

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 II

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. II. - 70 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. Обоснование ресурсосберегающих способов движения машинно-тракторных агрегатов.....	5
2. Определение производительности машинно-тракторных агрегатов	25
3. Определение эксплуатационных затрат при работе машинно-тракторных агрегатов.....	37
4. Оптимизация эксплуатационных параметров и режимов работы машинно-тракторных агрегатов по критериям ресурсосбережения	49
Контрольные вопросы.	66
Литература	69

Введение

Вторая часть учебного пособия связана с расчетом кинематических параметров машинно-тракторных агрегатов, производительности и основных эксплуатационных затрат (трудовых, топливно-энергетических, прямых и приведенных). Во всех работах рассмотрены типовые конструкции тракторов и сельскохозяйственных машин.

Завершающая работа второй части связана с обоснованием оптимальных ресурсосберегающих параметров и режимов работы основных типов МТА в зависимости от условий работы. Практически в каждом из указанных заданий предусмотрен исследовательский вариант решения с использованием компьютера для подготовки студенческого научного доклада.

1. ОБОСНОВАНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ СПОСОБОВ ДВИЖЕНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ.

Цель задания — приобретение навыков выбора эффективных способов движения МТА, обеспечивающих в заданных условиях высокое качество работы и наименьшие потери ресурсов при обеспечении требований безопасности труда и охраны окружающей среды.

Содержание задания

1. Выписать из таблицы 1.1 исходные данные по соответствующему варианту задания.

2. Выбрать для заданной операции эффективный способ движения и вид поворота, обеспечивающие высокое качество и безопасность работы при наименьших потерях времени смены на подготовку поля, включая разбивку поля на загоны, отбивку поворотных полос, заравнивание свальных гребней и развальных борозд, обработку стыков и др. Изобразить схему движения агрегата в соответствии с рисунком 1.1 с учетом выбранного вида поворота.

3. Определить средний радиус поворота R и длину выезда l агрегата, а также рациональную ширину поворотной полосы E .

4. Определить оптимальную ширину загона, обеспечивающую минимум длины холостого пути C_{so} и соответствующих потерь смены $C_{то}$.

5. Определить длину холостого пути агрегата S_x , коэффициент рабочих ходов φ_{po} и общие потери времени смены T_x при оптимальной ширине загона.

6. Представить итоговые результаты расчетов по каждому пункту задания, включая исходные данные, в форме таблицы, приведенной в конце данного задания.

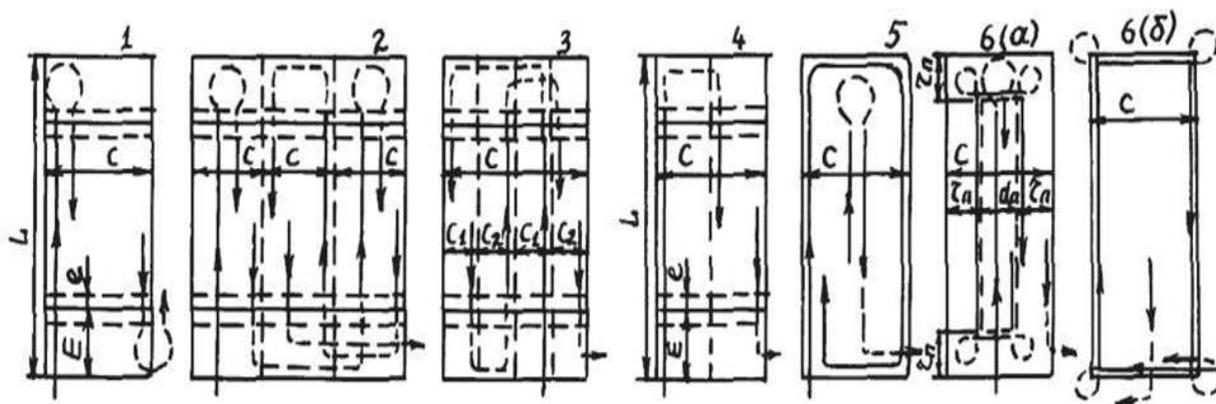


Рисунок 1.1 – Схемы основных способов движения МТА

(по направлению рабочих ходов):

1 — челночный; 2 — чередование всвал, вразвал; 3 — беспетлевой комбинированный; 4 — перекрытием; 5 — круговой; 6а, б — круговой «конверт».

Таблица 1.1 – Варианты заданий

№ вар.	Вид операции	L, м	Состав агрегата	B, м	V _х , км/ч	Z
1	Вспашка легких почв	600	Беларус-82 + ПЛН-3-35	1,05	8	1
2	Вспашка средних почв	600	Беларус-1221 + ПЛН-4-35	1,40	8	1
3	Вспашка тяжелых почв	600	Беларус-1523 + ПЛН-5-35	1,75	7	1
4	Боронование (зубовое)	600	Беларус-1025 + СП-16 + 16БЗСС-1	16	8	1
5	Лушение стерни	400	Беларус-1221 + ЛДГ-5	5	8	1
6	Дискование	600	JD-6620 + ЛДГ-10	10	9	1
7	Сплошная культивация	600	JD 77300 + СП-11 + 2КПС-4	8	9	1
8	Прикатывание	400	Беларус-82 + СП-11+ 2ХЗККШ-6	12,2	8	1
9	Посев зерновых (узкорядный)	600	Беларус-82 + СЗ-3,6	3,6	8	1
10	Посадка картофеля	400	Беларус-1221 + СН-4Б	2,8	7	1
11	Междурядная культивация	400	Беларус-1221 + КРН-5,6	5,6	8	1
12	Уборка картофеля (комбайн)	600	Беларус-1221 + ККУ-2А	1,4	5	1
13	Уборка силосных культур	600	Беларус-82 + КСС-2,6	2,6	8	1
14	Кошение трав	600	ЮМЗ-6М + КС-2,1	2,1	8	1
15	Вспашка легких почв	800	Т-150К + ПЛП-6-35	2,10	8	1
16	Вспашка средних почв	800	К-701 + ПТК-9-35	3,15	9	2П
17	Вспашка тяжелых почв	600	JD 773000 + ПЛН-6-35	2,10	8	2П

Продолжение таблицы 1.1

№ вар.	Вид операции	L, м	Состав агрегата	B, м	V _x , км/ч	Z
18	Боронование (зубовое)	600	Беларус-1221 + СП-11 + 12БЗСС-1	12	8	1
19	Лущение стерни	400	Т-150К + ЛДГ-15	15	9	1
20	Дискование	600	К-700М + ЛДГ-20	20	8	1
21	Сплошная культивация	600	К-701 + СП-16 + 4КПС-4	16	9	1
22	Прикатывание	400	ЮМЗ-60 + СП-11 + 2хЗККШ-6	12,2	9	1
23	Посев зерновых (узкорядный)	400	Беларус-1221 + СП-11 + 2СЗУ-3,6	7,2	8	1
24	Посадка картофеля	600	ДТ-75М + СКМ-6	4,2	6	1
25	Междурядная культивация	600	Беларус-82 + КРН-4,2	4,2	8	1
26	Уборка картофеля (комбайн)	600	Беларус-1025 + ККУ-2А	1,4	5	1
27	Уборка силосных культур	600	Беларус-1025 + КСС-2,6	2,6	8	1
28	Кошение трав	600	ЮМЗ-6М + КПД-4,0	4	7	1
29	Вспашка средних почв	800	JD 773000 + ПТК-9-35	3,15	8	2П
30	Посев зерновых	800	ДТ-75М + СП-11 + 3СЗУ-3,6	10,8	9	1

Примечание. Z — число агрегатов при групповой работе; П — поле подготовлено и обработка поворотных полос не требуется.

Основные положения

В соответствии с системным подходом показатели ресурсосбережения, полученные в предыдущих заданиях, дополняются экономией расхода топлива и времени смены.

Последовательность выполнения работы

Исходные данные выбираются из таблицы 1.1 по соответствующему варианту задания.

При выборе способа движения по рисунку 5.1 и вида поворота по рисунку 5.2 следует учесть следующие основные требования:

- высокое качество технологического процесса;

- безопасность поворота;
- удобство выполнения и др.

Студент должен указать также и другие возможные для данной операции способы движения, обосновать выбор наиболее приемлемого из них и изобразить схему выбранного способа движения в тетради.

Например, для вспашки обычными плугами применимы способы движения **всвал** и **вразвал** (как отдельно, так и с чередованием), **беспетлевой комбинированный**, а также **круговой «конверт»** (ба на рис. 1.2).

При **беспетлевом комбинированном** способе движения сложнее разбивка поля на загоны, но меньше ширина поворотной полосы.

Круговой способ движения «конверт» (ба на рис. 1.2) обеспечивает меньший холостой путь агрегата, однако больше потери времени смены на разбивку поля на загоны, а также сложнее для практического осуществления.

Лушение, дискование, боронование (зубовыми боронами) возможны способами: **челночным, круговым, вразвал, перекрытием**.

Круговой способ предпочтительней при небольшой ширине захвата и малых размерах полей со сложной конфигурацией.

Способы движения **вразвал и перекрытием** для этих операций предпочтительны при большей ширине захвата МТА, когда выполнение петлевых поворотов затруднительно.

Посевные и посадочные операции одно-, двухмашинными агрегатами в основном выполняются **челночным** способом.

Узкорядный посев зерновых при трех и большем числе сеялок в агрегате предпочтительнее выполнять **перекрытием или вразвал**.

Для сплошной и междурядной культивации возможны **челночный способ и перекрытием**.

При уборке картофеля целесообразно применение **беспетлевого комбинированного** способа движения на четырех попарно равных частях загона с условием, чтобы убранный поле находилось справа (со стороны выгрузки клубней).

При кошении трав и уборке силосных культур возможно применение **кругового способа и способа движения вразвал**.

Аналогичные соображения учитываются и при других операциях.

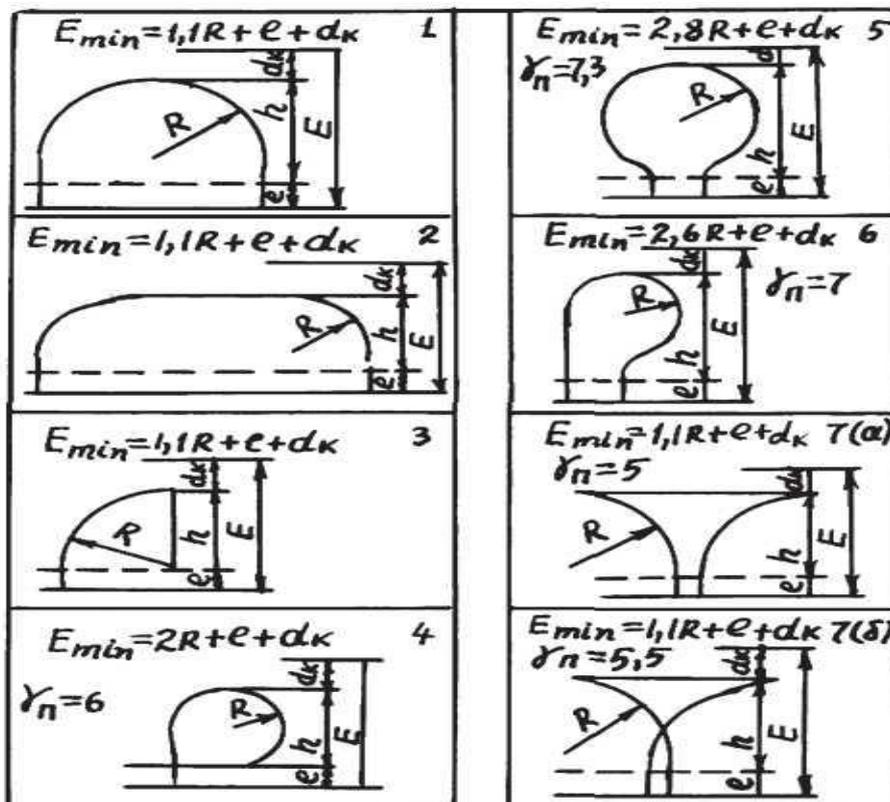


Рисунок 1.2 – Основные виды поворотов МТА:

- 1 – беспетлевой на 180° ; 2 – беспетлевой с прямолинейным участком;
 3 – беспетлевой на 90° ; 4 – перекрестно-петлевой; 5 – петлевой грушевидный;
 6 – петлевой односторонний; 7а, б – петлевые грибовидные.

Средний радиус поворота агрегата R , длина выезда l и ширина поворотной полосы E определяются на основании следующих соображений.

Радиус поворота R зависит от конструктивных особенностей агрегата, ширины захвата B и средней скорости движения V_x и определяется из равенства

$$R = a_{R0} \cdot a_{RV} \cdot B = a_R \cdot B, \quad (1.1)$$

где a_{R0} — коэффициент пропорциональности при $V_x = 5$ км/ч; a_{RV} — поправочный коэффициент при $V_x > 5$ км/ч.

Примерные значения a_{RO} и a_{RV} для основных типов агрегатов приведены в таблице 5.2.

Длина выезда агрегата l определяется обычно в долях кинематической длины l_K в виде

$$l = a_{eo} \cdot l_K. \quad (1.2)$$

Как правило, чем больше ширина захвата МТА, тем больше и l , поэтому приближенно можно принять

$$l_K = a_{ek} \cdot B. \quad (1.3)$$

Таблица 1.2 – Значения a_{RO} и a_{RV} по усредненным справочным данным
(Н – навесные машины, П – прицепные машины)

Агрегаты	a_{RO}		a_{RV}					
	$V_X = 5 \text{ км/ч}$		$V_X = 7 \text{ км/ч}$		$V_X = 9 \text{ км/ч}$		$V_X = 12 \text{ км/ч}$	
	Н	П	Н	П	Н	П	Н	П
Пахотные	3	4,50	1,05	1,15	1,20	1,42	1,35	1,60
Для предпосевной обработки почвы	0,90	1,40	1,06	1,25	1,32	1,55	1,46	1,75
Посевные и посадочные (одно- и двухмашинные)	1,10	1,60	1,08	1,32	1,41	1,57	1,58	1,80
Посевные (трех-, пятидесялочные)	0,90	1,20	1,08	1,32	1,41	1,57	1,58	1,80
Для междурядной культивации	0,80	1,10	1,06	1,35	1,34	1,68	1,48	1,85
Косилочные	0,90	1,20	1,09	1,30	1,46	1,62	1,52	1,82
Жатвенные	0,90	1,60	1,09	1,90	1,46	1,62	1,52	1,82

Примерные значения a_{ek} для некоторых агрегатов приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Значения a_{ek} для основных типов агрегатов

Агрегаты	Значение a_{ek}
Пахотные	3,00
Для лущения и дискования	0,97
Для сплошной и междурядной культивации	1,54
Для боронования	0,69
Для прикатывания	0,57
Для посева и зерновых	1,33
Для посева и посадки пропашных культур	0,65

Из формул (1.2), (1.3) следует, что длину выезда l можно определять из упрощенной зависимости:

$$l = a_{eo} \cdot a_{ек} \cdot B = a_e \cdot B. \quad (1.4)$$

При практических расчетах рекомендуется применять:

- $a_{eo} = 0,6-0,7$ — для прицепных агрегатов;
- $a_{eo} = 0,1-0,2$ — для навесных агрегатов.

