

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

В. А. Сенников

ОСНОВЫ ТЕОРИИ И РАСЧЕТА ТРАКТОРА И АВТОМОБИЛЯ

Учебно-методическое пособие

Благовещенск
Дальневосточный ГАУ
2024

УДК 631.372.2.02
ББК 40.72
С31

Рецензент

*Андрей Владимирович Якименко, кандидат технических наук,
доцент кафедры эксплуатации и ремонта
транспортно-технологических машин и комплексов
Дальневосточного государственного аграрного университета*

*Рекомендовано к использованию в учебном процессе
методическим советом факультета механизации сельского хозяйства
Дальневосточного государственного аграрного университета*

С31 **Сенников, В. А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля :**
учебно-методическое пособие / В. А. Сенников ; Дальневост. гос.
аграр. ун-т. – Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2024. – 46 с.

Учебно-методическое пособие разработано для организации курсового проектирования и содержит все необходимые данные для тягового расчета трактора и автомобиля. При этом для выбранной темы курсового проекта с целью расчета машины используется двигатель, габариты и параметры которого определяются студентами при разработке раздела «Теория, основы расчета и анализ работы тракторных и автомобильных двигателей». В результате выполнения обеих частей проекта осуществляется полный расчет мобильной машины.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов всех форм обучения, обучающихся по направлению подготовки бакалавриата 35.03.06 «Агроинженерия».

УДК 631.372.2.02
ББК 40.72

© Сенников В. А., 2024
© ФГБОУ ВО Дальневосточный
государственный аграрный университет, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1 Тяговый расчет трактора.....	5
1.1 Общие указания.....	5
1.2 Определение коэффициента полезного действия трансмиссии трактора	6
1.3 Построение диаграммы баланса мощностей трактора.....	7
1.4 Выбор ведущих колес трактора.....	13
1.5 Определение передаточных чисел трансмиссии	14
1.6 Построение регуляторной характеристики двигателя	17
1.7 Построение лучевой диаграммы загрузки двигателя на передачах	20
1.8 Построение тяговой характеристики трактора	21
1.9 Анализ тяговой характеристики трактора.....	23
2 Тяговый расчет автомобиля.....	25
2.1 Общие указания.....	25
2.2 Определение мощности двигателя.....	26
2.3 Построение внешней характеристики двигателя.....	27
2.4 Определение передаточных чисел коробки передач.....	28
2.5 Построение динамической характеристики	29
Список рекомендуемой литературы.....	32
Приложение А. Варианты индивидуальных заданий и формы документов для подготовки курсового проекта.....	34
Приложение Б. Технические характеристики колесных тракторов	39
Приложение В. Технические характеристики гусеничных тракторов.....	40
Приложение Г. Исходные данные для построения кривой буксования колесных тракторов.....	41
Приложение Д. Исходные данные для построения кривой буксования гусеничных тракторов.....	42
Приложение Е. Справочные данные по пневматическим шинам.....	43
Приложение Ж. Регуляторные характеристики тракторных двигателей.....	44
Приложение И. Технические данные отечественных легковых автомобилей	45

ВВЕДЕНИЕ

Целью курсового проекта является систематизация и закрепление знаний студентов по основным вопросам теории трактора и автомобиля.

Курсовой проект состоит из **двух разделов:**

- 1. Тяговый расчет трактора.**
- 2. Тяговый расчет автомобиля.**

Исходные данные к тяговому расчету приведены в приложении А данного пособия, а также берутся студентом из курсовой работы «Теория, основы расчета и анализ работы тракторных и автомобильных двигателей». В пояснительной записке в качестве первой страницы приводится индивидуальное задание с указанием номера шифра зачетной книжки. Образцы титульного листа, индивидуального задания, а также реферата курсового проекта показаны в приложении А. В данном приложении приведен бланк рецензии на курсовой проект, которую готовит руководитель проекта по результатам его оценки.

При расчете отдельных параметров трактора и автомобиля сначала приводят расчетную формулу, а затем соответствующие расчеты.

Графическая часть проекта выполняется на миллиметровой бумаге формата А3.

1 ТЯГОВЫЙ РАСЧЕТ ТРАКТОРА

1.1 Общие указания

Тяговый расчет позволяет определить параметры, характеризующие проектируемый трактор. Тяговые качества трактора преимущественно определяются мощностью двигателя, передаточным числом трансмиссии, сцепным весом и физико-механическими свойствами почвы.

Основной задачей тягового расчета является определение указанных величин и нахождение их взаимосвязи, которая, в конечном итоге, оценивается тяговым коэффициентом полезного действия трактора.

Тяговые и экономические качества проектируемого трактора рассчитываются для горизонтального участка при установившемся движении.

Эти качества определяются **тяговой характеристикой**, которая представляет собой диаграмму зависимости крюковой мощности ($N_{кр}$), действительной скорости движения (V_d), буксования (δ), удельного тягового расхода топлива ($g_{кр}$), тягового КПД ($\eta_{тяг}$) от силы тяги ($P_{кр}$) и номера передачи.

Тяговая характеристика обычно строится по данным полевых испытаний трактора, но может быть построена теоретическим путем, что и предусмотрено при выполнении курсового проекта.

Основой построения тяговой характеристики служит регуляторная характеристика, которая строится по данным тормозных испытаний двигателя. Чтобы построить регуляторную характеристику для вновь проектируемого двигателя, пользуются теоретическим методом построения (раздел 2 курсовой работы «Теория, основы расчета и анализ работы тракторных и автомобильных двигателей»).

В результате тягового расчета требуется:

1. *Определить (по прототипу) или принять КПД трансмиссии трактора по передачам.*

2. Построить диаграмму баланса мощностей.

3. Определить передаточные числа трансмиссии и скорости движения по передачам.

4. Построить регуляторную характеристику двигателя, лучевую диаграмму загрузки двигателя на передачах и тяговую характеристику трактора.

Графическая часть раздела включает:

1) совмещенные диаграммы баланса мощности и тяговую характеристику трактора;

2) регуляторную характеристику двигателя;

3) лучевую диаграмму загрузки двигателя на передачах.

1.2 Определение коэффициента полезного действия трансмиссии трактора

Кинематическая схема трансмиссии трактора принимается по прототипу или на основе анализа существующих трансмиссий тракторов с аналогичным типом движителя, двигателя и близких по массе к рассчитываемому (приложения Б, В).

После выбора кинематической схемы трансмиссии определяется ее КПД. Для упрощенных расчетов допускается принимать его значение в пределах от 0,90 до 0,93.

Для инженерных расчетов можно пользоваться формулой (1.1):

$$\eta = \eta_{\text{ц}}^n \cdot \eta_{\text{к}}^m \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \eta_{\text{г}} \quad (1.1)$$

где $\eta_{\text{ц}}^n$ – КПД цилиндрической пары шестерен;

$\eta_{\text{к}}^m$ – КПД конической пары шестерен;

ε – коэффициент, показывающий, какую часть от номинального момента двигателя составляет момент холостого хода;

$\eta_{\text{г}}$ – КПД ведущего участка гусеничного движителя (для гусеничных тракторов);

n – число пар цилиндрических шестерен, работающих на данной передаче;

m – число пар зацеплений конических шестерен на данной передаче.

1.3 Построение диаграммы баланса мощностей трактора

Для определения передаточных чисел трансмиссии трактора на основных рабочих передачах выясняются потенциальные возможности трактора. Для этого строят его потенциальную тяговую характеристику, подбирают пневматические шины для ведущих колес трактора или задают параметры для определения динамического радиуса ведущих звездочек гусеничного трактора.

Потенциальная тяговая характеристика строится для трактора с бесступенчатой трансмиссией, обеспечивающей постоянную загрузку двигателя на максимальную мощность во всем диапазоне тяговых сопротивлений. Эта характеристика получается в результате построения диаграммы баланса мощностей трактора.

Диаграмма баланса мощностей строится для случая движения трактора с установившейся скоростью по горизонтальному участку поля:

$$N_e = N_{тр} + N_f + N_{\delta} + N_{кр} \quad (1.2)$$

где N_e – эффективная мощность двигателя, кВт;

$N_{тр}, N_f, N_{\delta}$ – потери мощности в трансмиссии, на самопередвижение и буксование трактора соответственно, кВт;

$N_{кр}$ – тяговая мощность трактора, кВт.

Построение кривой буксования. Кривая буксования строится по опытной зависимости буксования трактора с такой же эксплуатационной массой и подобной по типу ходовой системой, как у заданного (приложения Г, Д).

Если эксплуатационная масса рассчитываемого трактора не совпадает с прототипом, то пользуются зависимостью буксования от удельной тяговой силы трактора, близкого по массе и с подобной ходовой системой (приложения Б, В). Тяговое усилие при определенном буксовании для заданного трактора определится по формуле (1.3):

$$P_{кр} = D_{кр} \cdot G_{сц} \quad (1.3)$$

где $D_{кр}$ – удельная тяговая сила (приложения Г, Д);

$G_{сц}$ – сцепная сила тяжести проектируемого трактора, кН.

Полученное тяговое усилие заносится в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Расчетные данные для построения диаграммы баланса мощностей, потенциальной тяговой характеристики и тягового КПД трактора

$P_{кр}$, кН										
$P_k = P_{кр} + P_f$, кН										
V_T , м/с										
δ										
V_d , м/с										
N_f , кВт										
$N_k - N_f$, кВт										
N_δ , кВт										
$N_k - N_f - N_\delta$, кВт										
N_k , кВт										
$\eta_{тр}$										
Примечания: значения $P_{кр}$ и δ берут по прототипу из задания в приложениях Г, Д.										

