (8.13)$$

где $\varepsilon_{СП}$ — относительное отклонение от $C_{Пmin}$, $\varepsilon_{СП} = \Delta C_{П}/C_{Пmin}$.

Значение $C_{Пmin}$ определено по формуле (8.10) при $N_{H} = N_{HO}$. Компромиссное значение мощности N_{HK} также получим из выражения (8.10) при $C_{П} = C_{ПК}$:

$$N_{\text{HK}} = F_{\text{СК}} + \sqrt{F_{\text{СК}}^2 - \frac{D_C}{0,36K_{\text{об}}p_N^2a_W(1+\varepsilon_{\text{СП}})C_{\text{IImin}} + p_N A_C K_W}},$$

$$\text{где } F_{\text{СК}} = \frac{0,36K_{\text{об}}p_N h_W(1+\varepsilon_{\text{СП}})C_{\text{IImin}} - p_N D_C K_W - A_C}{2[0,36K_{\text{об}}p_N^2a_W(1+\varepsilon_{\text{СП}})C_{\text{IImin}} + p_N A_C K_W]}.$$
(8.14)

Задавая разные значения $\varepsilon_{\text{СП}}$, находим соответствующие компромиссные значения мощности N_{HK} . Затем по формуле (8.4) при $N_{\text{H}} = N_{\text{HK}}$ можно определить компромиссное значение производительности W_{K} агрегата и ее последующий прирост

$$\Delta W = W_{\text{K}} - W_{\text{СП}}.$$

Такой анализ можно выполнить в качестве студенческой исследовательской работы, а в пределах данного задания следует использовать значения $\varepsilon_{\text{СП}} = 0,05$. Подставив это значение $\varepsilon_{\text{СП}}$ в формулу (8.14), получим диапазон ресурсосберегающих мощностей трактора $N_{\text{НО}} - N_{\text{HK}}$ по аналогии с заданием 4. При благоприятных условиях работы (при отсутствии знака « + » в графах СП и НМ табл. 8.1) ресурсосберегающий трактор (из марок, указанных в табл. 7.2) следует выбрать в левой половине полученного диапазона мощностей. В более сложных условиях, включая погодные и недостаточную численность механизаторов, необходимо выбрать трактор в правой половине диапазона мощности $N_{\text{НО}} - N_{\text{HK}}$. Для работы на переуплотненных почвах предпочтительнее выбрать гусеничный трактор. Решение по второму пункту задания следует завершить определением значений производительности агрегата (формула (8.4)) и приведенных затрат (формула (8.10)) с учетом значения мощности N_{H} выбранного трактора.

При необходимости можно определить и прямые эксплуатационные затраты, приняв в соответствующих равенствах $E_{\text{H}} = 0$. Расчетами установлено, что оптимальные и компромиссные значения мощности по минимуму прямых эксплуатационных затрат находятся в пределах диапазона $N_{\text{НО}} - N_{\text{HK}}$, поэтому необходимости в дополнительных расчетах нет.

Дальнейшее улучшение показателей ресурсосбережения и повышения производительности МТА можно обеспечить за счет оптимизации режима рабочего хода, в том числе рабочей скорости V_{O} и ширины захвата B_{O} . Для многомашинных агрегатов необходимо рассчитать также число машин $n_{\text{МО}}$ и фронт сцепки $\Phi_{\text{С}}$.

Соответствующая методика оптимизации изложена в задании 4, в которой в качестве критерия оптимальности принят минимум удельных энергозатрат при рабочем ходе МТА: $E_{\text{P}} \rightarrow \min$, эквивалентный минимуму удельного рабочего расхода топлива на единицу обработанной площади: $Q_{\text{P}} \rightarrow \min$. Тогда на основании формул (4.4), (4.15), (4.16)-(4.20) и с учетом $\varepsilon_{\text{В}} = 0$ можно рассчи-

тать оптимальные теоретическую V_{TO} и рабочую V_O скорости движения МТА, число машин n_{MO} , ширину захвата B_O и требуемый фронт сцепки Φ_C . При этом следует учитывать также ограничение на буксование: $\delta_O < \delta_D$.