Значение a_e в формуле (1.4) определяется в результате умножения $a_{ек}$ из таблицы 5.3 на приведенное выше значение a_{eo} для соответствующего типа агрегата. Для агрегатов, не вошедших в таблицу 1.3, значение $a_{ек}$ определяется приближенно на основании равенства

$$a_{ек} = \frac{l_k}{B} = \frac{(l_T + l_C + l_M)}{B},$$

где l_T — кинематическая длина трактора, м; l_C — кинематическая длина сцепки, м; l_M — кинематическая длина рабочей машины, м.

Значения l_T и l_C для основных марок тракторов и сцепок приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Значения l_T и l_C (по справочным данным)

Марка трактора или сцепки	l_T , м	l_C , м
Т-16М, Т-25А	1,0	—
Т-40М	1,32	—
МТЗ-80/82	1,2/1,3*	—
ДТ-75М	2,35/1,55	—
Т-150	2,12/2,55	—
Т-150К	2,9/2,4	—
Т-4А	2,45/1,65	—
К-701	3,35/2,9	—
СП-11	—	6,7
СП-16	—	9,8
СГ-21	—	8,0 с боронами

Примечание. * В числителе — навесной, в знаменателе — прицепной варианты.

При определении $a_{ек}$, для типов машин, не вошедших в таблицы 1.3, 1.4, можно воспользоваться следующими приближенными значениями: $l_M = 3 \text{ м}$ — силосоуборочные комбайны КСС-2,6, КС-1,8; $l_M = 4 \text{ м}$ — картофелеуборочный комбайн ККУ-2А; $l_M = 1,0 \text{ м}$ — косилки КС-2,12 и КПД-4,0.

Фактическая ширина поворотной полосы E должна быть не менее допустимого минимального значения E_{min} .

Кроме того, E должна быть кратной одной или удвоенной ширине захвата с учетом направления выезда агрегата и уменьшения холостого пути. Минимальная ширина поворотной полосы определяется в соответствии с рисунком 1.2 в виде суммы

$$E_{min} = h + d_K + l = \lambda_E \cdot R + d_K + l, \quad (1.5)$$

где d_K — расстояние от продольной оси, проходящей через кинематический центр агрегата, до наиболее удаленной точки (влево $d_{КЛ}$ или вправо $d_{КП}$ в зависимости от направления поворота).

Расстояние $h = \lambda_E \cdot R$ пропорционально радиусу, а d_K — ширине захвата $d_K = V_E \cdot B$. Соответственно равенство (1.5) примет вид

$$E_{min} = \lambda_E \cdot R + V_e \cdot B + a_e \cdot B = B \cdot (\lambda_E \cdot a_R + V_E + a_e). \quad (1.6)$$

Значения a_R и a_e получены ранее, а значения λ_E равны коэффициентам при R на рисунке 1.2. Для симметричных агрегатов с учетом выступающих частей сцепки и машины можно принять $V_E = 0,6$. Ассиметричные агрегаты могут совершать повороты как по, так и против направления вращения часовой стрелки. Поэтому для d_K следует брать наибольшее значение от продольной оси в направлении расположения рабочих органов.

Ориентировочно для этого случая можно принять $d_K = 1,2 B$ и соответственно V_E для ассиметричных агрегатов будут иметь значение $V_E = 1,2$. Если поворотную полосу намечается обработать за нечетное количество проходов n_H , то расчетное значение n_{HP} определяется из равенства

$$n_{HP} = \frac{E_{min}}{B}, \quad (1.7)$$

Этот результат округляется в большую сторону до нечетного значения (целого) по условию $n_H > n_{HP}$. Умножив фактическое число проходов n_H на ширину

захвата B , получим значение рациональной ширины поворотной полосы, кратной ширине захвата агрегата:

$$E = n_H \cdot B. \quad (1.8)$$

При четном количестве проходов n_H результат равенства (1.7) следует округлить до ближайшего большего четного значения. Четность или нечетность числа проходов на поворотной полосе зависит от особенностей выполняемой операции и расположения соседнего загона, на который должен переехать агрегат.

Оптимальная ширина загона и другие показатели холостого хода МТА с позиций ресурсосбережения должны обеспечивать минимальный холостой путь агрегата на каждом гектаре обработанной площади:

$$S_X \rightarrow \min, \quad (1.9)$$

а также минимальные потери времени смены, связанные с холостым ходом

$$T_X \rightarrow \min. \quad (1.10)$$

Длина холостого пути МТА S_X в расчете на 1 га для всех основных способов движения, изображенных на рисунке 1.1, определяется из обобщенного равенства:

$$S_X = \frac{10^4}{L} \cdot \left(E_X \cdot \lambda_C + \frac{A_X}{\lambda_C} + D_X \right), \quad (5.11)$$

где S_X — длина холостого пути в расчете на 1 га, м; λ_C — отношение ширины загона к ширине захвата, $\lambda_C = C/B$; L — длина гона, м; B — ширина захвата агрегата, м.

Величины E_X , A_X , D_X характеризуют особенности каждого способа движения и организационные формы его реализации. Значения E_X и формулы для расчета A_X и D_X приведены ниже для всех основных способов движения.

Более полным показателем эффективности выбранного способа движения агрегата является минимум общих потерь времени смены, связанных с холостым ходом, в расчете на 1 га:

$$T_X = \frac{10^4}{L} \cdot \left[\frac{3,6}{V_X} \cdot \left(E_X \cdot \lambda_C + \frac{A_X}{\lambda_C} + D_X \right) + \frac{Z \cdot T_{BC}}{C} \right] \rightarrow \min, \quad (1.12)$$

где T_X — потери времени смены, связанные с холостым ходом, с; V_X — скорость холостого поворота, км/ч; Z — число агрегатов, работающих в одном

загоне; T_{BC} — вспомогательное время, связанное с холостым ходом МТА в пределах одного загона, с.

Если каждый агрегат работает на отдельном загоне, то в формулах (1.10), (1.11) следует принять $Z = 1$. Такой вариант групповой работы агрегатов является наиболее эффективным.

Вспомогательное время T_{BC} для каждого агрегата в пределах одного загона включает: время на разметку загона; время настройки агрегата для первого прохода и последующей перестройки на основной режим работы; время подготовки агрегата к переезду на соседний загон и последующей перенастройки на основной режим работы и т. д.

Расчетная оптимальная ширина загона C_{TOP} по общему критерию (1.12) определяется по условию $dT_X/d \cdot C = 0$:

$$C_{TOP} = B \cdot \sqrt{\frac{1}{E_{XO}} \cdot \left(A_X + \frac{Z \cdot T_{BC} \cdot V_X}{3.6} \right)}. \quad (1.13)$$

Расчетная оптимальная ширина загона C_{SOP} по минимуму длины холостого пути (1.10) определяется из формулы (1.12) в виде частного решения при $T_{BC}=0$:

$$C_{SOP} = B \cdot \sqrt{\frac{A_X}{E_X}}. \quad (1.14)$$

Из сравнения (1.13), (1.14) видно, что критерию $T_X \rightarrow \mathbf{min}$ соответствует большее значение ширины загона.

Критерий (1.12) более полно отражает производственную ситуацию, поэтому практические расчеты целесообразно проводить по этой формуле.

Потери времени T_{BC} при этом могут быть определены на основании хронометражных наблюдений.

Для учебных целей можно воспользоваться следующими значениями T_{BC} :

- пахотные агрегаты — **180** с;
- агрегаты для боронования, дискования, сплошной и междурядной культивации и прикатывания — **120** с;
- посевные и посадочные агрегаты — **140** с;
- уборочные агрегаты, включая косилочные — **120** с.

Оптимальная ширина загона должна быть кратной удвоенной ширине захвата агрегата, поэтому на основании (1.12) и (1.13) предварительно следует определить соответствующее количество двойных проходов агрегата:

$$n_{2TP} = \frac{C_{TOP}}{2B}; \quad n_{2SP} = \frac{C_{SOP}}{2B}. \quad (1.15)$$

Округлив расчетные значения n_{2TP} и n_{2SP} в большую сторону до целых чисел $n_{2T} \geq n_{2TP}$ и $n_{2S} \geq n_{2SP}$, определим соответствующие фактические значения оптимальной ширины загона по обоим критериям:

$$C_{TO} = 2 \cdot B \cdot n_{2T}; \quad C_{SO} = 2 \cdot B \cdot n_{2S}. \quad (1.16)$$

Длину холостого пути агрегата S_{X0} в расчете на 1 га при оптимальной ширине загона C_{SO} получим на основании (1.11) при $\lambda_C = \lambda_{CSO} = C_{SO}/B$ в виде

$$S_{X0} = \frac{10^4}{L} \cdot \left(E_X \cdot \lambda_{CSO} + \frac{A_X}{\lambda_{CSO}} + D_X \right). \quad (1.17)$$

Соответствующий коэффициент рабочих ходов определяется из равенства

$$\varphi_{PO} = \frac{S_P}{S_P + S_{X0}} = \frac{1}{\left[1 + \frac{B}{L} \cdot \left(E_X \cdot \lambda_{CSO} + \frac{A_X}{\lambda_{CSO}} + D_X \right) \right]}, \quad (1.18)$$

где S_P — длина рабочего пути агрегата в расчете на 1 га, $S_P = 10^4/B$, м.

Общие потери времени смены, связанные с холостым ходом T_{X0} , в расчете на 1 га получим из формулы (1.12) при $\lambda_C = \lambda_{CTO} = C_{TO}/B$ в виде

$$T_{X0} = \frac{10^4}{L} \cdot \left[\frac{3,6}{V} \cdot \left(E_X \cdot \lambda_{CTO} + \frac{A_X}{\lambda_{CTO}} + D_X \right) + \frac{Z \cdot T_{BC}}{C_{TO}} \right]. \quad (1.19)$$

Значения E_X , A_X , D_X для основных способов движения определяются по приведенным ниже зависимостям.

Все варианты способов движения всвал и вразвал, включая чередование загонов:

$$E_X = 0,5;$$

$$A_X = (2,14 \cdot a_R + 2 \cdot a_e) \cdot Z + 2 \cdot a_R^2 \cdot (\gamma_{II} - 2,14) - (1 + n_{ПК}) \cdot (\gamma_{II} \cdot a_R + 2 \cdot a_e) + \beta_P \cdot m_D \cdot \left(\frac{L}{B} + \gamma_{II} \cdot a_R + 2 \cdot a_e \right) + 2 \cdot \mu_{II} \cdot (\lambda_E \cdot a_R + V_E + a_e) \cdot (\gamma_{II} \cdot a_R + 2a_e); \quad (1.20)$$

$$D_X = (\beta_3 - 0,5) \cdot Z + 1,14 \cdot a_R + 2 \cdot a_e, \quad (1.21)$$

где Z — число агрегатов, работающих на одном загоне; β_p — количество борозд и гребней на одном загоне (при чередовании следует принять $\beta_p = 1$, а без чередования $\beta_p = 2$); $\gamma_{п}$ — коэффициент, характеризующий зависимость длины петлевого поворота $l_{п}$ от радиуса ($l_{п} = \gamma_{п} \cdot R + 2l$), значения $\gamma_{п}$ для соответствующих видов поворотов приведены на рисунке 1.2; m_d — число дополнительных заездов на заравнивание одной развальной борозды, свального гребня, стыка между проходами и т. д. (для пахотных агрегатов $m_d = 2$, а для непахотных агрегатов следует принять $m_d = 1$); $\mu_{п}$ — величина, обратная количеству загонов $n_{зп}$, поворотные полосы которых обрабатываются совместно (чаще $n_{зп} = 1$ и соответственно $\mu_{п} = 1$) $\mu_{п} = 1/n_{зп}$; β_3 — коэффициент, характеризующий, на какую часть ширины загона в среднем перемещается агрегат при переездах с одного загона на другой (в среднем с учетом многообразия вариантов можно принять $\beta_3 = 1,75$); $n_{пк}$ — число петлевых поворотов, сделанных на загоне при предварительной подготовке поля другим агрегатом (если поле предварительно не подготовлено, то следует принять $n_{пк} = 0$, а если подготовлено, то $n_{пк} = 1$).

При рациональном чередовании загонов, когда нечетные загоны обрабатываются в направлении слева направо **всвал**, а четные — справа налево **вразвал**, длина холостого пути агрегата при прочих равных условиях уменьшается.

Основные частные случаи определения A_x и D_x :

- $Z = 1$ — работа каждого агрегата на отдельном загоне;
- $m_d = 0$ — работа без дополнительных заездов на заравнивание борозд, гребней, стыков и т. д. при предварительной подготовке поля другим вспомогательным агрегатом;
- $\mu_{п} = 0$ — работа без обработки поворотных полос при наличии свободных мест на краях загона или предварительной подготовке полей;
- $n_{пк} = 1$ — работа при предварительной прокладке борозд и прокосов.

При $m_d = 0$ и $\mu_{п} = 0$ длина холостого пути агрегата существенно уменьшается, и оптимальная ширина загона C_0 не зависит от длины гона L . В связи с этим в состав звена мощных агрегатов следует включать агрегаты (вспомогательные) меньшей мощности для обработки стыков и поворотных полос. Так называемый

способ движения уборочных агрегатов *с расширением прокосов* является частным случаем чередования **всвал и вразвал** на трех загонах с предварительной обработкой поворотных полос и стыков, когда $m_d = \mu_{II} = 0$.

Все варианты движения беспетлевым комбинированным способом

Различия между вариантами в данном случае состоят в основном в ширине C_1, C_2 попарно равных частей загона, очередности попарной обработки указанных частей и в направлении движения агрегата при этом (по или против направления хода часовой стрелки). Для рациональной очередности обработки загонов в соответствии с рисунком 1.1 получены следующие выражения для E_X, A_X, D_X :

$$E_X = 0,5;$$

$$A_X = m_d \cdot \beta_P \cdot \left(1,14 \cdot a_R + 2 \cdot a_e + \frac{L}{B} \right) + 2 \cdot \mu_{II} \cdot (\lambda_E \cdot a_R + V_E + a_e) \cdot (\gamma_{II} \cdot a_R + 2 \cdot a_e); \quad (1.22)$$

$$D_X = 1,14 \cdot a_R + 2 \cdot a_e + 0,5 \cdot m_d \cdot \beta_P. \quad (1.23)$$

При необходимости дополнительных заездов для обработки борозд, гребней или стыков следует принимать $\beta_P = 2$. Случаи $m_d = 0$ и $\mu_{II} = 0$ аналогичны рассмотренным выше. При $m_d = m_{II} = 0$ имеем $A_X = 0$ и соответственно $C_0 = 0$. Минимально возможную ширину загона при этом следует выбирать из практических соображений.