Для колесных тракторов с колесной формулой 4К4 и гусеничных тракторов сцепная сила тяжести равна их эксплуатационной силе тяжести (кН):

$$G_{сц} = G_{тр}$$

Для колесных тракторов с колесной формулой 4К2:

$$G_{сц} = (0,80 \dots 0,85) \cdot G_{тр}$$

Эксплуатационная сила тяжести трактора находится по формуле (1.4):

$$G_{тр} = \frac{m_э \cdot g}{1000} \quad (1.4)$$

где $m_э$ – эксплуатационная масса трактора, кг (определяется согласно выбранного прототипа из приложений Б, В);

g – ускорение (9,8 м/с²).

Выбор масштаба шкал. Тяговое усилие трактора при 100 % буксовании является максимальным тяговым усилием по сцеплению ($P_{кр}^{max}$), определяющим шкалу абсцисс диаграммы баланса мощностей трактора (рис. 1.1).

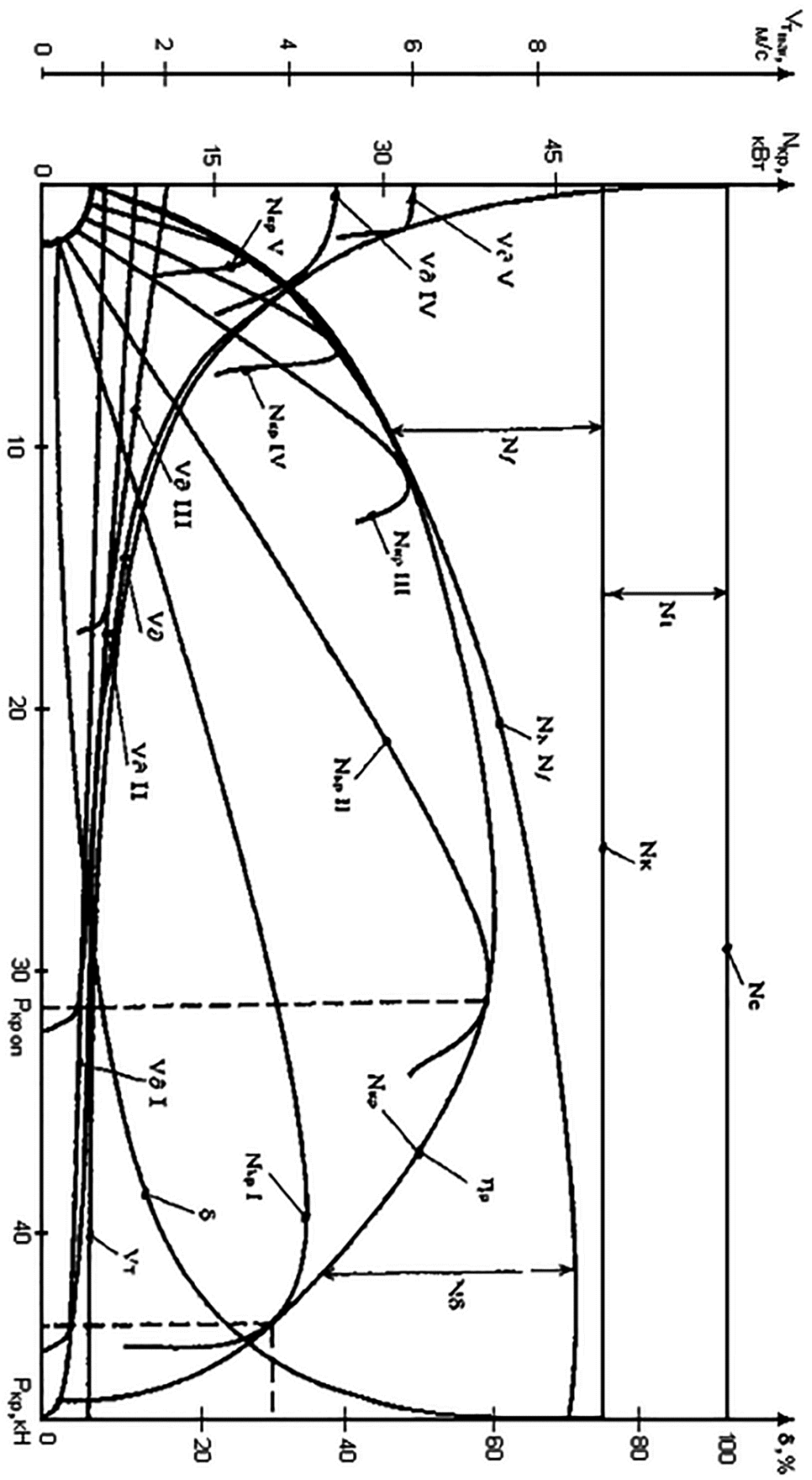


Рисунок 1.1 – График диаграммы баланса мощностей и тяговой характеристики трактора

При работе трактора с бесступенчатой трансмиссией всегда реализуется максимальная эффективная мощность двигателя, поэтому на диаграмме она откладывается горизонтальной прямой на всем диапазоне тягового усилия на крюке. Так получается масштаб шкалы мощностей.

Масштаб шкалы тягового КПД трактора выбирают с таким расчетом, чтобы 100 % по шкале КПД и 100 % по шкале мощности, соответствующие максимальной мощности двигателя ($N_{e(max)}$), совпадали. Аналогично выбирают масштабы для теоретической скорости движения и буксования (рис. 1.1).

Мощность, подведенная к ведущим колесам трактора. Мощность, подведенная к ведущим колесам трактора, определяется по формуле (1.5):

$$N_k = N_{e(max)} \cdot \eta_{тр} \quad (1.5)$$

где $N_{e(max)}$ – максимальная эффективная мощность двигателя (находится из прототипа в приложениях Б, В);

$\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии трактора (средний для основных рабочих передач; находится в пределах 0,90–0,93).

Полученное значение мощности откладываем на диаграмме (рис. 1.1).

Потери мощности в трансмиссии трактора. Величину указанных потерь определяют по формуле (1.6):

$$N_{тр} = N_{e(max)} - N_k = N_{e(max)}(1 - \eta_{тр}) \quad (1.6)$$

где $N_{тр}$ – потери мощности в трансмиссии, кВт.

Сила, идущая на самопередвижение трактора. Значение соответствующей силы находят из выражения (1.7):

$$P_f = f \cdot G_{тр} \quad (1.7)$$

где f – коэффициент сопротивления самопередвижению трактора (выбирается по тому почвенному фону, для которого построена кривая буксования (приложение А));

P_f – сила, идущая на самопередвижение трактора, кН.

Определение теоретической скорости движения трактора. При определении теоретической скорости движения трактора (V_T) и последующих расчетов в диапазоне от $P_{кр} = 0$ до $P_{кр}^{max}$, следует задаваться не менее десятью значениями $P_{кр}$, желательно с равномерным распределением по шкале абсцисс (рис. 1.1).

При этом теоретическая скорость движения трактора рассчитывается по формуле (1.8):

$$V_T = \frac{N_k}{P_{кр} + P_f} \quad (1.8)$$

Полученное значение скорости заносят в таблицу 1.1.

$P_k = P_{кр} + P_f$ рассчитывается и также заносится в таблицу 1.1.

При $P_{кр} = 0$, теоретическая скорость движения трактора максимальна, она и определит масштаб шкалы скоростей на диаграмме баланса мощностей трактора (рис. 1.1).

Определение действительной скорости движения трактора. Действительная скорость движения трактора рассчитывается по формуле (1.9):

$$V_d = V_T(1 - \delta) \quad (1.9)$$

где δ – буксование трактора в долях единицы при соответствующем $P_{кр}$ (определяется графически по рисунку 1.1).

Расчеты заносятся в таблицу 1.1.

Определение мощности, затрачиваемой на самопередвижение трактора. Мощность, затрачиваемая на самопередвижение, рассчитывается по формулам (1.10), (1.11) и заносится в таблицу 1.1:

1) колесного трактора:

$$N_f = P_f \cdot V_d \quad (1.10)$$

2) гусеничного трактора:

$$N_f = P_f \cdot V_T \quad (1.11)$$

Определяется и строится на диаграмме баланса мощностей следующая кривая: $N_k - N_f$.

Определение мощности, затрачиваемой на буксование. Мощность, затрачиваемая на буксование, рассчитывается по формулам (1.12), (1.13) и заносится в таблицу 1.1:

1) колесного трактора:

$$N_\delta = P_k \cdot V_T \cdot \delta \quad (1.12)$$

2) гусеничного трактора:

$$N_\delta = P_{кр} \cdot V_T \cdot \delta \quad (1.13)$$

Определяется и строится на диаграмме баланса мощностей следующая кривая: $N_k - N_f - N_\delta$.

Для горизонтального участка поля выражение в скобках и есть тяговая мощность трактора ($N_{кр}$) (рис. 1.1), а кривая ($N_k - N_f - N_\delta$) на диаграмме баланса мощностей является потенциальной тяговой характеристикой трактора.

Правильность выполненных расчетов проверяется по формуле (1.14):

$$N_{кр} = P_{кр} \cdot V_D \quad (1.14)$$

Полученные значения тяговой мощности трактора в соответствующих точках должны совпадать с данными разности мощностей ($N_k - N_f - N_\delta$). Они заносятся в таблицу 1.1.