Решение по п. 3 задания завершается определением фактического значения коэффициента использования номинального тягового усилия трактора $\epsilon_{крФ}$ (см. формулу (4.23)). При $\epsilon_{крФ} < 0,85$ необходимо проверить возможность работы МТА на более высокой скорости с целью уменьшения расхода топлива.

Ресурсосберегающий способ движения составленного агрегата следует выбрать на основании методики, изложенной в задании 5, включая определение оптимальной ширины загона. Полученные результаты оптимизации позволят улучшить ранее достигнутые показатели ресурсосбережения и повышения производительности МТА.

Перспективные направления ресурсосбережения и повышения производительности МТА целесообразно наметить на основании данных, изложенных в заданиях 6 и 7. Дополнительные рекомендации можно составить на основании общей формулы (8.10).

Пример расчета эксплуатационных параметров и режимов работы (на основании задания №6).

1. Выписываем из таблицы 8.1 исходные данные по варианту №20.

№ варианта	Вид операции	Класс длины гона, м	Угол склона а, град	Коб	Особые условия				
					СП	НМ	ПП	А1	УПТ
20	Посев зерновых	600 1000	1	0,87					

2. Затраты на топливо и смазочные материалы в функции мощности определяем по формуле (8.2) с учетом

$\epsilon_N = 0,9$ – коэффициент загрузки двигателя;

$g_e = 256$ г/(кВт·ч) – удельный расход топлива;

$\gamma_\theta = 0,607$;

$C_K = 20,085$ руб./кг – цена комплексного топлива;

$W = 3,75$ га/ч – производительность агрегата из формулы 6.13;

$N_H = 66,25$ кВт – номинальная мощность двигателя из таблицы 7.1 на основании задания №6.

$$C_\theta = \frac{66,25 \cdot 0,9 \cdot 256 \cdot 0,607}{10^3 \cdot 3,75} \cdot 20,085 = \frac{186092,5}{3750} = 49,62 \frac{\text{руб}}{\text{га}}$$

3. Определяем удельное сопротивление агрегата с учетом формул (3.4)...(3.6) по формуле (3.9) при средней скорости $V = 2$ м/с.

$\Delta K = 0,1$; $K = 1,6$ кН/м; $m_{MY} = 500$ кг/м; $m_{MY} = 89$ кг/м – из таблицы 3.2.

$$K_a = K \cdot [1 + \Delta K \cdot (V - V_0)] + 10^{-3} \cdot m_{MY} \cdot g \cdot \sin \alpha + 10^{-3} \cdot m_{CY} \cdot g \cdot (f_C \cdot \cos \alpha + \sin \alpha)$$

$$V_0 = 1,4 \text{ м/с}; g = 9,81 \text{ м/с}^2; \alpha = 1; \sin \alpha = 0,017; \cos \alpha = 1; f_C = 0,16.$$

$$\begin{aligned} K_a &= 1,6 \cdot [1 + 0,1 \cdot (2 - 1,4)] + 10^{-3} \cdot 500 \cdot 9,81 \cdot 0,017 + 10^{-3} \cdot 89 \cdot 9,81 \\ &\quad \cdot (0,16 \cdot 1 + 0,017) \\ &= 1,6 \cdot 1,06 + 0,001 \cdot 83,385 + 0,001 \cdot 873,09 \cdot 0,177 \\ &= 1,696 + 0,08 + 0,154 = 1,93 \text{ кН/м} \end{aligned}$$

4. Определяем значение p_N при $\eta_T = 0,68$

$$p_N = (0,9 \cdot 0,68) / 1,93 = 0,612 / 1,93 = 0,32$$

5. Определяем производительность МТА в функции мощности по формуле (8.4) с учетом