Определяемая из (1.13), (1.14) или по другим соображениям ширина загона должна удовлетворять условию

$$C \geq C_{\min} \text{ или } C \geq 4B \cdot (a_R + Z - 1). \quad (1.24)$$

Одновременно меньшая часть загона должна удовлетворять условию

$$C_{2\min} \geq \frac{1}{4} C_{\min}$$

Минимальная ширина загона C_{\min} при этом определяется из условия возможности реализации **беспетлевого** поворота всеми агрегатами группы (при одиночной работе следует принять $Z = 1$).

Если определяемое из формулы (1.13) или (1.24) значение C окажется слишком малым по практическим соображениям, то следует выбрать ближайшее

рациональное значение ширины загона C , кратное удвоенной ширине захвата агрегата $2B$. Количество проходов агрегата на каждой части загона при этом также должно быть целым числом. Направление движения агрегата по отдельным частям загона следует выбирать с учетом особенностей технологического процесса и самого агрегата. Например, для уборочных агрегатов убранная часть загона должна находиться со стороны выгрузки урожая.

Движение перекрытием

Обычно при данном способе движения нет необходимости в дополнительных проходах для заравнивания борозд и гребней и обработки стыков. Значения E_X , A_X , D_X :

$$E_X = 0,5;$$

$$A_X = Z^2 + 2 \cdot \mu_{\Pi} \cdot (\lambda_E \cdot a_R + V_e + a_e) \cdot (\gamma_{\Pi} \cdot a_R + 2 \cdot a_e), \quad (1.25)$$

$$D_X = 1,14 \cdot a_R + 2 \cdot a_e. \quad (1.26)$$

Без обработки поворотных полос и в данном случае следует принять $\mu_{\Pi} = 0$. Аналогично предыдущему случаю значение C , определяемое на основании (1.13), должно удовлетворять также условию осуществления **беспетлевого** поворота всеми Z агрегатами группы:

$$C \geq C_{\min} \text{ или } C \geq 2 \cdot (2a_R + Z) \cdot B. \quad (1.27)$$

Последующее решение осуществляется в полной аналогии с предыдущим случаем путем выбора рационального целого числа проходов.

Круговой способ движения

Холостые повороты в данном случае имеют место в середине загона. Кроме того, имеет место потеря пути при рабочих поворотах (скрытый холостой ход). Для основных вариантов обычного кругового способа движения (от периферии к центру или от центра к периферии) имеем:

$$E_X = 0;$$

$$A_X = (\gamma_{\Pi} \cdot a_R + 2 \cdot a_e) \cdot (2 \cdot a_R - 1) + Z \cdot (1,14 \cdot a_R + 2 \cdot a_e) + m_{\text{д}} \cdot \left(\frac{L}{B} + \gamma_{\Pi} \cdot a_R + 2 \cdot a_e \right) - 2\pi \cdot a_R^2 \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_B} - 1 \right); \quad (1.28)$$

$$D_X = \beta_3 \cdot Z + \left(\frac{1}{\varepsilon_B} - 1 \right) \cdot \pi \cdot a_R, \quad (1.29)$$

где $\varepsilon_B = V_{рп}/V$ — отношение средней рабочей скорости при повороте $V_{рп}$ к рабочей скорости при прямолинейном движении V ($\varepsilon_B = 0,8$).

Коэффициент β_3 аналогичен такому же коэффициенту в формуле (1.21). При правильной организации движения агрегата имеем $\beta_3 = 0,5$. Соответствующую этому значению β_3 схему движения агрегата студент должен определить самостоятельно. Необходимость в дополнительных заездах на обработку стыков может возникнуть при движении от периферии к центру. При этом следует принять $m_D = 2$ — если въезд и выезд осуществляется на одной стороне загона; $m_D = 1$ — когда въезд и выезд совершаются на противоположных сторонах загона (чаще имеет место случай $m_D = 2$).

Так как в данном случае $E_x = 0$, то из формулы (1.12) имеем $C_0 = \infty$ ($A_x > 0$). Соответственно ширина загона выбирается из практических соображений с учетом размеров поля и сменной наработки агрегата, желательно, чтобы площадь загона не превышала сменную наработку агрегата.

Круговой способ движения «конверт»

Развернутые значения E_x, A_x, D_x в данном случае имеют вид:

$$E_x = 0;$$

$$A_x = (2 \cdot a_R - 1) \cdot (\gamma_{п} \cdot a_R + 2 \cdot a_e) + (\rho_{п} - 2 \cdot a_R) \cdot (0,5 \cdot \rho_{п} + 2,14 \cdot a_R + 2 \cdot a_e - 0,5 \cdot Z) - 2 \cdot \rho_{п} \cdot (\gamma_{п} \cdot a_R \cdot 2 \cdot a_e) + m_D \cdot \left(\frac{L}{B} + \rho_{п} + \gamma_{п} \cdot a_R + 2 \cdot a_e \right) + Z \cdot (1,14 \cdot a_R + 2 \cdot a_e); \quad (1.30)$$

$$D_x = 2 \cdot (\gamma_{п} \cdot a_R + 2 \cdot a_e) + Z \cdot \beta_3 - m_D, \quad (1.31)$$

где $\rho_{п} = d_{п}/B$ — отношение $d_{п}$ из рисунка 1.1 к ширине захвата B .

Остальные обозначения аналогичны предыдущим случаям. Минимальное значение $d_{п}$ приближенно определяется из равенства

$$d_{пМ} = 2R + 2e = 2B \cdot (a_R + a_e).$$

Соответственно для $\rho_{пМ}$ получим

$$\rho_{пМ} = \frac{d_{пМ}}{B} = 2 \cdot (a_R + a_e), \quad (1.32)$$

Численное значение коэффициента β_3 определяется в зависимости от принятого варианта работы агрегата.

При движении **от центра к периферии** (например, при вспашке) (**6а** на рис. 1.1) имеем:

- $\beta_3 = 0,5$ — при переезде на соседний правый загон;
- $\beta_3 = 1,5$ — при переезде на соседний левый загон.

Если движение агрегата происходит **от периферии к центру** (например, при уборке зерновых) (**6б** на рис. 1.1), то получим:

- $\beta_3 = 0,5$ — при переезде на соседний левый загон;
- $\beta_3 = 1,5$ — при переезде на соседний правый загон.

Рациональный вариант движения агрегата выбирается с учетом типа агрегата и конкретных условий работы. Необходимость в дополнительных заездах и соответствующее значение m_d в формуле (1.30) также определяются с учетом вида операции и условий его выполнения по аналогии с ранее рассмотренными способами движения.

Так как $E_x = 0$, то имеем $C_0 = \infty$, поэтому рациональное значение ширины загона следует определять по аналогии с предыдущим случаем обычного кругового способа движения агрегата.

Челночный способ движения

Данный способ движения применим в основном для случая работы каждого агрегата на отдельном загоне. При этом получено:

$$E_x = 0;$$

$$A_x = 2 \cdot \mu_{\Pi} \cdot (\lambda_E \cdot a_R + V_E + a_e) \cdot (\gamma_{\Pi} \cdot a_R + 2 \cdot a_e) , \quad (1.33)$$

$$D_x = \gamma_{\Pi} \cdot a_R + 2 \cdot a_e . \quad (1.34)$$

Оптимальная ширина загона и в данном случае имеет значение $C_0 = \infty$. Соответственно и рациональное значение определяется по аналогии с круговым способом движения.

Если обработка загона осуществляется в двух взаимно перпендикулярных направлениях, то в формуле (1.4) следует брать удвоенное значение правой части. Челночный способ движения обычно применяется при числе машин в агре-

гате не более двух-трех, так как для многомашинных агрегатов петлевые повороты становятся затруднительными и приводят к большим потерям времени смены.

При выполнении задания на компьютере следует выполнить многовариантную учебно-исследовательскую работу по аналогии с предыдущими заданиями.

Пример расчета агрегата для посева зерновых(узкорядный).

1. Выписываем из таблицы 1.1 вариант задания №30.

№ вар.	Вид операции	L, м	Состав агрегата	B, м	V _х , км/ч	Z
30	Посев зерновых	800	ДТ-75М + СП-11 + ЗСЗУ-3,6	10,8	9	1

2. По рисункам 1.1 и 1.2 выбираем способ движения и вид поворота. Узкорядный посев зерновых при трехсеялочном агрегате выполняют «перекрытием» или «вразвал».

Выбираем способ движения «перекрытием» и вид поворота «беспетлевой с прямолинейным участком».

3. Определяем радиус поворота агрегата по формуле (1.1), учитывая, что $a_R = 1,57$ – поправочный коэффициент при $V_X = 9$ км/ч.

$$R = 1,57 \cdot 10,8 = 17 \text{ м.}$$

4. Кинематическую длину агрегата определяем по формуле (1.3), учитывая, что $a_{e0} = 0,6...0,7$; $a_{ек} = 1,33$.

$$l_K = 1,33 \cdot 10,8 = 14,36 \text{ м.}$$

5. По формуле (1.4) определяем длину выезда агрегата

$$l = 0,65 \cdot 1,33 \cdot 10,8 = 9,3 \text{ м.}$$

6. Минимальная ширина поворотной полосы определяется в соответствии с рисунком 1.2 по формуле (1.6) с учетом, что

$$\lambda_E = 1.1; a_R = 1.57; v_E = 0.6; a_e = a_{eo} \cdot a_{ek} = 0.65 \cdot 1.33 = 0.86.$$

$$E_{\min} = 10.8 \cdot (1.1 \cdot 1.57 + 0.6 + 0.86) = 10.8 \cdot (1.727 + 1.46) = 10.8 \cdot 3.187 = 34.4 \text{ м.}$$

7. Величины E_X , A_X , D_X характеризующие особенности каждого способа движения, определяем по формулам (1.25) и (1.26) для способа движения «перекрытием», учитывая, что

$Z = 1$ - число агрегатов, работающих на одном загоне;

$\mu_{\Pi} = 0$ – величина, обратная количеству загонов, поворотные полосы которых обрабатываются совместно;

$\Upsilon_{\Pi} = 0$ – коэффициент, характеризующий зависимость длины петлевого поворота от радиуса.

$$\lambda_E = 1.1; a_R = 1.57; v_E = 0.6; a_e = 0.86.$$

$$E_X = 0.5; A_X = Z^2 = 1 \text{ – так как } \mu_{\Pi} = 0;$$

$$D_X = 1.4 \cdot 1.57 + 2 \cdot 0.86 = 2.198 + 1.72 = 3.92.$$

8. Определяем расчетную оптимальную ширину загона по критерию (1.12) по формуле (1.13), с учетом, что

$T_{BC} = 140 \text{ с}$ – вспомогательное время для посевного агрегата.

$$\begin{aligned} C_{\text{ТОР}} &= 10.8 \cdot \sqrt{\frac{1}{0.5} \cdot \left(1 + \frac{1 \cdot 140 \cdot 9}{3.6}\right)} = 10.8 \cdot \sqrt{2 \cdot \left(1 + \frac{1260}{3.6}\right)} = \\ &= 10.8 \cdot \sqrt{2 \cdot (1 + 350)} = 10.8 \cdot \sqrt{702} = 10.8 \cdot 26.5 = 286 \text{ м.} \end{aligned}$$

9. Определяем расчетную оптимальную ширину загона по минимуму длины холостого пути (критерий 1.10) по формуле (5.14), при $T_{BC} = 0$.

$$C_{\text{СОП}} = 10.8 \cdot \sqrt{\frac{1}{0.5}} = 10.8 \cdot \sqrt{2} = 10.8 \cdot 1.41 = 15.3 \text{ м.}$$

10. Оптимальная ширина загона должна быть кратной удвоенной ширине захвата агрегата, поэтому на основании (1.12) и (1.13) определяем соответствующее количество двойных проходов агрегата по формуле (1.15)

$$n_{2TP} = \frac{286}{2 \cdot 10,8} = \frac{286}{21,6} = 13,2$$

$$n_{2SP} = \frac{15,3}{2 \cdot 10,8} = \frac{15,3}{21,6} = 0,71$$

11. Округлив полученные выше значения в большую сторону до целых чисел, определяем фактическое значение оптимальной ширины загона по обоим критериям по формуле (1.16)

$$C_{TO} = 2 \cdot 10,8 \cdot 14 = 302 \text{ м.}$$

$$C_{SO} = 2 \cdot 10,8 \cdot 1 = 21,6 \text{ м.}$$

12. Длину холостого пути агрегата S_{XO} в расчете на 1 га при оптимальной ширине загона C_{SO} определяем по формуле (1.17), учитывая, что

$$\lambda_C = \lambda_{CSO} = C_{SO} / B = 21,6 / 10,8 = 2; \quad L = 800 \text{ м.}$$

$$S_{XO} = \frac{10^4}{800} \cdot \left(0,5 \cdot 2 + \frac{1}{2} + 3,92 \right) = 12,5 \cdot (1 + 0,5 + 3,92) = 12,5 \cdot 5,42 = 67,75 \text{ м.}$$

13. Определяем коэффициент рабочих ходов по формуле (1.18), с учетом, что $S_P = 10^4 / B = 10000 / 10,8 = 926 \text{ м.}$

$$\varphi_{PO} = \frac{926}{926 + 68} = \frac{926}{994} = 0,931$$

14. Определяем общие потери времени смены, связанные с холостым ходом T_{XO} , в расчете на 1 га, при $\lambda_C = \lambda_{C_{TO}} = C_{TO} / B = 302 / 10,8 = 28$

$$T_{XO} = \frac{10^4}{800} \cdot \left[\frac{3,6}{9} \cdot \left(0,5 \cdot 28 + \frac{1}{28} + 3,92 \right) + \frac{1 \cdot 140}{302} \right] = 12,5 \cdot [0,4 \cdot (14 + 0,036 + 3,92) + 0,46] = 12,5 \cdot [0,4 \cdot 18 + 0,46] = 12,5 \cdot [7,2 + 0,46] = 12,5 \cdot 7,66 = 95,75 \text{ с.}$$

Отчет.