Как следует из диаграммы (рис. 1.1), кривая потенциальной тяговой мощности одновременно является кривой тягового КПД трактора в соответствующем масштабе:

$$\eta_{\text{тяги}} = \frac{N_{\text{кр}}}{N_e} \quad (1.15)$$

При этом $\eta_{\text{тяги}}$ рассчитывается и заносится в таблицу 1.1.

По данным таблицы 1.1 строится диаграмма баланса мощностей и потенциальная тяговая характеристика трактора (рис. 1.1).

Оптимальными параметрами работы трактора (тяговое усилие ($P_{\text{кр (опт)}}$) и скорость движения ($V_{\text{опт}}$)) называются параметры, соответствующие максимальной мощности по потенциальной тяговой характеристике.

Сила тяги ($P_{\text{кр}}$), при которой трактор имеет максимальную тяговую мощность и тяговый КПД по потенциальной тяговой характеристике на стандартном почвенном фоне (стерне), определяет тяговый класс трактора (кН): 6; 9; 14; 30; 40; 50 и т. д.

1.4 Выбор ведущих колес трактора

Согласно заданию или по прототипу принимается колесная формула ходовой части колесного трактора 4К2 или 4К4.

Для тракторов с колесной формулой 4К4 принимаются разные или одинаковые по диаметру передние и задние колеса.

По сцепной силе тяжести трактора (формула (1.3)) находится нагрузка на одно ведущее колесо:

1) для тракторов 4К2:

$$Y_{\text{к}} = \frac{G_{\text{сц}}}{2} \quad (1.16)$$

2) для тракторов 4К4 с одинаковым диаметром колес:

$$Y_{\text{к}} = \frac{G_{\text{сц}}}{4} \quad (1.17)$$

3) для тракторов 4К4 с разными по диаметру колесами:

$$Y_k = \frac{(0,80 \dots 0,85) \cdot G_{\text{сц}}}{2} \quad (1.18)$$

По нагрузке на одно колесо и утвержденным нормам (приложения Б, Е) подбирается размер пневматической шины ведущего колеса. Правильность выбора оценивается по назначенному прототипу.

Находится динамический радиус ведущего колеса колесного трактора. При этом используют формулу (1.19):

$$R_k = 0,001(0,5b + 0,8d) \quad (1.19)$$

где b – ширина профиля шины, мм (приложение Е);

d – посадочный диаметр обода колеса, мм (приложение Е);

0,8 – поправочный коэффициент, учитывающий деформацию шины под нагрузкой.

Если размеры b и d даны в дюймах, то формула (1.19) принимает вид выражения (1.20):

$$R_k = 0,0254(0,5b + 0,8d) \quad (1.20)$$

Для гусеничного трактора радиус ведущей звездочки принимают по прототипу (приложение В) или рассчитывают по формуле (1.21):

$$R_k = \frac{Z_{\text{зв}} \cdot t_{\text{ц}}}{2\pi} \quad (1.21)$$

где $Z_{\text{зв}}$ – число звеньев гусеницы, укладываемых на окружности звездочки;

$t_{\text{ц}}$ – шаг звена гусеничной цепи, м.

Для выбора параметров $Z_{\text{зв}}$ и $t_{\text{ц}}$ используется существующий трактор, близкий к рассчитываемому по эксплуатационной массе и имеющий такую же по типу подвеску остова (приложение В).

1.5 Определение передаточных чисел трансмиссии

Передаточные числа трансмиссии на основных передачах (резервные, основные рабочие и транспортные) определяются с таким расчетом, чтобы

лучше использовать потенциальные возможности трактора. Для упрощения расчетов количество передач берется равным пяти.

Используя потенциальную тяговую характеристику, намечают диапазон по тяговому усилию между первой основной (резервной) и высшей (транспортной) передачами трактора. Тяговые усилия на основных рабочих передачах должны лежать в области высокого тягового КПД трактора.

Первая основная передача выбирается из возможности получения силы тяги, близкой к силе сцепления трактора с почвой при максимальном крутящем моменте двигателя. При этом сила тяги на первой основной передаче при работе двигателя с максимальной мощностью составит:

$$P_{крI} = \frac{P_{кр}^{max} + P_f}{1 + \mu} - P_f, \quad (1.22)$$

$$\mu = \frac{M_{дв(max)} - M_{дв(н)}}{M_{дв(н)}} \quad (1.23)$$

где $P_{кр}^{max}$ – максимальная сила тяги по сцеплению трактора с почвой, кН (приложения Г, Д);

P_f – сила, идущая на самопередвижения трактора, кН;

μ – коэффициент запаса крутящего момента двигателя.

Значение коэффициента запаса крутящего момента двигателя определяется из регуляторной характеристики двигателя (раздел курсовой работы «Теория, основы расчета и анализ работы тракторных и автомобильных двигателей») или принимается в пределах от 0,15 до 0,20.

Высшая передача трактора выбирается в зависимости от типа двигателя и конструкции подвески остова. Для гусеничных тракторов с полужесткой подвеской остова с тяговым классом 20–60 кН тяговое усилие на высшей передаче выбирается по максимально допустимой транспортной скорости движения 3,5 м/с и диаграмме баланса мощностей (рис. 1.1).

У гусеничных тракторов с упругой подвеской остова с тяговым классом 30–50 кН и у колесных тракторов на пневматических шинах тяговое усилие ($P_{кр}$) должно быть в пределах 8–10 % от эксплуатационной силы тяжести трактора. При этом максимальная скорость движения может быть выше 3,5 м/с.

Наметив диапазоны по тяговому усилию от первой основной передачи до высшей и зная из кинематической схемы трансмиссии трактора число основных передач, решают вопрос о рациональном соотношении передаточного числа трансмиссии между отдельными передачами. Наиболее распространен в тракторостроении геометрический ряд передач, когда по мере увеличения тягового сопротивления при переходе с одной передачи на другую обеспечивается одинаковая степень изменения загрузки двигателя. В данном курсовом проекте также следует ориентироваться на геометрический принцип разбивки передаточного числа трансмиссии.

Теоретическое передаточное число трансмиссии на первой основной передаче рассчитывается по формуле (1.24):

$$i_{mI} = 1000 \frac{(P_{крI} + P_f) \cdot R_k}{M_{дв(н)} \cdot \eta_{трI}}, \quad (1.24)$$

$$M_{дв(н)} = \frac{9550 \cdot N_e(max)}{n_{дв(н)}} \quad (1.25)$$

где $P_{крI}$ – номинальная сила тяги трактора, принятая для первой основной передачи, кН (определяют по формуле (1.22));

R_k – динамический радиус ведущих колес (радиус ведущей звездочки) трактора, м;

$\eta_{трI}$ – КПД трансмиссии трактора;

$M_{дв(н)}$ – номинальный крутящий момент двигателя, Н·м (определяется из регуляторной характеристики или по формуле (1.25));

$N_e(max)$ – максимальная мощность двигателя, кВт (приложения Б, В);

$n_{дв(н)}$ – номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя, оборотов/мин (согласно задания).

Знаменатель геометрической прогрессии передаточных чисел трансмиссии трактора рассчитывается по формуле (1.26):

$$q = \sqrt[n-1]{\frac{P_{кр(н)} + P_f}{P_{крI} + P_f}} \quad (1.26)$$

где $P_{кр(н)}$ – номинальная сила тяги на высшей передаче, кН;

n – число основных передач трансмиссии трактора.

Теоретические передаточные числа трансмиссии трактора на других основных передачах определяются из выражений (1.27):

$$\begin{aligned} i_{mII} &= i_{mI} \cdot q; \quad i_{mIII} = i_{mI} \cdot q^2; \\ i_{mIV} &= i_{mI} \cdot q^3; \quad i_{mV} = i_{mI} \cdot q^4 \text{ и т. д.} \end{aligned} \quad (1.27)$$

1.6 Построение регуляторной характеристики двигателя

Для построения тяговой характеристики трактора необходимо иметь регуляторную характеристику двигателя и лучевую диаграмму загрузки двигателя на передачах.

Регуляторная характеристика двигателя (рис. 1.2) строится по результатам теплового расчета двигателя, выполняемого студентами в курсовой работе (раздел «Теория, основы расчета и анализ работы автотракторных двигателей»). *Построение регуляторной характеристики двигателя можно сделать также приближенно по величинам N_e и $n_{дв}$, указанным в задании на курсовое проектирование, в следующей последовательности:*

1. По формуле (1.25) определяется номинальный крутящий момент двигателя.

2. Определяется максимальная частота вращения коленчатого вала двигателя (c^{-1}) при холостом ходе. При этом используют формулу (1.28):

$$n_{дв(хх)} = \frac{2 + \delta_p}{2 - \delta_p} \cdot n_{дв(н)} \quad (1.28)$$

где δ_p – степень неравномерности регулятора (равна от 0,06 до 0,08).

3. Строится регуляторная ветвь характеристики двигателя. Для этого на графике соединяются точки $N_{e(max)}$ и $M_{дв(н)}$ с точкой $n_{дв(хх)}$ на оси абсцисс (рис. 1.2).