$K_{OB} = 0,87$ – из таблицы 8.1;

$h_W = 0,71$; $a_W = 0,0049$; $K_W = 0,00472$ – из таблицы 6.1.

$$\begin{aligned} W &= 0,36 \cdot 0,87 \cdot \left(\frac{0,71 \cdot 0,32 \cdot 66,25 - 0,0049 \cdot (0,32 \cdot 66,25)^2}{1 + 0,00472 \cdot 0,32 \cdot 66,25} \right) \\ &= 0,31 \cdot \left(\frac{15,05 - 0,0049 \cdot 449,44}{1 + 0,1} \right) = 0,31 \cdot \frac{15,05 - 2,2}{1,1} \\ &= 0,31 \cdot \frac{12,85}{1,1} = 0,31 \cdot 11,68 = 3,62 \text{ га/ч} \end{aligned}$$

6. Определяем затраты на заработную плату в функции мощности по формуле (8.5) с учетом

$m_{MEH} = 2$; $f_C = 24,937$ руб/ч; $\mu = 1,3$.

$$C_3 = \frac{1}{3,62} \cdot 2 \cdot 24,937 \cdot 1,3 = \frac{64,83}{3,62} = 17,91 \text{ руб / га.}$$

7. Определяем затраты на амортизацию, ремонт и ТО в функции мощности по формуле (8.6) с учетом

$Y_{BM} = 0,257$; $Y_{BC} = 0,63$; $\varphi_T = 1,1$ – из таблицы 8.3.

$a_{APTO}^T = 29,9\%$; $a_{APTO}^C = 21,2\%$; $a_{APTO}^M = 19,5\%$; $T_{TT} = 1300$ ч; $T_{TC} = 350$ ч; $T_{TM} = 160$ ч. – из задания 7.

Оптовую цену трактора ЦТ определяем по формуле (8.7) с учетом $\alpha_T = 153769$ руб.; $b_T = 8933$ руб./кВт – статистические коэффициенты.

$$Ц_T = 153769 + 8933 \cdot 66,25 = 153769 + 591811,25 = 745580 \text{ руб.}$$

$$\begin{aligned}
C_{\text{APTO}} &= \frac{745580}{3,62} \cdot \left(\frac{29,9}{100 \cdot 1300} + \frac{0,063 \cdot 21,2}{100 \cdot 350} + \frac{0,257 \cdot 19,5}{100 \cdot 160} \right) \\
&= 205961 \cdot (0,00023 + 0,000038 + 0,00031) \\
&= 205961 \cdot 0,0005812 = 119,7 \text{ руб./га}
\end{aligned}$$

8. В функции мощности определяем удельные капитальные вложения по формуле (8.9)

$$\begin{aligned}
K_y &= \frac{745580 \cdot 1,1}{3,62} \cdot \left(\frac{1}{1300} + \frac{0,063}{350} + \frac{0,257}{160} \right) \\
&= 226557 \cdot (0,00077 + 0,00018 + 0,0016) = 226557 \cdot 0,00255 \\
&= 579,12 \text{ руб/га}
\end{aligned}$$

9. Определяем значение коэффициента A_C

$$\begin{aligned}
A_C &= 10^{-3} \cdot 0,9 \cdot 256 \cdot 0,607 \cdot 20,085 + 10^{-2} \cdot 8933 \cdot 1,1 \\
&\quad \cdot \left(\frac{29,9}{1300} + \frac{0,063 \cdot 21,2}{350} + \frac{0,257 \cdot 19,5}{160} \right) + 0,1 \cdot 8933 \cdot 1,1 \\
&\quad \cdot \left(\frac{1}{1300} + \frac{0,063}{350} + \frac{0,257}{160} \right) \\
&= 2,8 + 98,26 \cdot (0,023 + 0,0038 + 0,031) + 982,63 \\
&\quad \cdot (0,00077 + 0,00018 + 0,0016) = 2,8 + 5,68 + 2,5 = 11
\end{aligned}$$