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

Таблица 1.5

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
1	Вид операции	Посев зерновых
2	Состав агрегата	ДТ-75М + СП-11 + 3СЗУ-3,6
3	Длина гона, L	800 м
4	Ширина захвата, В	10,8 м
5	Скорость холостого хода, V_x	9 км/ч
6	Число агрегатов, работающих на одном загоне, Z	1
7	Способ движения	Перекрытием
8	Вид поворота	Беспетлевой
9	Коэффициент пропорциональности, a_R	1,57
10	Коэффициент, a_{co}	0,65
11	Коэффициент, a_{ck}	1,33
12	Кинематическая длина агрегата, l_K	14,36 м
13	Длина выезда агрегата, l	9,3 м
14	Минимальная ширина поворотной полосы, E_{min}	34,4 м
15	Величина, E_x	0,5
16	Величина, A_x	1
17	Величина, D_x	3,92
18	Вспомогательное время, T_{BC}	140 с
19	Оптимальная ширина загона, C_{TOP}	286 м
20	Оптимальная ширина загона, C_{SOP}	15,3 м
21	Количество двойных проходов, n_{2TP}	13,2
22	Количество двойных проходов, n_{2SP}	0,71
23	Фактическое значение оптимальной ширины загона, C_{TO}	302 м
24	Фактическое значение оптимальной ширины загона, C_{SO}	21,6 м
25	Коэффициент, λ_{CSO}	2
26	Длина холостого пути агрегата, S_{XO}	67,75 м
27	Длина рабочего пути, S_P	926 м
28	Коэффициент рабочих ходов, φ_{PO}	0,931
29	Коэффициент, λ_{CTO}	28
30	Общие потери времени смены, связанные с холостым ходом, T_{XO}	95,75 с

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

Цель задания – освоить современные методы расчета производительности МТА с учетом влияния основных параметров и природно-производственных факторов.

Содержание задания

1. Выписать из таблицы 2.1 исходные данные по соответствующему варианту задания.
2. Определить обобщенный поправочный коэффициент $K_{об}$ при работе МТА в заданных условиях.
3. Рассчитать коэффициент использования времени смены τ для заданного МТА.
4. Определить производительность агрегата в заданных условиях W .
5. Наметить эффективные ресурсосберегающие способы увеличения производительности МТА.
6. Представить основные результаты расчетов в форме таблицы, приведенной в конце задания.

Последовательность выполнения работы

Производительность агрегата зависит не только от скорости и ширины захвата, но и от множества природно-производственных факторов: длины гона; сложности конфигурации полей; каменистости; потерь времени смены на холостые повороты; на технологическое обслуживание и т. д. Эффективным и наиболее экономичным путем учета указанных факторов при расчете производительности агрегата является использование имеющейся типовой нормативной информации. В связи с этим последующие расчеты выполняются на базе такого подхода.

Производительность МТА равна объему выполненной им работы требуемого качества за определенный промежуток времени. В зависимости от принятого промежутка времени различают секундную, часовую, сменную и дневную производительности МТА. Умножая дневную производительность на соответствующее число дней, можно получить производительность МТА за любой другой промежуток времени.

Таблица 2.1 – Варианты заданий

№ варианта	Технологическая операция	L, м	Состав агрегата	B, м	V_x , км/ч	α	Γ_k	K_M	h	$\Pi_{\text{л}}$	h_w
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Вспашка легких почв	600	Беларус-82 + ПЛН-3-35	1,05	8	2	I	Слабая	400	5	0,945
2	Вспашка средних почв	600	Беларус-1221 + ПЛН-4-35	1,40	8	3	II	Слабая	500	10	0,980
3	Вспашка тяжелых почв	600	Беларус-1523 + ПЛН-5-35	1,75	7	3	III	Нет	600	15	0,990
4	Боронование (зубовое)	600	Беларус-1025 + СП-16 + 16БЗСС-1	16	8	0	I	Слабая	500	10	0,940
5	Лушение стерни	400	Беларус-1221 + ЛДГ-5	5	8	2	II	Слабая	600	5	0,730
6	Дискование	600	JD-6620 + ЛДГ-10	10	9	2	I	Слабая	400	5	0,750
7	Сплошная культивация	600	JD 77300 + СП-11 + 2КПС-4	8	9	3	II	Нет	500	5	0,818
8	Прикатывание	400	Беларус-82 + СП-11 + 2ХЗККШ-6	12,2	8	0	III	Нет	600	10	0,810
9	Посев зерновых (узкорядный)	600	Беларус-82 + СЗ-3,6	3,6	8	2	I	Нет	500	15	0,680
10	Посадка картофеля	400	Беларус-1221 + СН-4Б	2,8	7	2	II	Слабая	600	10	0,410
11	Междурядная культивация	400	Беларус-1221 + КРН-5,6	5,6	8	2	I	Слабая	400	5	0,760
12	Уборка картофеля 2 кг/м ²	600	Беларус-1221 + ККУ-2А	1,4	5	0	II	Слабая	500	5	0,790

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	Уборка силосных культур 2,5 кг/м ²	600	Беларус-82 + КСС-2,6	2,6	8	3	Ш	Нет	600	5	0,740
14	Кошение трав 0,5 кг/м ²	600	ЮМЗ-6М + КС-2,1	2,1	8	2	І	Нет	500	10	0,700
15	Вспашка легких почв	800	Т-150К + ПЛП-6-35	2,10	8	2	ІІ	Слабая	600	15	0,990
16	Вспашка средних почв	800	К-701 + ПТК-9-35	3,15	9	2	І	Слабая	400	10	0,995
17	Вспашка тяжелых почв	600	JD 773000 + ПЛН-6-35	2,10	8	2	ІІ	Нет	500	5	0,980
18	Боронование (зубовое)	600	Беларус-1221 + СП-11 + 12БЗСС-1	12	8	1	Ш	Слабая	600	5	0,880
19	Лушение стерни	400	Т-150К + ЛДГ-15	15	9	2	І	Слабая	500	5	0,810
20	Дискование	600	К-700М + ЛДГ-20	20	8	2	ІІ	Нет	600	10	0,820
21	Сплошная культивация	600	К-701 + СП-16 + 4КПС-4	16	9	3	І	Слабая	500	15	0,850
22	Прикатывание	400	ЮМЗ-60 + СП-11 + 2хЗККШ-6	12,2	9	0	ІІ	Слабая	500	10	0,895
23	Посев зерновых (узкорядный)	400	Беларус-1221 + СП-11 + 2СЗУ-3,6	7,2	8	2	Ш	Слабая	500	5	0,650
24	Посадка картофеля	600	ДТ-75М + СКМ-6	4,2	6	2	І	Нет	400	5	0,430
25	Междурядная культивация	600	Беларус-82 + КРН-4,2	4,2	8	2	ІІ	Нет	500	5	0,800
26	Уборка картофеля (комбайном) 2,5 кг/м ²	600	Беларус-1025 + ККУ-2А	1,4	5	2	І	Слабая	600	10	0,790
27	Уборка силосных культур 3 кг/м ²	600	Беларус-1025 + КСС-2,6	2,6	8	3	ІІ	Нет	500	15	0,740
28	Кошение трав 0,6 кг/м ²	600	ЮМЗ-6М + КПД-4,0	4	7	1	Ш	Нет	600	10	0,700
29	Вспашка средних почв	800	JD 773000 + ПТК-9-35	3,15	8	2	І	Нет	500	5	0,990
30	Посев зерновых (узкорядный)	800	ДТ-75М + СП-11 + 3СЗУ-3,6	10,8	9	1	ІІ	Слабая	500	5	0,710

Продолжение таблицы 2.1

№ варианта	a_w	K_w	v_θ	Число механизаторов, $m_{\text{мех}}$	Тарифный разряд	u , кг/м ²	α , град.	V , м/с	B , м	Каменистость	Высота над уровнем моря, м	Группа контура	Площадь занятая препятствиями, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0,0105	0,0358	0,805	1	4	-	0	3,13	1,05	Отсутств.	До 500	II	5-10
2	0,00754	0,0343	0,819	1	6	-	2	2,61	2,10	Слабая	До 500	III	10-15
3	0,00615	0,0269	0,852	1	6	-	0	2,14	2,80	Средняя	До 500	II	5-10
4	0,00320	0,00100	0,811	1	4	-	3	2,08	19,95	Слабая	До 500	I	0
5	0,000425	0,00942	0,764	1	4	-	2	2,14	10,00	Средняя	До 500	II	5-10
6	0,000375	0,00640	0,778	1	5	-	0	2,30	15,00	Отсутств.	До 500	III	10-15
7	0,00265	0,00746	0,747	1	5	-	3	3,18	8,00	Отсутств.	До 500	II	5-100
8	0,00449	0,00417	0,710	1	2	-	2	2,07	12,20	Слабая	До 500	III	10-15
9	0,00564	0,00414	0,593	1 + 2С	4	-	1	1,84	10,80	Отсутств.	До 500	II	3-4
10	0,0140	0,0587	0,433	1 + 2С	5	-	0	1,77	2,80	Отсутств.	До 500	II	5-10
11	0,00759	0,00244	0,792	1	5	-	1	2,08	4,20	Слабая	До 500	II	5-10
12	0,0178	0,217	0,620	1 + 1К + 4ВР	5	2,0	0	1,10	1,40	Отсутств.	До 500	I	0
13	0,00161	0,0302	0,531	1	5	2,0	2	1,94	1,80	Слабая	До 500	I	2-3
14	0,00451	0,0363	0,502	1	4	0,4	2	2,14	2,10	Отсутств.	До 500	II	10-15
15	0,00615	0,0269	0,852	1	5	-	1	2,36	1,75	Средняя	600	I	0
16	0,00698	0,0121	0,861	1	6	-	0	2,58	3,15	Отсутств.	600	II	1-3
17	0,00754	0,0343	0,819	1	6	-	1	1,94	2,10	Отсутств.	600	III	10-15
18	0,00544	0,00112	0,745	1	3	-	2	2,08	11,40	Слабая	600	II	5-10
19	0,000323	0,00504	0,804	1	5	-	0	2,13	20,00	Отсутств.	650	I	0
20	0,000289	0,00295	0,831	1	5	-	1	2,90	20,00	Слабая	700	I	0

Окончание таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
21	0,00274	0,00138	0,815	1	5	-	1	2,55	16,00	Средняя	650	I	0
22	0,00270	0,00268	0,799	1	3	-	0	2,08	18,30	Отсутств.	700	II	5-10
23	0,00562	0,00591	0,585	1	3	-	0	3,08	3,60	Слабая	600	III	10-15
24	0,0128	0,0659	0,435	1 + 2С	5	-	1	2,36	2,80	Средняя	650	I	3-4
25	0,00692	0,00138	0,819	1	5	-	2	2,08	5,60	Отсутств.	700	I	0
26	0,0178	0,217	0,620	1 + 1К + 4ВР	5	1,6	2	1,10	1,40	Слабая	600	II	5-10
27	0,00161	0,0302	0,531	1	5	2,5	0	2,00	2,60	Средняя	620	II	5-10
28	0,00451	0,0363	0,502	1	4	0,3 0	0	2,00	4,00	Слабая	630	III	10-15
29	0,00615	0,0269	0,852	1	6	-	1	2,44	2,10	Средняя	600	I	2-3
30	0,00490	0,00472	0,607	1 + 2С	5	-	2	2,27	14,40	Средняя	650	I	0

Примечания. α — угол склона, град; Γ_k — группа контура; K_m — каменность; h — высота над уровнем моря, м; Π_l — площадь, занятая препятствиями, %; K — комбайнер; C — сеяльщик; BC — вспомогательный рабочий.

Производительность является одним из важнейших технико-экономических показателей любого агрегата, на основании которой производят нормирование и планирование сельскохозяйственных работ с учетом агротехнических сроков их выполнения, а также рассчитывают соответствующие затраты, включая заработную плату механизаторам и вспомогательным рабочим. Исходя из этого, от правильности определения производительности МТА в значительной степени зависит эффективность всего сельскохозяйственного производства. Особая сложность и актуальность рассматриваемой задачи состоит в том, что каждая технологическая операция, связанная с производством сельскохозяйственной продукции, должна быть выполнена в установленные агротехнические сроки, отклонение от которых ведет к значительным потерям урожая.

Ранее выполненные задания являются частью общей проблемы обеспечения высокопроизводительной работы агрегатов при наименьшем расходе ресур-

сов. Однако кроме ранее рассмотренных параметров и режимов работы тракторов и сельскохозяйственных машин на производительность МТА влияет множество других параметров самого агрегата и внешних факторов.

Производительность МТА при нормировании полевых механизированных работ для типовых условий определяют из формул:

$$W = \frac{W_{CM}}{T_{CM}} = 0,36 \cdot B \cdot V \cdot \tau = 0,36 \cdot \Pi \cdot \tau, \quad (2.1)$$

$$W = 0,36 \cdot \frac{N_{KPH}}{k_{amy}} \cdot \tau = 0,36 \cdot \frac{N_H}{k_{amy}} \cdot \eta_m \cdot \tau, \quad (2.1a)$$

где B , V , τ — ширина захвата, скорость движения агрегата, коэффициент использования времени смены; Π — производительность за час чистой работы агрегата; N_H , η_m , k_{amy} — номинальная мощность, тяговый КПД трактора, удельное сопротивление агрегата.

Типовые условия работы МТА: поля правильной конфигурации (прямоугольной формы); рельеф ровный (угол склона $\alpha < 1^\circ$); высота над уровнем моря до **500** м; каменистость и препятствия отсутствуют; почвы со средней прочностью несущей поверхности и влажностью до **22%**.

Отклонение условий работы МТА от указанных типовых при расчете его производительности учитывают обобщенным поправочным коэффициентом $K_{об}$, определяемым в виде произведения

$$K_{об} = k_K \cdot k_{и} \cdot k_C \cdot k_{п} \cdot k_P, \quad (2.2)$$

где k_K , $k_{и}$, k_C , $k_{п}$, k_P — частные поправочные коэффициенты соответственно на каменистость, высоту над уровнем моря, сложность конфигурации полей, изрезанность полей препятствиями и на рельеф.

Производительность агрегата в заданных условиях при этом определяется из равенства

$$w = w^T \cdot K_{об} = 0,36 \cdot K_{об} \cdot B \cdot V \cdot \tau, \quad (2.3)$$

где w , w^T — производительность агрегата соответственно в заданных и типовых условиях, га/ч; B — рабочая ширина захвата, м; v — рабочая скорость, м/с; τ — коэффициент использования времени смены в типовых условиях; $K_{об}$ — обобщенный поправочный коэффициент на местные условия.

Значения указанных частных коэффициентов выбираются из таблицы 2.2 в соответствии с заданием. Прочность несущей поверхности и влажность условно принимаются соответствующими типовым условиям.

Коэффициент использования времени смены в формуле (2.2) определяется из отношения

$$\tau = \frac{T_p}{T_{см}}, \quad (2.4)$$

где T_p — время основной (чистой) работы за смену, с; $T_{см}$ — продолжительность смены, с.

Размерность времени в секундах взята на данном этапе по соображениям удобства вывода формулы для определения производительности агрегата. Значение $T_{см} = 7 \cdot 3600$ с соответствует нормативной продолжительности смены.

Многочисленные составляющие баланса времени смены при определении $T_{см}$ условно можно разделить на четыре группы. К первой группе относятся постоянные составляющие: время на отдых и личные надобности, время на получение наряда и др. Вторая группа составляющих потерь времени смены зависит от параметров агрегата и имеет место независимо от фактической выработки агрегата. Такими составляющими являются: время ежесменного технического обслуживания агрегата к переезду на место работы и др. В третью группу включаются потери времени смены, зависящие от фактической выработки агрегата: время холостых поворотов; время технологического обслуживания и др. К четвертой группе относится время основной (чистой) работы. На основании изложенного укрупненный баланс времени смены можно представить в виде

$$T_{см} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4, \quad (2.5)$$

где T_1, T_2, T_3, T_4 — соответствующие группы составляющих баланса времени смены, с.