4. Преобразовав формулу (1.23), определяем максимальный крутящий момент двигателя:

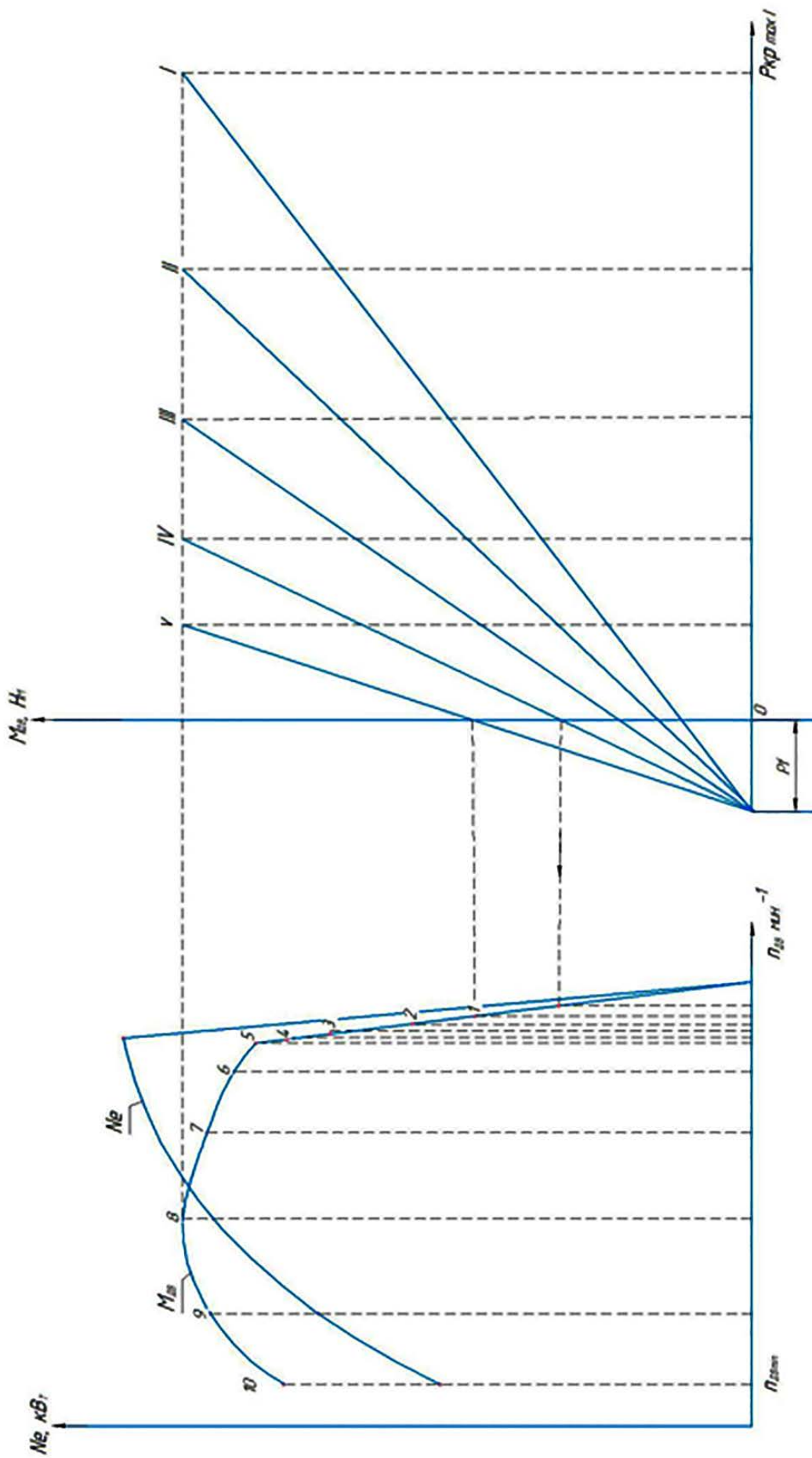


Рисунок 1.2 – Примерная скоростная характеристика двигателя

Рисунок 1.3 – Примерная лучевая диаграмма загрузки двигателя на передачах

$$M_{дв(max)} = (1 + \mu) \cdot M_{дв(н)} \quad (1.29)$$

5. Принимаем рассчитанную по формуле (1.30) частоту вращения коленчатого вала двигателя (c^{-1}) при максимальном крутящем моменте:

$$n_{дв}^{max} = 0,65 \cdot n_{дв(н)} \quad (1.30)$$

6. Принимаем следующую минимально устойчивую частоту вращения коленчатого вала двигателя (c^{-1}) под нагрузкой:

$$n_{дв(min)} = 0,5 \cdot n_{дв(н)} \quad (1.31)$$

7. Принимаем крутящий момент двигателя при ($n_{дв(min)}$). Этот момент меньше максимального, но больше номинального:

$$M_{дв(max)} > M_{дв}^0 > M_{дв(н)} \quad (1.32)$$

8. Полученные и принятые значения крутящего момента двигателя откладываются на графике и соединяются плавной кривой.

9. Задаваясь рядом промежуточных значений частот вращения коленчатого вала от $n_{дв(min)}$ до $n_{дв(н)}$ (5–6 значений), для них по полученному графику находим соответствующие значения крутящего момента и мощности двигателя, используя формулу (1.33):

$$N_e = \frac{M_{дв} \cdot n_{дв}}{9550} \quad (1.33)$$

Результаты расчетов заносим в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Расчетные данные для построения регуляторной характеристики

$n_{дв}, c^{-1}$										
$M_{дв}, Н \cdot м$										
$N_e, кВт$										

По полученным данным строим график $N_e = f(n_{дв})$. Результаты расчетов сравниваются с данными прототипа (приложение Ж).

1.7 Построение лучевой диаграммы загрузки двигателя на передачах

Лучевая диаграмма загрузки двигателя на различных передачах (рис. 1.3) строится на основе формулы (1.34):

$$P_{кр(max_i)} = \frac{M_{дв(max)} \cdot i_{тр} \cdot \eta_{тр}}{1000 \cdot R_k} - P_f \quad (1.34)$$

где $P_{кр(max_i)}$ – максимальная сила тяги трактора на передаче, кН;

$M_{дв(max)}$ – максимальный крутящий момент двигателя, Н·м;

$i_{тр}$ – передаточное число трансмиссии на передаче;

$\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии трактора;

R_k – динамический радиус ведущих колес (ведущей звездочки), м;

P_f – сила, идущая на самопередвижение трактора, кН.

Результаты расчетов заносим в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 – Расчетные данные для построения лучевой диаграммы

Передача	1	2	3	4	5
$i_{тр}$					
$P_{кр(max_i)}$, кН					

По данным таблицы 1.3 строится лучевая диаграмма загрузки двигателя на передачах. Ее необходимо строить рядом с регуляторной характеристикой двигателя так, чтобы их оси абсцисс располагались на одной линии, а шкала $M_{дв}$ была общей для обоих графиков. Построение лучевой диаграммы показано на рисунке 1.3.

Прямые линии на лучевой диаграмме позволяют определить режим работы двигателя (крутящий момент, частота вращения коленчатого вала, мощность) в зависимости от тягового сопротивления на крюке при работе трактора на той или иной передаче. И, наоборот, задаваясь режимом работы двигателя, можно определить тяговое сопротивление, которое преодолевает трактор при работе на той или иной передаче.

1.8 Построение тяговой характеристики трактора

Для построения тяговой характеристики трактора (рис. 1.1) на регуляторной характеристике двигателя берется не менее шести значений крутящего момента и соответствующие им шесть значений частоты вращения коленчатого вала (рис. 1.2).

Четыре значения (точки 1–4) берутся на регуляторной ветви характеристики. Первое из них определяется пересечением луча высшей передачи с осью ординат лучевой диаграммы. Остальные точки (6–10) берутся на коррекционной ветви характеристики. Последняя из них соответствует $M_{дв}^0$. Одно значение (точка 5) должно соответствовать $M_{дв(н)}$. Точки 3; 4 и 6 берутся как можно ближе к точке 5, что обеспечит более точное построение кривых на тяговой характеристике трактора в зоне максимальной тяговой мощности. Результаты дальнейших расчетов сводятся в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 – Расчетные данные для построения тяговой характеристики

Режим работы двигателя	$n_{дв}, c^{-1}$									
	$M_{дв}, Н·м$									
Передача I $i_{mI} =$	$V_T, м/с$									
	$P_K, кН$									
	$P_{кр}, кН$									
	δ									
	$V_D, м/с$									
	$N_{кр}, кВт$									
Примечание: расчеты для второй и последующей передач выполняются аналогично.										

Определяется теоретическая скорость движения трактора по передачам с использованием формулы (1.35):

$$V_T = 0,105 \frac{n_{дв} \cdot R_K}{i_{тр}} \quad (1.35)$$

где $i_{\text{тр}}$ – передаточное число трансмиссии на рассчитываемой передаче.

Касательную силу тяги на ведущих колесах рассчитывают по формуле (1.36):

$$P_{\text{к}} = \frac{M_{\text{дв}} \cdot i_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{тр}}}{1000 \cdot R_{\text{к}}} \quad (1.36)$$

Сила тяги на крюке составит:

$$P_{\text{кр}} = P_{\text{к}} - P_{\text{ф}} \quad (1.37)$$

Действительная скорость движения трактора рассчитывается по формуле (1.38):

$$V_{\text{д}} = V_{\text{т}}(1 - \delta) \quad (1.38)$$

где δ - буксование трактора в долях единицы при соответствующем значении $P_{\text{кр}}$ (определяется графически по рисунку 1.1).

Тяговую мощность трактора находим по формуле (1.39):

$$N_{\text{кр}} = P_{\text{кр}} \cdot V_{\text{д}} \quad (1.39)$$

По данным таблицы 1.4 строится тяговая характеристика трактора на основных передачах, которая совмещается с его потенциальной тяговой характеристикой (рис. 1.1).

Примечания:

1. На пониженных (технологических) передачах тяговые качества трактора выходят за пределы его сцепных свойств с почвой, поэтому для них расчет и построение тяговой характеристики не производится.