10. Определяем значение коэффициента D_C

$$\begin{aligned}
D_C &= 2 \cdot 24,937 \cdot 1,3 + 10^{-2} \cdot 153769 \cdot 1,1 \cdot \left(\frac{29,9}{1300} + \frac{0,063 \cdot 21,2}{350} + \frac{0,257 \cdot 19,5}{160} \right) \\
&\quad + 0,1 \cdot 153769 \cdot 1,1 \cdot \left(\frac{1}{1300} + \frac{0,063}{350} + \frac{0,257}{160} \right) \\
&= 64,81 + 1691,46 \cdot (0,023 + 0,0038 + 0,031) + 16914,6 \\
&\quad \cdot (0,00077 + 0,00018 + 0,0016) \\
&= 64,81 + 1691,46 \cdot 0,0578 + 16914,6 \cdot 0,00255 \\
&= 64,81 + 97,76 + 43,13 = 206
\end{aligned}$$

11. Определяем приведенные затраты в функции мощности по формуле (8.10)

$$\begin{aligned}
C_{\text{П}} &= \frac{(11 \cdot 66,25 + 206)}{\left[0,36 \cdot 0,87 \cdot \left(\frac{0,71 \cdot 0,32 \cdot 66,25 - 0,0049 \cdot 0,32^2 \cdot 66,25^2}{1 + 0,00472 \cdot 0,32 \cdot 66,25} \right) \right]} \\
&= \frac{934,75}{\left[0,31 \cdot \left(\frac{15,05 - 2,2}{1 + 0,1} \right) \right]} = \frac{934,75}{(0,31 \cdot 11,68)} = \frac{934,75}{3,62} = 258,2 \text{ руб/га}
\end{aligned}$$

12. Определяем значение коэффициента β_C

$$\begin{aligned}\beta_C &= 1 + \frac{11}{206 \cdot 0,32} \cdot \left(\frac{1}{0,00472} + \frac{0,71}{0,0049} \right) = 1 + \frac{11}{65,92} \cdot (211,86 + 144,9) \\ &= 1 + 0,16 \cdot 356,76 = 1 + 59,22 = 60\end{aligned}$$

13. Определяем оптимальное значение мощности по минимуму приведенных затрат по формуле (8.11)

$$\begin{aligned}N_{HO} &= \frac{1}{0,00472 \cdot 0,32 \cdot 60} \cdot \sqrt{1 + \frac{0,71 \cdot 0,00472}{0,0049} \cdot 60 - 1} \\ &= \frac{1}{0,09} \cdot \sqrt{1 + \frac{0,2}{0,0049} - 1} = 11,11 \cdot \sqrt{1 + 40 - 1} = 11,11 \cdot \sqrt{40} \\ &= 11,11 \cdot 6,32 = 70,21 \text{ кВт.}\end{aligned}$$

14. Определяем оптимальную чистую производительность агрегата по формуле (8.12)

$$ПО = 70,21 \cdot 0,21 = 22,5 \text{ га.}$$

15. Подставив значение оптимальной мощности N_{HO} в формулы (8.4) и (8.10), получим соответствующую производительность $W_{СП}$ и минимальные приведенные затраты $C_{Пmin}$

$$\begin{aligned}W_{СП} &= 0,36 \cdot 0,87 \cdot \left(\frac{0,71 \cdot 0,32 \cdot 70,21 - 0,0049 \cdot (0,32 \cdot 70,21)^2}{1 + 0,00472 \cdot 0,32 \cdot 70,21} \right) \\ &= 0,31 \cdot \left(\frac{15,95 - 0,0049 \cdot 504,77}{1 + 0,1} \right) = 0,31 \cdot \frac{15,95 - 2,47}{1,1} \\ &= 0,31 \cdot \frac{13,48}{1,1} = 0,31 \cdot 12,25 = 3,8 \text{ га/ч}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_{Пmin} &= \frac{(11 \cdot 70,21 + 206)}{\left[0,36 \cdot 0,87 \cdot \left(\frac{0,71 \cdot 0,32 \cdot 70,21 - 0,0049 \cdot 0,32^2 \cdot 70,21^2}{1 + 0,00472 \cdot 0,32 \cdot 70,21} \right) \right]} \\ &= \frac{978}{\left[0,31 \cdot \left(\frac{15,95 - 2,47}{1 + 0,1} \right) \right]} = \frac{978}{0,31 \cdot 12,25} = \frac{978}{3,8} = 257,4 \text{ руб/га}\end{aligned}$$