Первая группа составляющих, как указано выше, не зависит от параметров агрегата, поэтому можно принять

$$T_1 = T_{п} = \text{const}. \quad (2.6)$$

Вторая группа составляющих, как показывают статистически данные, увеличиваются по мере роста мощности трактора. Особенно наглядно подтверждается это положение на примере времени ежесменного технического обслуживания. Поскольку мощность трактора пропорциональна производительности агрегата в единицу времени основной (чистой) работы, то для этой группы составляющих приближенно можно принять

$$T_2 = a_2 + b_2 \cdot П, \quad (2.7)$$

где Π — производительность агрегата в единицу времени основной работы, м²/с; a_2, b_2 — коэффициенты, определяемые по статистическим данным.

Таблица 2.2 – Значения поправочных коэффициентов

На каменистость										
Вид работы	Степень каменистости									
	отсутствует		слабая		средняя		сильная			
Пахотные	1,00		0,98		0,92		0,85			
Непахотные	1,00		0,99		0,93		0,82			
Кошение трав	1,00		0,90		0,85		—			
На высоту над уровнем моря,										
Высота над уровнем моря, м	Длина гона и вид работы									
	менее 200 м		200-600 м		более 600 м					
	пахот.	непахот.	пахот.	непахот.	пахот.	непахот.	пахот.	непахот.	пахот.	непахот.
До 500	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
500 1000	0,95	0,98	0,94	0,97	0,93	0,96				
1000 1500	0,91	0,96	0,89	0,95	0,8	0,94				
1500 2000	0,88	0,94	0,85	0,93	0,82	0,92				
На сложность конфигурационных полей										
Группа контура	Длина гона и вид работы									
	менее 200 м		200-400 м		400-600 м		600-1000м		более 1000 м	
	пахот.	непахот.	пахот.	непахот.	пахот.	непахот.	пахот.	непахот.	пахот.	непахот.
I	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
II	0,97	0,96	0,98	0,97	0,99	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00
III	0,91	0,92	0,95	0,94	0,97	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00
IV	0,81	0,83	0,87	0,89	0,93	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00
V	0,75	0,79	0,84	0,86	0,88	0,92	0,96	0,98	1,00	1,00

На изрезанность полей препятствиями								
Вид работы	Площадь, занимаемая препятствиями, %							
	0	до 5	5-10	10-15	15 20	20 25	25 30	30 35
Пахотные	1	0,96	0,92	0,88	0,84	0,81	0,77	0,74
Непахотные	1	0,96	0,93	0,89	0,86	0,83	0,80	0,77
На рельеф								
Угол склона	На пахотные работы K_p				На непахотные работы K_p			
1-3 град	0,97				0,95			

Третью группу составляющих баланса времени смены приблизительно можно принять пропорциональной сменной выработке агрегата:

$$T_3 = K_W \cdot W_{CM} = K_W \cdot B \cdot V \cdot T_P, \quad (2.8)$$

где W_{CM} — сменная выработка, m^2 , $W_{CM} = B \cdot V \cdot T_P$;

K_W — коэффициент пропорциональности.

Принимая по аналогии с формулой (2.7) $\Pi = B \cdot V$, представим равенство (2.8) в виде

$$T_3 = K_W \cdot \Pi \cdot T_P. \quad (2.9)$$

Слагаемое T_4 , как указано выше, равно времени основной T_P работы, поэтому можно записать

$$T_4 = T_P. \quad (2.10)$$

Подставив полученные значения слагаемых в (2.5), будем иметь

$$T_{CM} = T_{\Pi} + a_2 + b_2 \cdot \Pi + K_W \cdot \Pi \cdot T_P + T_P, \quad (2.11)$$

После деления обеих частей этого равенства на T_{CM} с учетом $\tau = T_P/T_{CM}$ получим развернутое выражение коэффициента использования времени смены:

$$\tau = \frac{h_W - a_W \cdot \Pi}{1 + K_W \cdot \Pi}, \quad (2.12)$$

где $h_W = 1 - \frac{T_{\Pi} + a_2}{T_{CM}}$; $a_W = \frac{a_2}{T_{CM}}$.

Для уборочных агрегатов значение $\Pi = \Pi_U$ соответствует секундной подаче:

$$\Pi_U = B \cdot V \cdot U$$

где U — урожайность, kg/m^2 .

Соответственно коэффициент использования времени смены примет вид

$$\tau_U = \frac{h_{WU} - a_{WU} \cdot \Pi_U}{1 + K_{WU} \cdot \Pi_U}. \quad (2.12a)$$

На основании (2.2), (2.12a) производительность соответственно обычных и уборочных агрегатов определяется из равенств:

$$W = 0,36 \cdot K_{об} \cdot \Pi \cdot \tau = 0,36 \cdot K_{об} \cdot \left(\frac{h_W \cdot \Pi - a_W \cdot \Pi^2}{1 + K_{WU} \cdot \Pi} \right); \quad (2.13)$$

$$W_U = 3,6 \cdot K_{об} \cdot \Pi_U \cdot \tau_U = 3,6 \cdot K_{об} \cdot \left(\frac{h_{WU} \cdot \Pi_U - a_{WU} \cdot \Pi_U^2}{1 + K_{WU} \cdot \Pi_U} \right), \quad (2.13a)$$

где **W** — производительность обычного агрегата, га/ч; **W_u** — производительность уборочного агрегата, т/ч.

$$\Pi_U = B \cdot V, \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\Pi_U = B \cdot V \cdot U, \text{ кг/с}.$$

Производительность уборочных агрегатов следует определить также по убранной за час площади по формуле

$$W_{UF} = W_U / U, \quad (2.13б)$$

где **W_{UF}** — производительность агрегатов по убранной площади, га/ч.

Численные значения коэффициентов **h_w**, **a_w**, **K_w**, рассчитанные по типовым нормам для соответствующих классов длины гона на каждой операции, приведены в таблице 2.1, а обобщенный поправочный коэффициент **K_{об}** определяется по формуле (2.2).

Способы увеличения производительности МТА видны из формул (2.1) и (2.1a):

- увеличение обобщенного поправочного коэффициента за счет улучшения состояния полей, включая выравнивание, удаление препятствий, культурно-технические и другие мероприятия;
- увеличение ширины захвата **B** и рабочей скорости **V** агрегата в результате создания более мощных тракторов и самоходных машин;
- увеличение **h_w**, уменьшение **a_w** и **k_w**, за счет сокращения непроизводительных потерь времени смены при повышении уровня организации труда и улучшении системы технического обслуживания.

Наиболее эффективными при быстрой компенсации затраченных средств являются те способы повышения производительности МТА, которые могут быть реализованы непосредственно в самом хозяйстве, включая улучшение состояния полей и внедрение новых прогрессивных форм организации труда. Наиболее длительное дорогостоящее направление увеличения производительности МТА — создание новых более мощных тракторов и самоходных машин с учетом природно-производственных условий. Подобную задачу можно решать только в государственном масштабе в результате создания ресурсосберегающего типоразмерного ряда тракторов и самоходных машин с учетом всех зональных условий и наличия необходимого комплекса рабочих машин, адаптированных к местным ландшафтам.

В качестве студенческой исследовательской работы на базе ЭВМ можно выявить закономерности влияния различных параметров МТА и внешних факторов на производительность с обоснованием перспективных направлений ее увеличения.

Пример расчета агрегата для посева зерновых (узкорядный).

1. Выписываем из таблицы 2.1 вариант задания №30.

№ варианта	Технологическая операция	L, м	Состав агрегата	B, м	V_x , км/ч	α	Γ_k	K_m	h	Пл	h_w		
30	Посев зерновых (узкорядный)	800	ДТ-75М + СП- 11 + ЗСЗУ-3,6	10,8	9	1	II	Слабая	500	5	0,710		
№ варианта	a_w	K_w	v_θ	Число механизаторов, m_{MEH}	Тарифный разряд	u , кг/м ²	α , град.	V , м/с	B, м	Каменистость	Высота над уровнем моря, м	Группа контура	Площадь занятая прерывностями %
30	0,00490	0,00472	0,607	1+2С	5	-	2	2,27	14,40	Средняя	650	I	0

2. Определяем обобщенный поправочный коэффициент K_{OB} на местные условия по формуле (2.2). Частные поправочные коэффициенты в соответствии с заданием определяем по таблице 2.2.

$k_K = 0,99$ – на каменистость;

$k_H = 0,93$ – на высоту над уровнем моря;

$k_C = 1,0$ – на сложность конфигурации полей;

$k_{II} = 0,93$ – на изрезанность полей препятствиями;

$k_P = 0,95$ – на рельеф.

$$K_{OB} = 0,99 \cdot 0,93 \cdot 1,0 \cdot 0,93 \cdot 0,95 = 0,81.$$

3. Определяем чистую производительность агрегата по формуле

$$П = B \cdot V = 10,8 \cdot 2,27 = 24,5 \text{ м}^2/\text{с}.$$

4. Определяем коэффициент использования времени смены по формуле (2.12)

$$\tau = \frac{0,71 - 0,0049 \cdot 24,5}{1 + 0,00472 \cdot 24,5} = \frac{0,71 - 0,12}{1 + 0,1156} = \frac{0,59}{1,1156} = 0,53$$

5. По формуле (2.13) определяем производительность посевного агрегата

$$\begin{aligned} W &= 0,36 \cdot 0,81 \cdot \left(\frac{0,71 \cdot 24,5 - 0,0049 \cdot 24,5^2}{1 + 0,00472 \cdot 24,5} \right) = 0,29 \cdot \left(\frac{17,4 - 2,94}{1 + 0,1156} \right) \\ &= 0,29 \cdot \frac{14,46}{1,1156} = \frac{4,19}{1,1156} = 3,75 \frac{\text{га}}{\text{ч}}. \end{aligned}$$

Отчет.

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

Таблица 2.3

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
1	Технологическая операция	Посев зерновых
2	Состав агрегата	ДТ-75М + СП-11 + 3СЗУ-3,6
3	Длина гона, L	800 м
4	Ширина захвата, В	10,8 м
5	Угол склона, α	1 град.
6	Группа контура	2
7	Каменистость	Слабая
8	Высота над уровнем моря	500 м
9	Площадь занятая препятствиями	5%
10	Коэффициент, h_w	0,71
11	Коэффициент, a_w	0,0049
12	Коэффициент, K_w	0,00472
13	Коэффициент, v_θ	0,607
14	Число механизаторов	1 + 2С
15	Тарифный разряд	5
16	Обобщенный поправочный коэффициент, $K_{об}$	0,81
17	Чистая производительность, П	24,5 м ² /с
18	Коэффициент использования времени смены, τ	0,53
19	Производительность агрегата, W	3,75 га/ч.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ ПРИ РАБОТЕ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

Цель задания — освоить современные методы расчета эксплуатационных затрат и определить способы их уменьшения.

В результате успешного выполнения всех заданий этого комплекса студент должен получить навыки самостоятельного выбора состава и режимов работы ресурсосберегающих МТА и определения количественных значений технико-экономических показателей их функционирования в заданных природно-производственных условиях.

Содержание задания

1. Выписать из таблицы 2.1 недостающие исходные данные по соответствующему варианту задания: Y_0 ; $m_{\text{Мех}}$; тарифный разряд.
2. Определить затраты труда H или H_u при работе МТА.
3. Определить расход топлива на единицу объема выполненной работы θ и θ_u .
4. Определить прямые эксплуатационные затраты $C_э$ и $C_{эu}$.
5. Определить приведенные затраты $C_{п}$ и $C_{пу}$.
6. Наметить эффективные пути увеличения производительности агрегатов и снижения соответствующих эксплуатационных затрат.

Последовательность выполнения работы

В условиях рыночной экономики важнейшим фактором эффективной работы каждого хозяйства является получение наибольшей прибыли. При этом каждая работа с использованием МТА должна быть выполнена с наименьшим расходом используемых ресурсов, включая трудовые, материальные и финансовые. Следовательно, необходимо уметь рассчитывать эксплуатационные затраты, связанные с работой МТА, и обосновать способы их уменьшения.

Трудозатраты при работе обычных и уборочных агрегатов соответственно определяются из равенств:

$$H = \frac{m_{\text{Мех}}}{W}; \quad (3.1)$$

$$H_u = \frac{m_{\text{Мех}}}{W_u}; \quad (3.2)$$

$$H_{UF} = H_u \cdot U, \quad (3.3)$$

где H — трудозатраты для обычных агрегатов, чел.-ч/га; H_u — трудозатраты для уборочных агрегатов, чел.-ч/т; H_{UF} — трудозатраты для уборочных агрегатов, чел.-ч/га; $m_{\text{Мех}}$ — число механизаторов на данном агрегате, чел.

Численные значения $m_{\text{мех}}$ для соответствующих типов агрегатов приведены в таблице 2.1. При этом на картофелеуборочных агрегатах по типовым нормам предусматривается тракторист, комбайнер и в среднем 4 рабочих-переборщиков.

Расход топлива на единицу выполненной работы определяется из равенства

$$\theta = \frac{1}{W_{\text{СМ}}} \cdot (G_{\text{ТР}} \cdot T_{\text{Р}} + G_{\text{ТХ}} \cdot T_{\text{Х}} + G_{\text{ТО}} \cdot T_{\text{О}}), \quad (3.4)$$

где θ — расход топлива на единицу обработанной площади, кг/га; $G_{\text{ТР}}$, $G_{\text{ТХ}}$, $G_{\text{ТО}}$ — расход топлива двигателем соответственно при рабочем и холостом ходе двигателя при остановленном агрегате, кг/ч; $T_{\text{Р}}$, $T_{\text{Х}}$, $T_{\text{О}}$ — продолжительность работы за смену на указанных режимах, ч; $W_{\text{СМ}}$ — наработка агрегата за смену, га.

Определение θ непосредственно из равенства (3.4) затруднено, поэтому ниже приводится упрощенный метод расчета. Предварительно равенство (3.4) следует представить в виде с учетом $T_{\text{Р}} = T_{\text{СМ}} \cdot \tau$:

$$\frac{\theta \cdot W_{\text{СМ}}}{G_{\text{ТР}} \cdot T_{\text{СМ}}} = \frac{\theta \cdot W}{G_{\text{ТР}}} = \tau \cdot \left(1 + \frac{G_{\text{ТХ}} \cdot T_{\text{Х}} + G_{\text{ТО}} \cdot T_{\text{О}}}{G_{\text{ТР}} \cdot T_{\text{Р}}} \right). \quad (3.5)$$

Обычно при увеличении ширины захвата и скорости значение τ уменьшается, а выражение в скобках увеличивается, поэтому правую часть равенства (3.5) приближенно можно принять постоянной для агрегатов данного типа при каждом классе длины гона.

$$\tau \cdot \left(1 + \frac{G_{\text{ТХ}} \cdot T_{\text{Х}} + G_{\text{ТО}} \cdot T_{\text{О}}}{G_{\text{ТР}} \cdot T_{\text{Р}}} \right) = \nu_{\theta} = \text{const.}$$

Расход топлива θ в связи с этим можно определить из упрощенного равенства:

$$\theta = \frac{G_{\text{ТР}}}{W} \cdot \nu_{\theta} = \frac{N_{\text{Н}} \cdot \varepsilon_{\text{Н}} \cdot g_{\text{е}} \cdot \nu_{\theta}}{10^3 \cdot W}, \quad (3.6)$$

где $N_{\text{Н}}$ — номинальная эффективная мощность двигателя, кВт; $\varepsilon_{\text{Н}}$ — коэффициент загрузки двигателя; $g_{\text{е}}$ — удельный расход топлива двигателем, г/(кВт·ч).