2. При холостом ходе трактора ($P_{\text{кр}} = 0$) скорость движения на каждой передаче определяется с использованием рисунка 1.3 и формулы (1.35).

Например, при движении трактора на холостом ходу на четвертой передаче, точка, в которой луч данной передачи пересекается с осью ординат, показывает загрузку двигателя по $M_{\text{дв}}$. Зная эту загрузку, по регуляторной харак-

теристике определяем частоту вращения коленчатого вала двигателя $n_{дв}$. Скорость движения трактора определяется по формуле (1.35). При этом $V_d = V_T$, так как буксование трактора при $P_{кр} = 0$ также отсутствует.

3. Кривые тяговых мощностей и скоростей движения на передачах могут отклоняться (вверх или вниз) от соответствующих кривых потенциальной характеристики, если КПД трансмиссии на этих передачах меньше или больше $\eta_{тр}$, который принят средним из основных рабочих передач при построении диаграммы баланса мощностей трактора.

1.9 Анализ тяговой характеристики трактора

По совмещенному графику потенциальной и тяговой характеристик дается краткая оценка тяговых качеств трактора на заданном почвенном фоне. При этом отражаются:

1. Оптимальная сила тяги ($P_{кр(оп)}$), оптимальная скорость движения ($V_{д(оп)}$) и максимальные тяговая мощность ($N_{кр(max)}$) и тяговый КПД ($\eta_{тяг(max)}$) по потенциальной тяговой характеристике трактора:

$$\eta_{тяг(max)} = \frac{N_{кр(max)}}{N_e(max)} \quad (1.40)$$

2. Оптимальный коэффициент использования веса:

$$\varphi_{оп} = \frac{P_{кр(оп)}}{G_{тр}} \quad (1.41)$$

3. Номинальная сила тяги ($P_{кр(н)}$) и номинальная скорость движения ($V_{д(н)}$) на основных рабочих передачах трактора ($P_{кр}$ и $V_{д}$ при $N_{кр(max)}$).

4. Коэффициент запаса тягового усилия трактора на основных рабочих передачах:

$$\mu_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{кр}}(\text{max}) - P_{\text{кр}}(\text{н})}{P_{\text{кр}}(\text{н})} \quad (1.42)$$

где $P_{\text{кр}}(\text{max})$ – максимальная сила тяги на передаче.

5. Диапазоны по силе тяги между основными рабочими передачами (например, $P_{\text{кр}}^{\text{II}}(\text{н}) - P_{\text{кр}}^{\text{III}}(\text{н})$ и так далее).

6. Минимальный коэффициент загрузки трактора на основных рабочих передачах (например, $\frac{P_{\text{кр}}^{\text{III}}(\text{н})}{P_{\text{кр}}^{\text{II}}(\text{н})}$ и так далее).

Контрольные вопросы:

1. Что называют коэффициентом эксплуатационной загрузки двигателя?
2. Что означает коэффициент нагрузки ведущих колес?
3. Что означает коэффициент использования сцепного веса?
4. Поясните физическую сущность буксования.
5. Что такое сцепной вес трактора?
6. Что показывает тяговый КПД трактора?
7. Что называют теоретической скоростью трактора?
8. Как по тяговой характеристике найти рабочую скорость трактора?
9. Определите по тяговой характеристике коэффициент загрузки двигателя при конкретном значении $P_{\text{кр}}$.
10. Как определить зону наиболее выгоднейшего использования трактора для каждой передачи отдельно?
11. Объясните, используя графическую часть проекта, почему при работе с одним и тем же $P_{\text{кр}}$ на равных передачах получаются разные $N_{\text{кр}}$?
12. Как изменятся тяговые показатели трактора при переезде со стерни на вспаханное поле?
13. Изменятся ли тяговые показатели трактора при изменении натяжения гусениц или давления воздуха в шинах трактора? Если изменятся, то почему?
14. Как по тяговой характеристике определить знаменатель геометрической прогрессии?
15. Как повлияет износ двигателя на тяговые показатели трактора?

2 ТЯГОВЫЙ РАСЧЕТ АВТОМОБИЛЯ

2.1 Общие указания

Задачей тягового расчета является определение основных характеристик автомобиля в целом и параметров его отдельных агрегатов. Для сравнительной оценки тяговых качеств автомобиля используется так называемый динамический фактор. Зависимость динамического фактора от скорости движения и номера передачи называется динамической характеристикой. Эта характеристика является основным техническим документом автомобиля.

При выполнении тягового расчета необходимо:

1. *Определить мощность двигателя N_y и N_e^{max} .*
2. *Определить затраты мощности на преодоление сил сопротивления N_{ψ} .*
3. *Построить внешнюю характеристику двигателя.*
4. *Определить передаточные числа коробки передач и главной передачи.*
5. *Построить динамическую характеристику автомобиля.*

Основные данные для тягового расчета определяются индивидуальным заданием (приложение А), которое включает в себя:

- 1) *прототип автомобиля;*
- 2) *максимальную скорость для горизонтального участка дороги V_{max} ;*
- 3) *дорожные условия для горизонтального участка дороги, характеризующие коэффициентом сопротивления качению f ;*
- 4) *максимальный угол подъема, преодолеваемый на первой передаче α .*

В процессе расчета потребуются значения следующих параметров, которые необходимо предварительно найти в справочной литературе, а также в приложении И в соответствии с заданным прототипом: полный вес автомобиля с грузом G_a ; габаритные размеры автомобиля (ширина B и высота H); размеры шин в дюймах или миллиметрах ($b - d$); число передач вперед Z .

2.2 Определение мощности двигателя

Мощность, соответствующая максимальной скорости, находится с использованием формулы (2.1):

$$N_e^v = \frac{G_a \cdot f \cdot V_{max} + k \cdot F \cdot V_{max}^3}{10^3 \cdot \eta_{тр}} \quad (2.1)$$

где k – коэффициент обтекаемости, $\text{Нс}^2/\text{м}^2$ (для легковых автомобилей составляет 0,3–0,4; для бортовых – 0,6–0,7; вагонной компоновки (0,45–0,55); для скоростных – 0,2–0,25);

F – площадь лобового сопротивления (соответствует произведению коэффициента 0,77 на ширину (B) и высоту (H) автомобиля), м^2 ;

$\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии (для легковых автомобилей 4×2 равен 0,92–0,94; для грузовых автомобилей 4×2 – 0,85–0,88; для автомобилей 4×4 – 0,82–0,84).

Максимальная мощность двигателя определяется по формуле (2.2):

$$N_e^{max} = \frac{N_e^v}{a \cdot c_1 + a^2 \cdot c_2 - a_3} \quad (2.2)$$

где a соответствует отношению частоты вращения коленчатого вала при максимальной скорости к частоте вращения коленчатого вала при максимальной мощности двигателя (составляет 0,8–0,9 для двигателей с ограничителем частоты вращения; 1,1–1,25 для двигателей без ограничителя);

c_1 и c_2 – конструктивные коэффициенты (для карбюраторного двигателя c_1 равен c_2 и составляет единицу; для однокамерных дизелей $c_1 = 0,5$; $c_2 = 1,5$; для предкамерных дизелей $c_1 = 0,7$; $c_2 = 1,3$; для вихрекамерных дизелей $c_1 = 0,8$; $c_2 = 1,4$).

Частота вращения коленчатого вала при максимальной скорости рассчитывается по формуле (2.3):

$$n_d^v = \eta_{об} \cdot V_{max} \quad (2.3)$$

где $\eta_{об}$ – коэффициент оборотности двигателя (для легковых автомобилей составляет 11–15; для грузовых автомобилей – 15–19).

Частота вращения коленчатого вала при максимальной мощности двигателя находится по формуле (2.4):

$$n_d^N = \frac{n_d^v}{a} \quad (2.4)$$

2.3 Построение внешней характеристики двигателя

Внешняя характеристика двигателя представляет собой зависимость N_e и M_d от частоты вращения коленчатого вала, а также N_ψ от скорости движения автомобиля (рис. 2.1).

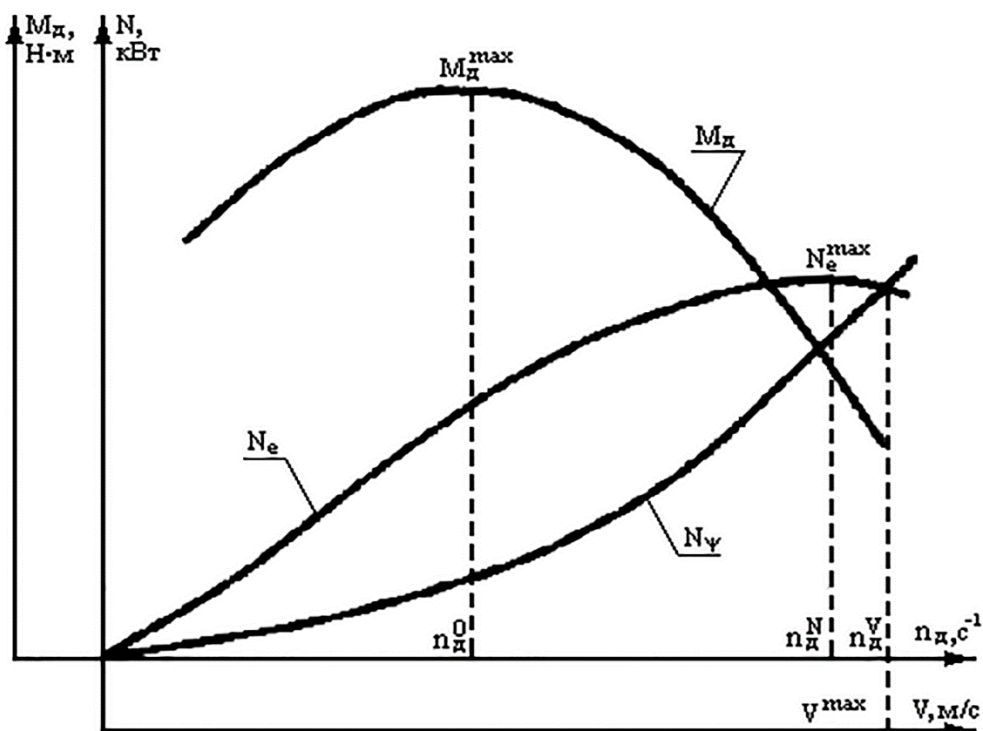


Рисунок 2.1 – Внешняя характеристика двигателя

Построение ведется согласно уравнениям (2.5) и (2.6):