16. Компромиссное значение мощности $N_{НК}$ получим из (8.10) при $C_{П} = C_{ПК}$ по формуле (8.14), учитывая $\varepsilon_{СП} = 0,05$ – относительное отклонение.

$$F_{CK} = \frac{0,36 \cdot 0,87 \cdot 0,32 \cdot 0,71 \cdot (1 + 0,05)257,4 - 0,32 \cdot 206 \cdot 0,00472 - 11}{2 \cdot [0,36 \cdot 0,87 \cdot 0,32^2 \cdot 0,0049 \cdot (1 + 0,05) \cdot 257,4 + 0,32 \cdot 11 \cdot 0,00472]}$$

$$= \frac{19,23 - 0,31 - 11}{2 \cdot [0,042 + 0,02]} = \frac{7,92}{2 \cdot 0,062} = \frac{7,92}{0,124} = 64$$

$$N_{HK} = 64 + \sqrt{64^2 - \frac{206}{0,36 \cdot 0,87 \cdot 0,32^2 \cdot 0,0049 \cdot (1 + 0,05)257,4 + 0,32 \cdot 11 \cdot 0,00472}}$$

$$= 64 + \sqrt{4096 - \frac{206}{0,062}} = 64 + \sqrt{4096 - 3322} = 64 + \sqrt{774} = 64 + 27,8$$

$$= 92 \text{ кВт.}$$

Диапазон ресурсосберегающих мощностей трактора будет в пределах $N_{HO} \dots N_{HK} = 70,21 \dots 92$ кВт.

17. При благоприятных условиях работы (при отсутствии знак «+» в графах СП и НМ в таблице 8.1) ресурсосберегающий трактор в таблице 7.2 выбираем в левой половине полученного диапазона мощностей. В нашем случае это трактор ДТ-75М, $N_H = 66,25$ кВт.

18. Для выбранного трактора, по формулам (4.14), (4.15), (4.16)...(4.20) из задания №4 определяем оптимальные теоретическую V_{TO} и рабочую V_O скорость движения агрегата, ширину захвата B_O , число машин n_{MO} и необходимый фронт сцепки Φ_C .

$$V_{TO} = \frac{66,25 \cdot 0,9 \cdot 0,88}{31,5 + 10^{-3} \cdot 6420 \cdot 9,81 \cdot 0,1} = 1,4 \text{ м/с.}$$

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

$$B_O = \frac{1}{1,93} \cdot (31,5 - 10^{-3} \cdot 6420 \cdot 0,03) = 0,49 \cdot (31,5 - 1,89) = 0,49 \cdot 29$$

$$= 14,21 \text{ м.}$$

$$n_{MO} = \frac{14,21}{3,6} = 3,94 \text{ м, округляем в меньшую сторону и принимаем 3.}$$

$$\Phi_C = (3-1) \cdot 3,6 = 7,2 \text{ м.}$$

Принимаем сцепку СП – 11А.