Для уборочных агрегатов с учетом значения W_u из формулы (2.13а) и W_{UF} из формулы (2.13б) расход топлива определяется в расчете на 1 т убранный урожай θ_U и на 1 га убранной площади θ_{UF} :

$$\theta_U = \frac{N_H \cdot \varepsilon_N \cdot g_e \cdot v_\theta}{10^3 \cdot W_U}, \quad (3.6a)$$

$$\theta_{UF} = \theta_U \cdot U, \quad (3.6б)$$

где θ_U — расход топлива, кг/т; θ_{UF} — расход топлива, кг/га.

Рассчитанные по типовым нормам значения v_θ для соответствующих операций и классов длины гона приведены в таблице 2.1. Для ε_N и g_e можно воспользоваться усредненными значениями: $\varepsilon_N = 0,90$; $g_e = 256$ г/(кВт·ч). Эффективные мощности N_H для соответствующих марок тракторов приведены в таблице 3.1.

Прямые эксплуатационные затраты денежных средств соответственно для обычных и уборочных агрегатов определяются из равенств:

$$C_\Sigma = C_\theta + C_3 + C_{APTO}; \quad (3.7)$$

$$C_{\Sigma U} = C_{\theta U} + C_{3U} + C_{UAPTO}; \quad (3.7a)$$

$$C_{\Sigma UF} = C_{\Sigma U} \cdot U, \quad (3.7б)$$

где C_Σ , $C_{\Sigma U}$, $C_{\Sigma UF}$ — прямые затраты соответственно руб./га, руб./т, руб./га; C_θ , $C_{\theta U}$ — затраты на топливо, руб./га, руб./т; C_3 , C_{3U} — затраты на зарплату, руб./га, руб./т; C_{APTO} , C_{UAPTO} — суммарные затраты на амортизацию, ремонт и техническое обслуживание, руб./га, руб./т.

Таблица 3.1 – Основные данные по тракторам

Марка трактора	Мощность, кВт	Цена, тыс. руб.	Годовая загрузка, ч	Нормы отчислений, %			
				Р	КР	ТР	ТО
Беларус-80	60	630	1350	10,0	5,0	4,1	5,8
Беларус-82	66	665	1350	10,0	5,0	4,1	5,8
Беларус-1025	77	863	1350	10,0	5,0	4,1	5,8
Беларус-1221	96	1390	1350	10,0	5,0	4,1	5,8
Беларус-1523	114	1870	1350	10,0	5,0	4,1	5,8
Беларус-2102	156	2003	1350	10,0	5,0	4,1	5,8
JD-6620	65	1885	1350	10,0	5,0	4,1	6,8
JD-6920	99,5	2885	1350	10,0	5,0	4,1	6,8
JD-77300	138	4000	1350	10,0	5,0	4,1	6,8
JD-8400	170,2	4930	1350	10,0	5,0	4,1	8,8

Продолжение таблицы 3.1

Марка трактора	Мощность, кВт	Цена, тыс. руб.	Годовая загрузка, ч	Нормы отчислений, %			
				Р	КР	ТР	ТО
JD-8520	199	5770	1350	10,0	5,0	4,1	6,8
JD-9320	245	7105	1350	10,0	5,0	4,1	6,8
JD-9330	280	8120	1350	10,0	5,0	4,1	6,8
ДТ-175С	116	1078	1350	12,5	6,0	5,0	6,4
К-744М	246	4035	1350	10,0	7,0	6,8	3,5
ЛТЗ-60АВ	42,3	511	1350	10,0	5,0	4,1	5,8
ЛТЗ-155	110	1400	1350	10,0	5,0	4,1	5,8
ЮМЗ-6М	45,14	420	1350	10,0	5,0	4,1	5,8
ДТ-75М	66,25	987	1300	12,5	6,0	5,0	6,4
Т-4А	99,26	1200	1300	12,5	6,5	5,5	4,7
Т-150	110,29	1790	1350	10,0	7,0	5,0	6,4
Т-150К	121,47	1800	1350	10,0	7,0	6,0	5,5
К-700А	148,23	1197	1350	10,0	7,0	6,8	2,5
К-701	198,53	1557	1350	10,0	7,0	6,8	2,5

Примечание. Р – реновация; КР – капитальный ремонт; ТР – текущий ремонт; ТО – техническое обслуживание; цена тракторов в ценах 2010 г.

Значения C_{θ} и $C_{\theta U}$ определяются с учетом θ из (3.6) и θ_U из (3.6а) соответственно для обычных и уборочных агрегатов:

$$C_{\theta} = \theta \cdot C_{\text{К}}; \quad (3.8)$$

$$C_{\theta U} = \theta_U \cdot C_{\text{К}}; \quad (3.8а)$$

где $C_{\text{К}}$ — цена комплексного топлива, $C_{\text{К}} = 20,085$ руб./кг.

Затраты на зарплату определяются с учетом тарифных ставок:

$$C_3 = \frac{1}{W} \cdot \sum m_{\text{мех}i} \cdot f_i \cdot \mu_i; \quad (3.9)$$

$$C_3 = \frac{1}{W} \cdot \sum m_{\text{мех}i} \cdot f_i \cdot \mu_i, \quad (3.9а)$$

где $m_{\text{мех}i}$ — число механизаторов i -го разряда; f_i — соответствующая тарифная ставка, руб./ч; μ_i — коэффициент, учитывающий дополнительные начисления за классность, стаж работы и др.

Значение f_i зависит от группы ставок и тарифного разряда. Для Центрального района РФ, относящегося к III группе тарифных ставок, значения f_i приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Тарифные ставки f_i трактористов-машинистов, руб./ч
(ставки, существовавшие в 2004 г.)

Группа	Разряд					
	1	2	3	4	5	6
III	15,561	17,632	19,711	22,800	24,900	28,011

Примерные тарифные разряды для соответствующих операций и марок тракторов приведены в таблице 2.1. Для четырех вспомогательных рабочих на картофелеуборочном комбайне по ставкам на ручных работах можно принять $f_i = 15,560$ руб./ч (по пятому разряду). Тарифные разряды для трактористов-машинистов, комбайнеров на картофелеуборочных агрегатах и сеяльщиков приблизительно принимаются одинаковыми в соответствии с таблицей 2.1.

Поскольку точный учет всех надбавок затруднен, то для μ_i в формулах (3.9), (3.9а) приближенно можно принять $\mu_i = 1,30$. При этом усреднено учитываются следующие надбавки: за классность трактористу-машинисту **I класса** — **20%**; трактористу-машинисту **II класса** — **10%**; за стаж работы от **2 до 5 лет** — **8%**; от **5 до 10 лет** — **10%**; за стаж работы в данном хозяйстве и др.

Суммарные затраты на амортизацию, ремонт и техническое обслуживание для обычных и уборочных агрегатов соответственно определяются из равенств:

$$C_{\text{АРТО}} = \frac{1}{W} \cdot \left(\frac{Ц_{\text{БТ}} \cdot a_{\text{АРТО}}^{\text{T}}}{100 \cdot T_{\text{ГТ}}} + \frac{Ц_{\text{БС}} \cdot a_{\text{АРТО}}^{\text{С}}}{100 \cdot T_{\text{ГС}}} + \frac{n_{\text{М}} \cdot Ц_{\text{БМ}} \cdot a_{\text{АРТО}}^{\text{М}}}{100 \cdot T_{\text{ГМ}}} \right); \quad (3.10)$$

$$C_{\text{УАРТО}} = \frac{1}{W_{\text{У}}} \cdot \left(\frac{Ц_{\text{БТ}} \cdot a_{\text{АРТО}}^{\text{T}}}{100 \cdot T_{\text{ГТ}}} + \frac{Ц_{\text{М}} \cdot a_{\text{АРТО}}^{\text{М}}}{100 \cdot T_{\text{ГМ}}} \right), \quad (3.10а)$$

где $C_{\text{АРТО}}$ — для обычных агрегатов, руб./га; $C_{\text{УАРТО}}$ — для уборочных агрегатов, руб./т; $Ц_{\text{БТ}}$, $Ц_{\text{БС}}$, $Ц_{\text{БМ}}$ — балансовые цены соответственно трактора, сцепки и рабочей машины, руб.; $n_{\text{М}}$ — число машин в агрегате; $T_{\text{ГТ}}$, $T_{\text{ГС}}$, $T_{\text{ГМ}}$ — годовые загрузки соответственно трактора, сцепки и рабочей машины, ч (табл. 3.1, 3.3); $a_{\text{АРТО}}^{\text{T}}$, $a_{\text{АРТО}}^{\text{С}}$, $a_{\text{АРТО}}^{\text{М}}$ — суммарные нормы годовых отчислений на реновацию, ремонт и техническое обслуживание соответственно по трактору, сцепке и рабочей машине, %.

Числовые значения $a^T_{АРТО}$, $a^С_{АРТО}$, $a^M_{АРТО}$ определяются по данным таблиц 3.1 и 3.3 путем суммирования норм отчислений на реновацию **Р**, капитальный ремонт **КР**, текущий ремонт **ТР** и техническое обслуживание **ТО**.

Таблица 3.3 – Основные данные по сцепкам и сельскохозяйственным машинам

Марка машины	Цм, Цс, тыс. руб.	Тгм, Тгс, ч	Нормы отчислений, %	
			Р	ТР + ТО
ПЛН-3-35	149	500	12,5	20,0
ПЛН-4-35	212	500	12,5	20,0
ПЛН-5-35	282	500	12,5	20,0
ПЛН-6-35	425	500	12,5	20,0
ПЛН-8-35	464	500	12,5	20,0
ПТК-9-35	975	500	12,5	20,0
БЗСС-1,0	6,50	200	20,0	20,0
ЛДГ-5	390	260	14,2	7,0
ЛДГ-10	830	260	14,2	7,0
ЛДГ-15	1000	260	14,2	7,0
ЛДГ-20	1200	260	14,2	7,0
КПС-4	310	350	14,2	12,5
ЗККШ-6	400	190	12,5	5,0
СЗУ-3,6	828	160	12,5	7,0
СН-4Б	642	130	14,2	6,0
СКС-4	1400	140	14,2	6,0
СКМ-6	1800	140	14,2	6,0
КРН-4,2	478	350	14,2	9,0
КРН-5,6	515	350	14,2	9,0
ККУ-2А	4530	200	14,2	9,0
КС-1,8 «Вихрь»	1727	170	14,2	12,0
КСС-2,6	1500	170	14,2	12,0
КС-2,1	121	200	20,0	7,0
КДП-4,0	255	200	20,0	7,0
СП-11	645	350	14,2	7,0
С-11У	130	350	14,2	7,0
СП-16	1060	350	14,2	7,0
СГ-21	870	350	14,2	7,0

Примечание. Р – реновация; ТР – текущий ремонт; ТО – техническое обслуживание; Цм – цена сельскохозяйственной машины; Цс – цена сцепки; Тгм – годовая загрузка сельскохозяйственной машины; Тгс – годовая загрузка сцепки (Цм и Цс приведены в ценах 2007 г.).

Балансовые цены $\mathbf{Ц}_{БТ}$, $\mathbf{Ц}_{БС}$, $\mathbf{Ц}_{БМ}$ определяются из равенств:

$$\begin{aligned}\mathbf{Ц}_{БТ} &= \varphi_T \cdot \mathbf{Ц}_T ; \\ \mathbf{Ц}_{БС} &= \varphi_C \cdot \mathbf{Ц}_C ; \\ \mathbf{Ц}_{БМ} &= \varphi_M \cdot \mathbf{Ц}_M ,\end{aligned}\tag{3.11}$$

где $\mathbf{Ц}_T$, $\mathbf{Ц}_C$, $\mathbf{Ц}_M$ — оптовые цены трактора, сцепки и сельскохозяйственной машины, руб.; φ_T , φ_C , φ_M — коэффициенты, учитывающие дополнительные затраты на доставку, досборку и др.

Приближенно в расчетах можно принять $\varphi_T = \varphi_C = \varphi_M = 1,1$, а значения $\mathbf{Ц}_T$, $\mathbf{Ц}_C$, $\mathbf{Ц}_M$ приведены в таблицах 3.1, 3.3.

Приведенные эксплуатационные затраты для обычных и уборочных агрегатов определяются соответственно из равенств:

$$C_{\Pi} = C_{Э} + E_H \cdot K_U ;\tag{3.12}$$

$$C_{\Pi U} = C_{ЭU} + E_H \cdot K_{УU} ;\tag{3.12a}$$

$$C_{\Pi UF} = C_{\Pi U} \cdot U ,\tag{3.12б}$$

где C_{Π} , $C_{\Pi U}$, $C_{\Pi UF}$ — приведенные затраты, руб./га, руб./т, руб./га; E_H — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений; K_U , $K_{УU}$ — удельные капиталовложения, руб./га, руб./т.

В настоящее время принимается $E_H = 0,10$, а удельные капитальные вложения для обычных и уборочных агрегатов соответственно определяются по формулам:

$$K_{УU} = \frac{1}{W} \cdot \left(\frac{\mathbf{Ц}_{БТ}}{T_{ГТ}} + \frac{\mathbf{Ц}_{БС}}{T_{ГС}} + \frac{n_M \cdot \mathbf{Ц}_{БМ}}{T_{ГМ}} \right) ;\tag{3.13}$$

$$K_U = \frac{1}{W_U} \cdot \left(\frac{\mathbf{Ц}_{БТ}}{T_{ГТ}} + \frac{\mathbf{Ц}_{БМ}}{T_{ГМ}} \right).\tag{3.13a}$$

В условиях экономических методов хозяйствования значения $\mathbf{Ц}_k$, f_i , μ_i , $\mathbf{Ц}_T$, $\mathbf{Ц}_C$, $\mathbf{Ц}_M$, φ_T , φ_C , φ_M , $\mathbf{a}^T_{АРТО}$, $\mathbf{a}^C_{АРТО}$, $\mathbf{a}^M_{АРТО}$, естественно, не могут оставаться стабильными в течение длительного периода. Поэтому при расчетах следует пользоваться новыми значениями этих показателей или вводить соответствующие поправочные коэффициенты.