$$N_e = N_e^{max} \cdot \left[c_1 \cdot \frac{n_d}{n_d^N} + c_2 \cdot \left(\frac{n_d}{n_d^N} \right)^2 - \left(\frac{n_d}{n_d^N} \right)^3 \right], \quad (2.5)$$

$$M_d = \frac{N_e \cdot 10^3}{n_d} \quad (2.6)$$

где n_d – текущее значение частоты вращения, принимаемое от нуля до n_d^v через интервал, составляющий 30–50 s^{-1} (не менее 10 значений).

По найденным значениям строятся кривые N_e и M_d (рис. 2.1) внешней скоростной характеристики двигателя.

На эту характеристику накладывается кривая затрат мощности на преодоление сил сопротивления движению N_ψ , определяемая по формуле (2.7):

$$N_{\psi} = \frac{G_a \cdot f \cdot V + k \cdot F \cdot V^3}{10^3 \cdot \eta_{\text{тр}}} \quad (2.7)$$

По десяти значениям n_d рассчитываем десять значений скорости – от нуля до V_{max} ; определяем соответствующие значения N_{ψ} и строим кривую в том же масштабе, что и кривую N_e .

Значения и шкала скорости наносится под шкалой n_d в соответствии с уравнением (2.8):

$$V = \frac{n_d \cdot r_k}{i_o}, \quad (2.8)$$

$$\text{где } i_o = \frac{n_d^V \cdot r_k}{V_{\text{max}}} \quad (2.9)$$

где V – линейная скорость движения, м/с;

r_k – радиус качения колеса, определяемый по уравнениям (1.19) или (1.20);

i_o – передаточное число главной передачи.

Полученные при расчетах значения крутящих моментов и мощности при различных значениях частоты вращения и скорости заносим в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Сводная таблица для построения внешней скоростной характеристики

Номер точки	$n_d, \text{с}^{-1}$	$V, \text{м/с}$	$N_e, \text{кВт}$	$M_d, \text{Нм}$	$N_{\psi}, \text{кВт}$
1					
2					
3					
и т. д.					

2.4 Определение передаточных чисел коробки передач

Передаточное число коробки передач на первой передаче определяется из условия, что максимальный динамический фактор должен быть больше максимального сопротивления дороги ψ_{max} , которое автомобиль должен преодолевать на первой передаче, а также из условия реализации касательной силы тяги P_k по сцеплению.

Первое условие имеет вид: $D_I(\text{max}) \geq \psi_{\text{max}}$

Или, раскрывая значение динамического фактора, получим:

$$\frac{M_{\text{д}}^{\text{max}} \cdot i_0 \cdot i_{\text{кI}} \cdot \eta_{\text{тр}}}{r_{\text{к}} \cdot G_{\text{а}}} \geq \psi_{\text{max}}, \quad (2.10)$$

$$\text{отсюда } i_{\text{кI}} = \frac{G_{\text{а}} \cdot \psi_{\text{max}} \cdot r_{\text{к}}}{M_{\text{д}}^{\text{max}} \cdot i_0 \cdot \eta_{\text{тр}}} \quad (2.11)$$

где $M_{\text{д}}^{\text{max}}$ – максимальный момент двигателя, определяемый по внешней характеристике;

ψ_{max} – соответствует $(f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha)$ и представляет суммарный коэффициент сопротивления дороги на первой передаче;

α – угол подъема (принимается по заданию).

Передаточные числа для остальных передач определяются в следующем порядке:

1) устанавливается знаменатель геометрической прогрессии с использованием формулы (2.12):

$$q = \sqrt[m-1]{\frac{1}{i_{\text{кI}}}} \quad (2.12)$$

где m – число передач переднего хода (принимается равным четырем).

2) находятся передаточные числа для второй и последующих передач из соотношений (2.13):

$$i_{\text{кII}} = q \cdot i_{\text{кI}}; i_{\text{кIII}} = q \cdot i_{\text{кII}} = q^2 \cdot i_{\text{кI}} \text{ и т. д.} \quad (2.13)$$

При этом четвертая передача принимается прямой.

2.5 Построение динамической характеристики

Динамический фактор для любой передачи и скорости движения можно вычислить из выражения (2.14):

$$D = \frac{P_{\text{к}} - P_{\text{w}}}{G_{\text{а}}} = \frac{\frac{M_{\text{д}} \cdot i_0 \cdot i_{\text{к}} \cdot \eta_{\text{тр}}}{r_{\text{к}}} - k \cdot F \cdot V^2}{G_{\text{а}}} \quad (2.14)$$

где $P_{\text{к}}$ – касательная сила тяги, кН;

P_{w} – сила сопротивления воздуха, кН.

Построение динамической характеристики выполняется в следующем порядке:

1) задаваясь значениями n_d (от нуля до n_d^v) через интервал, составляющий 30–50 c^{-1} (не менее 10 значений), рассчитываем скорость движения автомобиля для каждой передачи по формуле (2.15):

$$V = \frac{n_d \cdot r_k}{i_o \cdot i_k} \quad (2.15)$$

2) подставляя полученные значения скорости в формулу (2.14), находим значения динамического фактора для всех передач.

Полученные данные необходимо свести в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Сводная таблица для построения динамической характеристики

Номер точки	n_d, c^{-1}	$M_d, Нм$	I передача		II передача		III передача		IV передача	
			$V, м/с$	D	$V, м/с$	D	$V, м/с$	D	$V, м/с$	D
1										
2										
3 и т. д.										

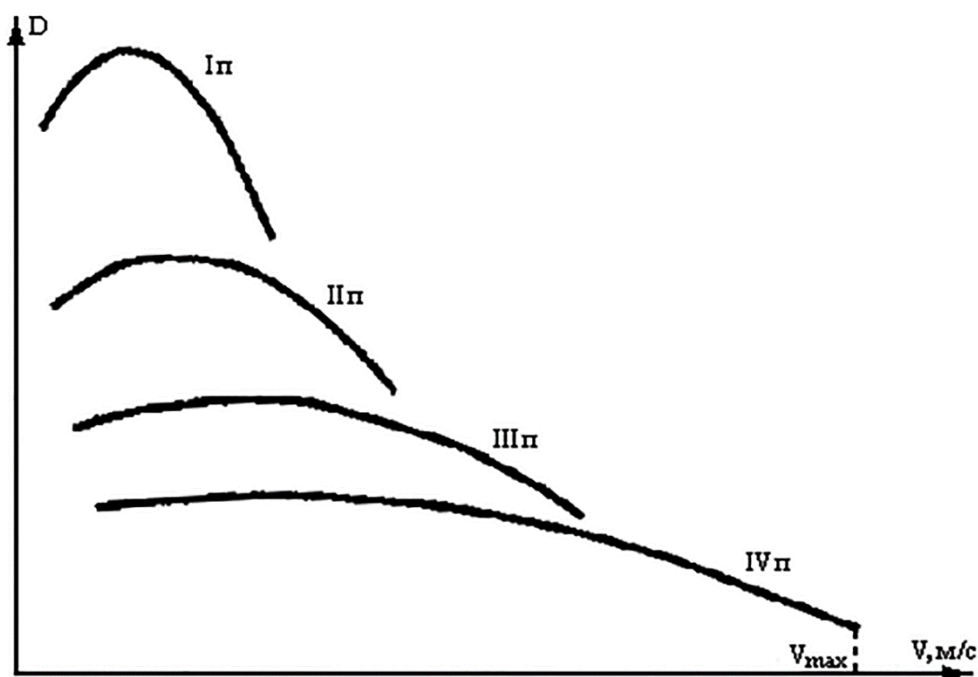


Рисунок 2.2 – Динамическая характеристика автомобиля

По данным таблицы 2.2 строится динамическая характеристика автомобиля: зависимость динамического фактора от скорости движения и номера передачи (рис. 2.2).