19. Определяем фактическое тяговое сопротивление агрегата по формуле (4.22)

$$R_{\text{аф}} = 3 \cdot (3,6 \cdot 1,696 + 10^{-3} \cdot 1400 \cdot 9,81 \cdot 0,03) + 10^{-3} \cdot 915 \cdot 9,81 \cdot (0,16 \cdot 0,99 + 0,03) = 3 \cdot (6,1 + 0,41) + 1,69 = 3 \cdot 6,51 + 1,69 = 21,22 \text{ кН.}$$

20. Определяем фактический коэффициент использования номинального тягового усилия трактора по формуле (4.23)

$$\varepsilon_{\text{кр.ф}} = \frac{21,22 + 10^{-3} \cdot 6420 \cdot 9,81 \cdot 0,03}{31,5} = \frac{21,22 + 1,89}{31,5} = \frac{23,11}{31,5} = 0,73$$

Так как $0,73 < 0,85$, то необходимо проверить возможность работы агрегата на более высокой скорости, с целью уменьшения расхода топлива.

Отчет

Полученные результаты оптимизации и выводы по каждому пункту задания следует представить в виде таблицы.

Таблица 8.4

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
1	Вид операции	Посев зерновых
2	Класс длины гона	600...1000 м
3	Обобщающий коэффициент, $K_{\text{ОБ}}$	0,87
4	Угол склона, α	1 град.
5	Коэффициент загрузки двигателя, $\varepsilon_{\text{Н}}$	0,9
6	Удельный расход топлива, g_e	256 г/кВт · ч
7	Коэффициент, Y_{θ}	0,607
8	Цена комплексного топлива, $\Pi_{\text{К}}$	20,085 руб. /кг
9	Номинальная мощность двигателя, $N_{\text{Н}}$	66,25 кВт
10	Удельное сопротивление агрегата, $K_{\text{а}}$	1,93 кН /м
11	Коэффициент, $\rho_{\text{Н}}$	0,32
12	Производительность МТА в функции мощности, W	3,62 га /ч
13	Затраты на зарплату в функции мощности, C_3	17,91 руб. /га
14	Затраты на амортизацию, ремонт и ТО в функции мощности, $C_{\text{АРТО}}$	119,7 руб. /га
15	Удельные капитальные вложения в функции мощности, K_y	579,12 руб. /га
16	Коэффициент, A_c	11
17	Коэффициент, D_c	206
18	Приведенные затраты в функции мощности, $C_{\text{П}}$	258,2 руб. /га
19	Коэффициент, β_c	60
20	Оптимальное значение мощности по минимуму приведенных затрат, $N_{\text{НО}}$	70,21 кВт
21	Оптимальная чистая производительность, $\Pi_{\text{О}}$	22,5 га
22	Производительность при оптимальной мощности, $W_{\text{СП}}$	3,8 га /ч
23	Минимальные приведенные затраты, $C_{\text{Пmin}}$	257,4 руб. /га

Продолжение таблицы

24	Компромиссное значение мощности, N_{HK}	92 кВт
25	Диапазон ресурсосберегающих мощностей, $N_{HO} \dots N_{HK}$	70,21 ... 92 кВт
26	Ресурсосберегающий трактор	ДТ – 75М
27	Оптимальная теоретическая скорость, V_{TO}	1,4 м/с
28	Оптимальная рабочая скорость, V_O	1,33 м/с
29	Оптимальная ширина захвата, B_O	14,21 м
30	Оптимальное число машин в агрегате, n_{MO}	3
31	Фронт сцепки, Φ_C	7,2 м
32	Марка сцепки	СП – 11А
33	Фактическое тяговое сопротивление агрегата, $R_{a\phi}$	21,22 кН
34	Фактический коэффициент использования номинального тягового усилия трактора, $\epsilon_{кр.ф}$	0,73

Литература

1. Зангиев А.А., Скороходов А.Н. Практикум по эксплуатации машинно-тракторного парка: учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Изд-во «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
Кузюр Василий Михайлович

**ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ
И РЕЖИМОВ РАБОТЫ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ
АГРЕГАТОВ ПО КРИТЕРИЯМ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ**

Методические указания для выполнения
практической работы № 8
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. 1,22. Тираж 25 экз. Изд. № 6876.

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