Необходимые исходные данные для расчетов по формулам (3.12) и (3.13) приведены ранее при $E_n = 0,1$. При наличии более точных данных для конкретных условий хозяйства следует их использовать.

Эффективные пути уменьшения эксплуатационных затрат можно наметить на основании формул, полученных как в данном задании, так и в задании 6. Все ранее намеченные способы повышения производительности МТА одновременно обеспечивают уменьшение затрат труда и расходов на заработную плату. Уменьшаются в определенных границах также расход топлива и как прямые, так и приведенные затраты. Существенного снижения прямых и приведенных эксплуатационных затрат можно достичь за счет увеличения годовой загрузки машин при одновременном уменьшении расходов на ремонт и техническое обслуживание.

В процессе студенческой исследовательской работы с применением ЭВМ можно определить закономерности влияния различных параметров МТА и действующих внешних факторов на эксплуатационные затраты и разработать рекомендации для конкретных хозяйств.

Пример расчета агрегата для посева зерновых (узкорядный).

1. Выписываем из таблицы 2.1 (предыдущего задания) недостающие исходные данные по варианту задания №30.

$$Y_0 = 0,607; m_{\text{МЕХ}} = 1+2С; \text{ тарифный разряд} - 5.$$

2. Определяем затраты труда для обычных агрегатов по формулу (3.1), с учетом, что

$$W = 3,75 \text{ га/ч из (2.13)}$$

$$H = 3/3,75 = 0,8 \text{ чел.-ч/га.}$$

3. Определяем расход топлива на единицу выполненной работы по формуле (3.6), учитывая, что

$$\epsilon_N = 0,9 - \text{коэффициент загрузки двигателя;}$$

$g_e = 256 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$ – удельный расход топлива;

$N_H = 66,25 \text{ кВт}$ – номинальная мощность двигателя.

$$\theta = \frac{66,25 \cdot 0,9 \cdot 256 \cdot 0,607}{1000 \cdot 3,75} = \frac{9265,2}{3750} = 2,47 \text{ кг/га}$$

4. Определяем затраты на топливо по формуле (3.8) с учетом

$\text{Ц}_k = 20,085 \text{ руб./кг}$ – цена комплексного топлива.

$$C_\theta = 2,47 \cdot 20,085 = 49,61 \text{ руб./га.}$$

5. Определяем затраты на заработную плату по формуле (3.9), учитывая

$f_i = 24,9 \text{ руб./ч}$ – тарифная ставка;

$\mu = 1,3$ – коэффициент, учитывающий дополнительные начисления.

$$C_3 = \frac{1}{3,75} \cdot 3 \cdot 24,9 \cdot 1,3 = \frac{97,11}{3,75} = 25,89 \frac{\text{руб}}{\text{га}}$$

6. Определяем балансовые стоимости трактора, сцепки и сельскохозяйственной машины по формуле (3.11) с учетом $\varphi_T = \varphi_C = \varphi_M = 1,1$ – коэффициенты, учитывающие дополнительные затраты на доставку и т.д.;

$\text{Ц}_T = 987000 \text{ руб.}$ – оптовая цена трактора;

$\text{Ц}_C = 645000 \text{ руб.}$ – оптовая цена сцепки;

$\text{Ц}_M = 828000 \text{ руб.}$ – оптовая цена машины.

$$\text{Ц}_{BT} = 1,1 \cdot 987000 = 1085000 \text{ руб.}$$

$$\text{Ц}_{BC} = 1,1 \cdot 645000 = 709500 \text{ руб.}$$

$$\text{Ц}_{BM} = 1,1 \cdot 828000 = 910800 \text{ руб.}$$

7. Определяем суммарные затраты на амортизацию, ремонт и ТО агрегата по формуле (3.10) с учетом

$$a^T_{\text{АРТО}} = 12,5 + 6 + 5 + 6,4 = 29,9\%;$$

$$a^C_{\text{АРТО}} = 14,2 + 7 = 21,2\%;$$

$$a_{\text{МАРО}} = 12,5 + 7 = 19,5\%.$$

$$T_{TT} = 1300 \text{ ч}; T_{TC} = 350 \text{ ч}; T_{TM} = 160 \text{ ч.}$$

$$\begin{aligned}
C_{\text{АРТО}} &= \frac{1}{3,75} \left(\frac{1085000 \cdot 29,9}{100 \cdot 1300} + \frac{709500 \cdot 21,2}{100 \cdot 350} + \frac{3 \cdot 910800 \cdot 19,5}{100 \cdot 160} \right) = \\
&= 0,266 \cdot (249,55 + 429,75 + 3330,1) = 0,266 \cdot 4009,41 \\
&= 1066,5 \text{ руб./га}
\end{aligned}$$

8. Определяем прямые эксплуатационные затраты денежных средств по формуле (3.7)

$$C_{\text{Э}} = 49,61 + 25,89 + 1066,5 = 1142 \text{ руб./га.}$$

9. Определяем удельные капитальные вложения по формуле (3.13)

$$\begin{aligned}
K_{\text{У}} &= \frac{1}{3,75} \cdot \left(\frac{1085000}{1300} + \frac{709500}{350} + \frac{3 \cdot 910800}{160} \right) = \\
&= 0,266 \cdot (834,61 + 2027,14 + 17062,5) = 0,266 \cdot 19924,25 \\
&= 5299,85 \frac{\text{руб}}{\text{га}}.
\end{aligned}$$

10. Определяем приведенные эксплуатационные затраты по формуле (3.12) с учетом

$E_{\text{Н}} = 0,1$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

$$C_{\text{П}} = 1142 + 0,1 \cdot 5299,85 = 1142 + 529,85 = 1672 \text{ руб./га.}$$

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	Коэффициент, Y_{θ}	0,607
2	Количество механизаторов, $m_{\text{МЕХ}}$	3
3	Тарифный разряд	5
4	Часовая производительность, W	3,75 га/ч
5	Затраты труда, H	0,8 чел.-ч./га
6	Коэффициент загрузки двигателя, ε_N	0,9
7	Удельный расход топлива, g_e	256 г/кВт·ч
8	Номинальная мощность двигателя, N_H	66,25 кВт
9	Расход топлива на единицу работы, θ	2,47 кг/га
10	Цена комплексного топлива, $Ц_K$	20,085 руб./кг
11	Затраты на топливо, C_{θ}	49,61 руб./га
12	Тарифная ставка, f_i	24,9 руб./ч
13	Коэффициент μ	1,3
14	Затраты на зарплату, C_3	25,89 руб./га
15	Коэффициент, ϕ	1,1
16	Балансовая стоимость трактора, $Ц_{\text{БТ}}$	1085000 руб.
17	Балансовая стоимость сцепки, $Ц_{\text{БС}}$	709500 руб.
18	Балансовая стоимость машины, $Ц_{\text{БМ}}$	910800 руб.
19	Амортизационные отчисления на трактор, $a_{\text{АРТО}}^T$	29,9%
20	Амортизационные отчисления на сцепку, $a_{\text{АРТО}}^C$	21,2%
21	Амортизационные отчисления на машину, $a_{\text{АРТО}}^M$	19,5%
22	Годовая загрузка трактора, $T_{\text{ГТ}}$	1300 ч
23	Годовая загрузка сцепки, $T_{\text{ГС}}$	350 ч
24	Годовая загрузка машины, $T_{\text{ГМ}}$	160 ч
25	Суммарные затраты на амортизацию, ремонт и ТО, $C_{\text{АРТО}}$	1066,5 руб./га
26	Прямые эксплуатационные затраты, $C_{\text{Э}}$	1142 руб./га
27	Удельные капитальные вложения, K_y	5299,85 руб./га
28	Нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, E_H	0,1
29	Приведенные затраты, $C_{\text{П}}$	1672 руб./га

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

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

Содержание задания

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

Таблица 4.1 – Варианты заданий

№ вар.	Вид операции	Класс длины гона, м	Угол склона а, 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 междурядная	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 междурядная	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 междурядная	600-1000	1	0,87				+	+

Продолжение таблицы 4.1

№ вар.	Вид операции	Класс длины гона, м	Угол склона а, град	Коб	Особые условия				
					СП	НМ	ПП	А1	УПТ
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		+		+	
25	Сплошная культивация	1000 и более	0	0,92			+		
26	Боронование зубowymi боронами	600-1000	2	0,91	+		+		
27	Культивация междурядная	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				+	

Оптимальными (наилучшими) считают такие эксплуатационные параметры и режимы работы МТА, при которых выбранный эксплуатационный показатель.

2. Определить для заданных условий работы требуемую 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 курсу ЭМТП. 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 (3.7) и (3.12) все основные виды расходов:

$$C_{\Pi} = C_Q + C_{3\Pi} + C_{\text{АРТО}} + E_H \cdot K_y \rightarrow \min \quad (4.1)$$

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 $N_{\text{НО}}$. Каждое слагаемое в равенстве (8.1) также следует выразить в функции мощности, включая производительность W , входящую в состав этих слагаемых.

По аналогии с заданием 3 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 (3.6) и (3.8) в следующем виде:

$$C_{\theta} = \theta \cdot C_K = \frac{N_H \cdot \varepsilon_N \cdot g_e \cdot \gamma_{\theta}}{10^3 \cdot W} \cdot C_K. \quad (4.2)$$

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 2.1, а $C_K = 20,085$ руб./кг получено в задании 3.

Значение производительности МТА W (га/ч) в функции мощности N_H получим на основании равенства (2.13). Для этого представим чистую производительность агрегата Π (м²/с) с учетом формул (4.1.ч.1), (4.3.ч.1) в таком виде:

$$\Pi = B \cdot V = \frac{P_{KP}}{K_a} \cdot V = \frac{N_{KP}}{K_a} = N_H \cdot \frac{\varepsilon_N \cdot \eta_T}{K_a} = N_H \cdot p_N, \quad (4.3)$$

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.ч.1)-(3.6.ч.1) и (3.9.ч.1) при средней скорости $V = 2$ м/с. Средние значения тягового КПД тракторов η_T (по литературным данным) приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – 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 (4К4)	0,62	0,52

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

На основании формул (2.1) и (4.3) получим производительность МТА в функции мощности при $\Pi = p_N N$:

$$W = 0,36 \cdot K_{об} \cdot \Pi \cdot \tau = 0,36 \cdot K_{об} \cdot \left(\frac{h_W \cdot p_N \cdot N - a_W \cdot (p_N \cdot N)^2}{1 + K_{WU} \cdot p_N \cdot N} \right). \quad (4.4)$$

Значения h_W , a_W и K_{WU} для соответствующих операций в зависимости от длины гона указаны в таблице 2.1, а значения $K_{об}$ — в таблице 4.1.

Расходы на заработную плату в функции мощности получим на основании формул (3.9) и (4.5):

$$C_3 = \frac{1}{W} \cdot \sum m_{мехi} \cdot f_i \cdot \mu_i. \quad (4.5)$$

Для посевных агрегатов в среднем можно принять $m_{мех} = 2$ (один тракторист и один сеяльщик), при выполнении других операций $m_{мех} = 1$. 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 $C_{АРТО}$ находим в функции мощности N_H на основании формул (3.10)-(3.11). Из анализа статистических данных следует, что балансовые цены сцепки $\Pi_{БС}$ и машин $n\Pi_{БМ}$ можно принять пропорциональными балансовой цене трактора, $\Pi_{БТ} = \varphi_T \Pi_T$

$$C_{АРТО} = \frac{\Pi_T}{W} \cdot \left(\frac{a_{АРТО}^T}{100 \cdot T_{ГТ}} + \frac{\gamma_{БС} \cdot a_{АРТО}^С}{100 \cdot T_{ГС}} + \frac{\gamma_{БМ} \cdot a_{АРТО}^М}{100 \cdot T_{ГМ}} \right), \quad (4.6)$$

где $\gamma_{БС}$, $\gamma_{БМ}$ — коэффициенты пропорциональности, $\gamma_{БС} = \Pi_{БС}/\Pi_{БТ}$, $\gamma_{БМ} = n\Pi_{БМ}/\Pi_{БТ}$

Таблица 4.3 – Средние значения коэффициентов пропорциональности

Технологическая операция	$\gamma_{\text{ВМ}}$	$\gamma_{\text{БС}}$
Лушение 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 $\alpha^{\text{T}}_{\text{АРТО}}$, $\alpha^{\text{С}}_{\text{АРСО}}$ и $\alpha^{\text{М}}_{\text{АРМО}}$, а также $T_{\text{ГТ}}$, $T_{\text{ГС}}$ и $T_{\text{ГМ}}$ приведены в задании 3 при $\varphi_{\text{T}} = 1,1$.

Оптовую цену Ц_{T} тракторов всех типов в упрощенном варианте можно выразить в функции мощности N_{H} линейной статистической зависимостью:

$$\text{Ц}_{\text{T}} = a_{\text{T}} + b_{\text{T}} \cdot N_{\text{H}}, \quad (4.7)$$

где $a_{\text{T}} = 153\,769$ руб.; $b_{\text{T}} = 8933$ руб./кВт — статистические коэффициенты (в ценах 2003 г.).

Преимущество упрощенной формулы (4.7) 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

$$\text{Ц}_{\text{T}} = a + b \cdot N_{\text{H}} + c \cdot N_{\text{H}}^2. \quad (4.8)$$

Статистические коэффициенты a , b , c определяют известными методами.

На основании формулы (4.8) можно выполнить многовариантную студенческую исследовательскую работу по определению закономерностей влияния различных факторов на результаты оптимизации. В пределах же данного задания достаточно решить упрощенное равенство (4.7).