Контрольные вопросы:

1. Какова физическая сущность динамического фактора?
2. Что такое динамическая характеристика?
3. Объясните по внешней характеристике, почему скорость движения автомобиля не может быть выше V_{max} ?
4. На что затрачивается мощность, заключенная между кривыми N_ψ и N_e на внешней характеристике?
5. Как по динамической характеристике определить знаменатель геометрической прогрессии?
6. Определите наибольшие дорожные сопротивления ψ_{max} , которые может преодолеть автомобиль при движении на каждой передаче.
7. С какой частотой вращения коленчатого вала работает двигатель автомобиля при движении с максимальной скоростью по передачам?
8. Как при известном коэффициенте сопротивления перекачиванию f определить угол подъема дороги, который может преодолеть автомобиль при движении на данной передаче?
9. Какое сопротивление дороги может преодолеть автомобиль при движении на прямой передаче с максимальной скоростью?
10. Что называется критической скоростью движения автомобиля и чему она соответствует на динамической характеристике?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анилович, В. Ф. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов / В. Ф. Анилович, Ю. Т. Водолажченко. – М. : Машиностроение, 1976. – 253 с.
2. Болтинский, В. Н. Теория, конструкция и расчет тракторных и автомобильных двигателей / В. Н. Болтинский. – М. : Сельхозгиз, 1962. – 391 с.
3. Двигатели, автомобили и тракторы. Курсовое и дипломное проектирование : учебное пособие / под ред. А. П. Уханова. – Ульяновск : Ульяновский государственный технический университет, 2008. – 342 с.
4. Картошкин, А. П. Тракторы и автомобили. Тяговый расчет трактора с механической ступенчатой трансмиссией : учебно-методическое пособие / А. П. Картошкин, А. И. Фомичев. – СПб. : Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2018. – 75 с. // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/162654>.
5. Колчин, А. И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей : учебное пособие / А. И. Колчин, В. П. Демидов. – М. : Высшая школа, 2002. – 496 с.
6. Курлов, О. Н. Тяговый расчет трактора и автомобиля : учебное пособие / О. Н. Курлов. – Курган : Курганский государственный сельскохозяйственный институт, 1983. – 105 с.
7. Кутьков, Г. М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г. М. Кутьков. – М. : ИНФРА-М, 2014. – 506 с.
8. Лихачев, В. С. Испытание тракторов / В. С. Лихачев. – М. : Машиностроение, 1974. – 286 с.
9. Николаенко, А. В. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей / А. В. Николаенко. – М. : Колос, 1984. – 335 с.
10. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / под ред. В. А. Скотникова. – М. : Агропромиздат, 1986. – 383 с.
11. Поливаев, О. И. Теория трактора и автомобиля : учебник / О. И. Поливаев, В. П. Гребнев, А. В. Ворохобин. – СПб. : Лань, 2016. – 232 с.

12. Разработка эффективных мобильных технологических агрегатов для условий юга России : учебное пособие / В. Б. Рыков, С. И. Камбулов, Е. И. Трубилин, Н. В. Шевченко. – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет, 2019. – 265 с.

13. Романов, С. А. Двигатели внутреннего сгорания : учебное пособие / С. А. Романов. – Киров : Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. – 174 с.

14. Селиванов, Н. И. Технологические свойства колесных тракторов : учебное пособие / Н. И. Селиванов. – Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2019. – 308 с.

15. Скотников, В. А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / В. А. Скотников, А. А. Мащенский, А. С. Солонский. – М. : Агропромиздат, 1986. – 383 с.

16. Смирнов, М. А. Основы теории трактора : методические указания / М. А. Смирнов, В. В. Беляков. – СПб. : Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2008. – 56 с.

17. Теория автомобилей и тракторов : учебное пособие. – Караваево : Костромская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. – 48 с.

18. Тракторы : учебное пособие / А. П. Картошкин, И. Н. Усс, А. И. Бобровник [и др.]. – СПб. : Проспект Науки, 2018. – 736 с.

19. Тракторы и автомобили. Теория и эксплуатационные свойства : учебное пособие / под ред. О. И. Поливаева. – М. : КНОРУС, 2013. – 264 с.

20. Шарипов, В. М. Конструирование и расчет тракторов : учебник / В. М. Шарипов. – М. : Машиностроение, 2009. – 752 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ И ФОРМЫ ДОКУМЕНТОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Таблица А.1 – Исходные данные для выполнения курсового проекта

Последняя цифра номера зачетной книжки	Трактор		Автомобиль		Предпоследняя цифра номера зачетной книжки	Трактор			Автомобиль	
	тип трактора	номинальное тяговое усилие ($P_{тг}$), кН	прототип	максимальная скорость (V_{max}), км/с		номинальные обороты двигателя (n_n), мин ⁻¹	агрон	коэффициент сопротивления качению, f	максимальный угол подъема (α), град.	максимальное сопротивление
1	гусеничный	20	М-2140	35	1	стерня	0,10	18	0,02	
2	4К2	9	ВАЗ-2101	40	2	вспаханное поле	0,06	20	0,03	
3	4К4	14	ГАЗ-24	42	3	стерня	0,08	22	0,03	
4	гусеничный	30	УАЗ-469	30	4	вспаханное поле	0,12	24	0,04	
5	4К2	14	РАФ-2203	27	5	стерня	0,07	26	0,05	
6	4К4	50	ВАЗ-2121	32	6	вспаханное поле	0,10	28	0,04	
7	гусеничный	40	М-2140	38	7	стерня	0,15	19	0,03	
8	4К2	14	ВАЗ-2101	45	8	вспаханное поле	0,09	15	0,02	
9	4К4	30	ГАЗ-24	35	9	стерня	0,12	25	0,03	
0	гусеничный	60	УАЗ-469	38	0	вспаханное поле	0,14	27	0,04	



**ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет механизации сельского хозяйства

Кафедра транспортно-энергетических средств и механизации АПК

Направление подготовки 35.03.06 «Агроинженерия»

Направленность (профиль) подготовки «Технические системы в агробизнесе
(машины и оборудование в агробизнесе)»

Рег. номер _____

Дата регистрации:

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине «Тракторы и автомобили»

Выполнил

_____ (подпись)

_____ (и, о., фамилия, номер группы)

Руководитель

_____ (подпись)

_____ (и, о., фамилия, должность, ученая степень)

Благовещенск, 20__

Рисунок А.1 – Образец формы титульного листа курсового проекта

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет механизации сельского хозяйства

Кафедра транспортно-энергетических средств и механизации АПК

Направление подготовки 35.03.06 «Агроинженерия»

Направленность (профиль) подготовки «Технические системы в агробизнесе (машины и оборудование в агробизнесе)»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ТЭС и МАПК

« » января 202 г.

ЗАДАНИЕ
НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТА

_____ (фамилия, имя, отчество)

1. Тема работы Тяговый расчет трактора и автомобиля
2. Исходные данные к курсовому проекту: тип трактора – гусеничный; номинальное тяговое усилие – 20 кН; номинальные обороты двигателя – 1 850 об/мин; агрофон – стерня; коэффициент сопротивления качению – 0,10; прототип автомобиля – М-2140; максимальная скорость – 35 м/с; максимальный угол подъема – 18 град.; максимальное сопротивление дороги – 0,02.
3. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов): определить КПД трансмиссии трактора по передачам; построить диаграмму баланса мощностей; определить передаточные числа трансмиссии и скорости движения по передачам; построить регуляторную характеристику двигателя, лучевую диаграмму загрузки двигателя на передачах и тяговую характеристику трактора.
4. Содержание графической части курсового проекта: совмещенные диаграммы баланса мощности и тяговая характеристика трактора; регуляторная характеристика двигателя; лучевая диаграмма загрузки двигателя на передачах; внешняя характеристика двигателя; динамическая характеристика автомобиля.

Дата выдачи « » 202 г.

Срок сдачи законченной работы « » 202 г.

Руководитель _____

(подпись)

(Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению _____

(подпись)

« » 202 г.

Рисунок А.2 – Образец формы задания на курсовой проект

РЕФЕРАТ (образец)

Курсовой проект __ с., __ рис., __ табл., __ источника, __ приложений.

Объектом исследования являются тяговые и экономические качества проектируемого трактора и автомобиля.

Цель работы – углубить и конкретизировать знания по дисциплине «Тракторы и автомобили», научиться самостоятельно выполнять тяговый расчет трактора и автомобиля, строить диаграмму баланса мощности, определять передаточные числа трансмиссии и скорости движения по передачам. В процессе выполнения проекта необходимо построить регуляторную характеристику двигателя, лучевую диаграмму загрузки двигателя на передачах и тяговую характеристику трактора, обобщить научную литературу по теме.

В процессе работы выполнен тяговый расчет трактора _____, дана тягово-динамическая характеристика автомобиля _____.

В результате исследования были определены параметры КПД трансмиссии трактора; построена диаграмма баланса мощностей; определены передаточные числа трансмиссии и скорости движения по передачам. Построены регуляторная характеристика двигателя, лучевая диаграмма загрузки двигателя на передачах и тяговая характеристика трактора.

Курсовой проект выполнен в текстовом редакторе Microsoft Word.

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «Дальневосточный ГАУ»)

Факультет механизации сельского хозяйства _____
Кафедра транспортно-энергетических средств и механизации АПК _____
Направление подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» _____
Направленность (профиль) подготовки «Технические системы в агробизнесе (машины и оборудование в агробизнесе)» _____

**РЕЦЕНЗИЯ
НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

_____ (фамилия, имя, отчество обучающегося)

Тема курсового проекта: ТЯГОВЫЙ РАСЧЕТ ТРАКТОРА И АВТОМОБИЛЯ

Состав курсового проекта: пояснительная записка на _____ с., графический материал на _____ листах, приложения на _____ с.