В функции мощности можно также выразить удельные капиталовложения (см. формулу (3.13)):

$$K_{\text{У}} = \frac{\text{Ц}_{\text{T}} \cdot \varphi_{\text{T}}}{W} \cdot \left(\frac{1}{T_{\text{ГТ}}} + \frac{\gamma_{\text{БС}}}{T_{\text{ГС}}} + \frac{\gamma_{\text{ВМ}}}{T_{\text{ГМ}}} \right). \quad (4.9)$$

Подставив в формулу (4.1) полученные значения слагаемых, определим приведенные затраты в функции мощности:

$$C_{\Pi} = \frac{A_C \cdot N_H + D_C}{0,36 \cdot K_{OB} \cdot \left(\frac{h_W \cdot p_N \cdot N_H - \alpha_W \cdot p_N^2 \cdot N_H^2}{1 + K_W \cdot p_N \cdot N_H} \right)}, \quad (4.10)$$

где

$$A_C = 10^{-3} \cdot \varepsilon_N \cdot g_e \cdot \gamma_{\theta} \cdot \Pi_K + 10^{-2} \cdot b_T \cdot \varphi_T \cdot \left(\frac{\alpha_{a.p.тp}}{T_{ГТ}} + \frac{\gamma_{б.с} \cdot \alpha_{a.p.с}}{T_{ГС}} + \frac{\gamma_{б.м} \cdot \alpha_{a.p.м}}{T_{ГМ}} \right) +$$

$$E_H \cdot b_T \cdot \varphi_T \cdot \left(\frac{1}{T_{ГТ}} + \frac{\gamma_{б.с}}{T_{ГС}} + \frac{\gamma_{б.м}}{T_{ГМ}} \right);$$

$$D_C = m_{мех} \cdot f \cdot \mu + 10^{-2} \cdot \alpha_T \cdot \varphi_T \cdot \left(\frac{\alpha_{APТ}}{T_{ГТ}} + \frac{\gamma_{БС} \cdot \alpha_{APС}}{T_{ГС}} + \frac{\gamma_{БМ} \cdot \alpha_{APМ}}{T_{ГМ}} \right) + E_H \cdot$$

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

Оптимальное значение мощности N_{HO} по минимуму приведенных затрат $C_{\Pi} \rightarrow \min$ получим из выражения (4.10) при условии $dC_{\Pi}/dN_H = 0$:

$$N_{HO} = \frac{1}{K_W \cdot p_N \cdot \beta_C} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{h_W \cdot K_W}{\alpha_W} \cdot \beta_C} - 1 \right), \quad (4.11)$$

где

$$\beta_C = 1 + \frac{A_C}{D_C \cdot p_N} \cdot \left(\frac{1}{K_W} + \frac{h_W}{\alpha_W} \right).$$

На основании формул (4.3) и (4.11) можно определить также соответствующую оптимальную чистую производительность агрегата:

$$P_0 = N_{HO} \cdot p_N = \frac{1}{K_W \cdot \beta_C} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{h_W \cdot K_W}{\alpha_W} \cdot \beta_C} - 1 \right). \quad (4.12)$$

Из равенств (4.11) и (4.12) следует, что оптимальные значения N_{HO} и P_0 не зависят от обобщенного поправочного коэффициента $K_{об}$ на местные условия, что существенно расширяет возможности практического применения результатов оптимизации в различных почвенноклиматических зонах. Кроме того, согласно выражению (4.11) 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 $N_{но}$ в формулы (4.4) и (4.10), получим соответствующие производительность МТА и минимальные приведенные затраты $C_{пmin}$.

Значения $C_{пmin}$, $W_{сп}$ и $N_{но}$ можно определить и по графикам $C_{п} = f_{п}(N_{н})$ и $W = f_{w}(N_{н})$ (см. рис. 4.1.ч.1). Для этого необходимо подставить в формулы (4.4) и (4.10) последовательно возрастающие значения мощности $N_{н}$ 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 (4.8).

Полученная при оптимальной мощности $N_{но}$ 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 ΔC , получить компромиссное значение мощности трактора $N_{нк}$, 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.ч.1.

Чтобы определить компромиссное значение мощности $N_{нк}$, следует в формулу (4.10) вместо $C_{п}$ подставить компромиссные приведенные затраты $C_{пк}$, определяемые из равенства

$$C_{пк} = C_{пmin} + \Delta C_{п} = C_{пmin} \cdot (1 + \varepsilon_{сп}), \quad (4.13)$$

где $\varepsilon_{сп}$ — относительное отклонение от $C_{пmin}$, $\varepsilon_{сп} = \Delta C_{п}/C_{пmin}$.

Значение $C_{пmin}$ определено по формуле (4...10) при $N_{н} = N_{но}$. Компромиссное значение мощности $N_{нк}$ также получим из выражения (8.10) при $C_{п} = C_{пк}$:

$$N_{нк} = F_{СК} + \sqrt{F_{СК}^2 - \frac{\Delta C}{0,36 \cdot K_{об} \cdot p_N^2 \cdot \alpha_W (1 + \varepsilon_{сп}) C_{пmin} + p_N \cdot A_C \cdot K_W}}, \quad (4.14)$$

где

$$F_{СК} = \frac{0,36 \cdot K_{об} \cdot p_N \cdot h_W \cdot (1 + \varepsilon_{сп}) \cdot C_{пmin} - p_N \cdot \Delta C \cdot K_W - A_C}{2 \cdot [0,36 \cdot K_{об} \cdot p_N^2 \cdot \alpha_W \cdot (1 + \varepsilon_{сп}) \cdot C_{пmin} + p_N \cdot A_C \cdot K_W]}.$$

Задавая разные значения $\varepsilon_{СП}$, находим соответствующие компромиссные значения мощности $N_{НК}$. Затем по формуле (4.4) при $N_H = N_{НК}$ можно определить компромиссное значение производительности W_K агрегата и ее последующий прирост

$$\Delta W = W_K - W_{СП}.$$

Такой анализ можно выполнить в качестве студенческой исследовательской работы, а в пределах данного задания следует использовать значения $\varepsilon_{СП} = 0,05$. Подставив это значение $\varepsilon_{СП}$ в формулу (4.14), получим диапазон ресурсосберегающих мощностей трактора $N_{НО} - N_{НК}$ по аналогии с заданием 4 (часть 1). При благоприятных условиях работы (при отсутствии знака « + » в графах **СП** и **НМ** табл. 4.1) ресурсосберегающий трактор (из марок, указанных в табл. 3.2) 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 $N_{НО} - N_{НК}$. Для работы на переуплотненных почвах предпочтительнее выбрать гусеничный трактор. Решение по второму пункту задания следует завершить определением значений производительности агрегата (формула (4.4)) и приведенных затрат (формула (4.10)) с учетом значения мощности N_H выбранного трактора.

При необходимости можно определить и прямые эксплуатационные затраты, приняв в соответствующих равенствах $E_H = 0$. Расчетами установлено, что оптимальные и компромиссные значения мощности по минимуму прямых эксплуатационных затрат находятся в пределах диапазона $N_{НО} - N_{НК}$, 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_0 и ширины захвата B_0 . Для многомашинных агрегатов необходимо рассчитать также число машин $n_{МО}$ и фронт сцепки Φ_C .

Соответствующая методика оптимизации изложена в задании 4 (часть 1.), в которой в качестве критерия оптимальности принят минимум удельных энергозатрат при рабочем ходе МТА: $E_p \rightarrow \min$, эквивалентный минимуму удельного рабочего расхода топлива на единицу обработанной площади: $Q_p \rightarrow \min$. Тогда на основании формул (4.4.ч.1), (4.15.ч.1), (4.16.ч.1)-(4.20.ч.1) и с учетом $\varepsilon_B = 0$ можно рассчитать 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 $\varepsilon_{крФ}$ (см. формулу (4.23.ч.1.)). При $\varepsilon_{крФ} < 0,85$ 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 1, 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 2 и 3. Дополнительные рекомендации можно составить на основании общей формулы (4.10).

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

1. Выписываем из таблицы 4.1 исходные данные по варианту №20.

№ варианта	Вид операции	Класс длины гона, м	Угол склона α , град	Коб	Особые условия				
					СП	НМ	ПП	A1	УПТ
20	Посев зерновых	600 1000	1	0,87					

2. Затраты на топливо и смазочные материалы в функции мощности определяем по формуле (4.2) с учетом

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

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

$\gamma_\theta = 0,607$;

$\text{Ц}_k = 20,085 \text{ руб./кг}$ – цена комплексного топлива;

$W = 3,75 \text{ га/ч}$ – производительность агрегата из формулы 2.13;

$N_H = 66,25 \text{ кВт}$ – номинальная мощность двигателя из таблицы 3.1 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.ч.1)...(3.6.ч.1) по формуле (3.9.ч.1) при средней скорости $V = 2 \text{ м/с}$.

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

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

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

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

4. Определяем значение p_N при $\eta_T = 0,68$ из формулы (4.3)

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

5. Определяем производительность МТА в функции мощности по формуле (4.4) с учетом

$K_{OB} = 0,87$ – из таблицы 4.1;

$h_w = 0,71$; $a_w = 0,0049$; $K_w = 0,00472$ – из таблицы 2.1.

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

6. Определяем затраты на заработную плату в функции мощности по формуле (4.5) с учетом

$m_{\text{МЭХ}} = 2$; $f_c = 24,937$ 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 (4.6) с учетом

$Y_{\text{ВМ}} = 0,257$; $Y_{\text{ВС}} = 0,63$; $\varphi_T = 1,1$ – из таблицы 4.3.

$a^{\text{T}}_{\text{АРТО}} = 29,9\%$; $a^{\text{С}}_{\text{АРТО}} = 21,2\%$; $a^{\text{М}}_{\text{АРТО}} = 19,5\%$; $T_{\text{ГТ}} = 1300$ ч; $T_{\text{ГС}} = 350$ ч; $T_{\text{ГМ}} = 160$ ч. – из задания 3.

Оптовую цену трактора ЦТ определяем по формуле (4.7) с учетом

$\alpha_T = 153769$ руб.; $b_T = 8933$ руб./кВт – статистические коэффициенты.

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

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

8. В функции мощности определяем удельные капитальные вложения по формуле (4.9)

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

9. Определяем значение коэффициента A_C из формулы (4.10)

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

10. Определяем значение коэффициента D_C из формулы (4.10)

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

11. Определяем приведенные затраты в функции мощности по формуле (4.10)

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

12. Определяем значение коэффициента β_C из формулы (4.11)

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

13. Определяем оптимальное значение мощности по минимуму приведенных затрат по формуле (4.11)

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

14. Определяем оптимальную чистую производительность агрегата по формуле (4.12)

$$P_0 = 70,21 \cdot 0,21 = 22,5 \text{ га.}$$

15. Подставив значение оптимальной мощности N_{HO} в формулы (4.4) и (4.10), 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 (4.10) при $C_{П} = C_{ПК}$ по формуле (4.14), учитывая $\epsilon_{СП} = 0,05$ – относительное отклонение.

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

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

$N_{НК}$

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

$$= 64 + \sqrt{4096 - \frac{206}{0,062}} = 64 + \sqrt{4096 - 3322} = 64 + \sqrt{774} = 64 + 27,8 = 92 \text{ кВт}$$

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

17. При благоприятных условиях работы (при отсутствии знак «+» в графах СП и НМ в таблице 4.1) ресурсосберегающий трактор в таблице 3.2 выбираем в левой половине полученного диапазона мощностей. В нашем случае это трактор ДТ-75М, $N_{Н} = 66,25 \text{ кВт}$.

18. Для выбранного трактора, по формулам (4.14), (4.15), (4.16)...(4.20) из задания №4 (часть 1) определяем оптимальные теоретическую $V_{ТО}$ и рабочую $V_{О}$ скорость движения агрегата, ширину захвата $B_{О}$, число машин $n_{МО}$ и необходимый фронт сцепки $\Phi_{С}$.

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

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

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

$$= 14,21 \text{ м.}$$

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

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

Принимаем сцепку СП – 11А.

19. Определяем фактическое тяговое сопротивление агрегата по формуле (4.22.ч.1)

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

20. Определяем фактический коэффициент использования номинального тягового усилия трактора по формуле (4.23.ч.1)

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

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, ε_N	0,9
6	Удельный расход топлива, g_e	256 г/кВт · ч
7	Коэффициент, Y_θ	0,607
8	Цена комплексного топлива, C_K	20,085 руб. /кг
9	Номинальная мощность двигателя, N_H	66,25 кВт
10	Удельное сопротивление агрегата, K_a	1,93 кН /м
11	Коэффициент, p_N	0,32

Продолжение таблицы 8.4

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
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_{APTO}	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_{II}	258,2 руб. /га
19	Коэффициент, β_c	60
20	Оптимальное значение мощности по минимуму приведенных затрат, N_{HO}	70,21 кВт
21	Оптимальная чистая производительность, P_o	22,5 га
22	Производительность при оптимальной мощности, $W_{СП}$	3,8 га /ч
23	Минимальные приведенные затраты, C_{IImin}	257,4 руб. /га
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_{af}	21,22 кН
34	Фактический коэффициент использования номинального тягового усилия трактора, $\epsilon_{KP.Ф}$	0,73

Контрольные вопросы.

1. Укажите основные кинематические характеристики МТА и как они определяются.
2. Какими параметрами характеризуется рабочий участок?
3. Охарактеризуйте основные виды поворотов МТА.
4. От каких факторов зависят длина поворота МТА и ширина поворотной полосы?
5. Какие факторы оказывают наибольшее влияние на радиус поворота МТА?
6. По каким основным признакам классифицируются способы движения агрегатов?
7. Укажите основные способы движения МТА по направлению рабочих ходов.
8. Какими основными показателями характеризуется холостой ход МТА?
9. Как определяется коэффициент рабочих ходов и каков его физический смысл?
10. По каким основным критериям ресурсосбережения выбирают эффективный способ движения МТА?
11. Как влияют длина гона и ширина загона на коэффициент рабочих ходов и на длину холостого пути МТА при способах движения всвал и вразвал, а также при беспетлевом комбинированном?
12. Чему равна оптимальная ширина загона при круговом, челночном и диагональном способах движения?
13. Укажите основные способы уменьшения потерь времени и топлива при холостом ходе МТА.
14. Дайте краткое определение производительности агрегатов.
15. В каких единицах определяется производительность различных типов агрегатов?
16. Дайте определение теоретической, технической и фактической производительности агрегатов.

17. Из каких основных составляющих складывается баланс времени смены обычных полевых агрегатов?

18. От каких параметров агрегата и природно-производственных факторов зависят составляющие баланса времени смены и коэффициент использования времени смены?

19. Изобразите графически характер изменения производительности МТА в функции мощности.

20. Дайте определения для условного эталонного гектара и условного эталонного трактора.

21. Как перевести физические гектары выполненной агрегатом работы в условные эталонные?

22. Как перевести физические трактора в условные эталонные?

23. Назовите основные способы повышения производительности агрегатов.

24. Перечислите основные виды эксплуатационных затрат при работе агрегатов.

25. С учетом каких основных режимов работы агрегата определяют расход топлива?

26. Укажите основные способы уменьшения расхода топлива.

27. Как влияет тяговый КПД трактора на расход топлива?

28. Как определить энергетический КПД агрегата?

29. За счет каких мероприятий можно повысить энергетический КПД агрегата?

30. Как можно уменьшить затраты труда при работе агрегата?

31. Перечислите составляющие прямых эксплуатационных затрат при работе агрегата.

32. Чем отличаются прямые эксплуатационные затраты от приведенных?

33. Какими способами можно уменьшить эксплуатационные затраты?

34. В чем заключается принцип определения компромиссной мощности энергомашины с учетом производительности и эксплуатационных затрат?

35. По какому основному критерию ресурсосбережения выбирают оптимальную мощность энергомашины для выполнения комплекса операций?

36. Как выбрать взаимосвязанный ресурсосберегающий агрегат при поточной работе?

37. В чем заключается принципиальная особенность системного подхода к оптимизации эксплуатационных параметров и режимов работы агрегатов?

38. Назовите основные уровни ресурсосбережения при системном подходе к оптимизации параметров и режимов работы агрегатов сельскохозяйственного назначения.

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 II

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 Адылина Е.С.

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

Бумага офсетная. Усл. п. л. 4,06. Тираж 25 экз. Изд. №7517

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