№	Критерии оценки	Макс. балл	Факт. балл	Комментарии
1	Соответствие проекта избранной теме и заданию на проектирование	10		
2	Формулировка цели, задач, объекта и предмета исследования	10		
3	Полнота раскрытия проблемы	10		
4	Степень самостоятельности выполнения	10		
5	Представлен анализ полученных результатов (выводы)	10		
6	Наличие ссылок на первоисточники	10		
7	Соблюдение сроков сдачи и качество оформления проекта	10		
8	Количество и правильность оформления списка использованных источников	10		
9	Наличие графического материала	10		
10	Качество выполнения графического материала	10		
ИТОГО:		100		Оценка работы руководителем: _____

Шкала оценивания:	Сумма баллов	Оценка работы в баллах
	90–100	5 (отлично)
	70–89	4 (хорошо)
	50–69	3 (удовлетворительно)
	менее 50	2 (неудовлетворительно)

Руководитель
(должность, ученая степень, ученое звание) _____ «__» _____ 202 г.

Рисунок А.3 – Образец формы рецензии на курсовой проект

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ

Таблица Б.1 – Технические характеристики колесных тракторов

Параметры	Марки тракторов						
	Т-40	Т-40А	МТЗ-80	МТЗ-82	Т-150К	К-701	
Тяговый класс трактора, кН	9	9	14	14	30	50	
Максимальная мощность двигателя, кВт	29,4	29,4	58,8	58,8	121,3	220,0	
Номинальная частота вращения колесного вала, мин ⁻¹	1 600	1 600	2 200	2 200	2 100	1 900	
Эксплуатационная масса трактора, кг	2 750	2 930	3 000	3 180	7 750	13 500	
Колесная схема	4К2	4К4	4К2	4К4	4К4	4К4	
	передних колес в мм в дюймах	180-406 6,5-16	210-508 8-20	200-508 7,5-20	210-508 8-20	530-610	720-655
Размер шин	задних колес в мм в дюймах	300-965 11-38	300-965 11-38	330-965 15,5-38	330-965 15,5-38	530-610	720-665
	Передаточное число центральной передачи	3,47	3,47	3,42	3,42	4,44	5,00
Передаточное число конечной передачи	6,17	6,17	5,31	5,31	4,59	5,00	
Число передач переднего хода	7	7	9	9	16	16	

ПРИЛОЖЕНИЕ В

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГУСЕНИЧНЫХ ТРАКТОРОВ

Таблица В.1 – Технические характеристики гусеничных тракторов

Параметры	Марки тракторов						
	Т-70С	ДТ-75М	Т-150	Т-4А	Т-100М	Т-130	
Тяговый класс трактора, кН	20	30	30	40	60	60	
Максимальная мощность двигателя, кВт	51,5	66,2	110,3	95,6	79,4	102,9	
Номинальная частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹	2 100	1 700	2 000	1 700	1 070	1 070	
Эксплуатационная масса трактора, кг	4 400	6 660	7 230	8 350	11 700	12 400	
Подвеска остова трактора	полужесткая	упругая	упругая	полужесткая	полужесткая	полужесткая	
Число звеньев гусеницы, укладываемых на окружности ведущего колеса	11,4	13	14	13	13	13	
Шаг звена гусеничной цепи, мм	176	170	170	176	203	203	
Передаточное число центральной передачи	3,42	3,18	4,44	3,64	2,79	3,05	
Передаточное число эпитрихлического планетарного ряда	–	1,41	–	1,41	–	–	
Передаточное число конечной передачи	3,53	5,54	4,59	4,38	9,94	9,94	
Число передач переднего хода	8	7	12	8	5	8	

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ
КРИВОЙ БУКСОВАНИЯ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ

Таблица Г.1 – Данные для построения кривой буксования колесных тракторов

Р _{кр} , кН	Д _{кр}	Буксование, %		Р _{кр} , кН	Д _{кр}	Буксование, %		Р _{кр} , кН	Д _{кр}	Буксование, %	
		стерня	вспаханное поле			стерня	вспаханное поле			стерня	вспаханное поле
Т-40											
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,904	0,21	5,0	5,4	4,884	0,17	3,9	7,0	4,904	0,20	4,8	5,2
7,846	0,34	9,7	10,5	7,767	0,27	6,4	12,5	7,846	0,32	8,8	9,4
10,294	0,45	16,0	18,0	10,072	0,35	8,7	17,6	9,807	0,40	12,5	13,6
11,768	0,51	21,5	25,6	12,082	0,42	12,0	23,7	11,278	0,47	16,5	19,5
12,749	0,56	27,0	41,0	13,534	0,47	15,2	29,5	12,259	0,51	20,2	25,2
13,338	0,58	32,5	100,0	14,681	0,51	18,7	37,2	13,534	0,56	28,0	41,6
14,514	0,63	56,0	–	15,946	0,55	24,5	100,0	14,024	0,58	32,3	100,0
14,596	0,65	100,0	–	16,672	0,58	29,5	–	15,005	0,62	49,0	–
16,378	0,71	–	–	17,829	0,62	48,5	–	15,642	0,65	100,0	–
16,966	0,74	–	–	18,123	0,63	100,0	–	–	–	–	–
МТЗ-82											
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,904	0,16	3,9	4,5	14,416	0,19	4,7	6,7	19,614	0,17	3,3	4,3
8,336	0,28	8,0	10,2	28,126	0,37	10,5	17,2	37,659	0,32	8,0	9,7
10,788	0,36	12,2	16,5	35,737	0,47	16,6	31,0	50,604	0,43	16,5	25,6
12,749	0,43	16,8	23,0	38,777	0,51	21,2	57,0	58,842	0,50	26,2	56,0
14,220	0,48	22,0	32,0	40,307	0,53	24,4	100,0	62,373	0,53	31,8	100,0
15,887	0,53	30,5	53,8	44,082	0,58	39,6	–	68,649	0,58	48,0	–
16,378	0,55	34,0	100,0	47,172	0,62	100,0	–	72,866	0,62	100,0	–
17,849	0,60	49,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
18,731	0,63	100,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Т-150К											
К-700											

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ
КРИВОЙ БУКСОВАНИЯ ГУСЕНИЧНЫХ ТРАКТОРОВ

Таблица Д.1 – Данные для построения кривой буксования гусеничных тракторов

R _{кр} , кН	Д _{кр}	Буксование, %		R _{кр} , кН	Д _{кр}	Буксование, %		R _{кр} , кН	Д _{кр}	Буксование, %	
		стерня	вспаханное поле			стерня	вспаханное поле			стерня	вспаханное поле
Т-70С											
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19,516	0,52	1,6	3,7	19,594	0,30	0,6	2,2	24,612	0,35	0,8	2,1
21,772	0,58	1,8	5,8	26,136	0,40	1,0	3,5	31,912	0,45	1,0	3,2
23,635	0,63	2,0	10,2	32,657	0,50	1,2	6,5	38,993	0,55	1,3	5,8
25,518	0,68	2,2	18,7	41,827	0,64	2,3	22,3	45,357	0,64	2,2	17,5
27,028	0,72	2,6	36,0	45,063	0,69	5,3	62,0	49,623	0,70	4,8	53,2
27,460	0,73	2,7	100,0	45,701	0,70	6,3	100,0	50,408	0,71	5,7	100,0
33,775	0,90	10,4	–	49,643	0,76	18,8	–	55,311	0,78	22,0	–
36,423	0,97	31,5	–	52,958	0,81	62,5	–	58,156	0,82	63,0	–
36,874	0,98	100,0	–	53,546	0,82	100,0	–	58,842	0,83	100,0	–
Т-4А											
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34,128	0,43	2,0	3,3	49,625	0,43	1,5	3,0	48,839	0,40	1,4	2,2
39,718	0,50	2,3	4,5	58,646	0,51	2,0	5,8	58,548	0,48	1,6	4,0
44,426	0,56	3,1	7,0	63,255	0,55	2,5	8,2	68,355	0,56	2,1	8,2
53,252	0,67	5,6	23,9	69,139	0,60	3,5	13,7	75,710	0,62	3,0	14,7
56,390	0,71	7,9	50,0	78,260	0,68	5,7	37,5	84,144	0,69	5,1	39,6
57,861	0,73	9,2	100,0	81,790	0,71	7,0	100,0	86,694	0,71	6,3	100,0
64,334	0,81	20,0	–	89,734	0,78	12,0	–	93,951	0,77	11,9	–
69,041	0,87	46,5	–	95,520	0,83	25,4	–	102,483	0,84	57,5	–
70,905	0,89	100,0	–	98,855	0,86	100,0	–	106,112	0,87	100,0	–
Т-100М											
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34,128	0,43	2,0	3,3	49,625	0,43	1,5	3,0	48,839	0,40	1,4	2,2
39,718	0,50	2,3	4,5	58,646	0,51	2,0	5,8	58,548	0,48	1,6	4,0
44,426	0,56	3,1	7,0	63,255	0,55	2,5	8,2	68,355	0,56	2,1	8,2
53,252	0,67	5,6	23,9	69,139	0,60	3,5	13,7	75,710	0,62	3,0	14,7
56,390	0,71	7,9	50,0	78,260	0,68	5,7	37,5	84,144	0,69	5,1	39,6
57,861	0,73	9,2	100,0	81,790	0,71	7,0	100,0	86,694	0,71	6,3	100,0
64,334	0,81	20,0	–	89,734	0,78	12,0	–	93,951	0,77	11,9	–
69,041	0,87	46,5	–	95,520	0,83	25,4	–	102,483	0,84	57,5	–
70,905	0,89	100,0	–	98,855	0,86	100,0	–	106,112	0,87	100,0	–
Т-150											
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19,516	0,52	1,6	3,7	19,594	0,30	0,6	2,2	24,612	0,35	0,8	2,1
21,772	0,58	1,8	5,8	26,136	0,40	1,0	3,5	31,912	0,45	1,0	3,2
23,635	0,63	2,0	10,2	32,657	0,50	1,2	6,5	38,993	0,55	1,3	5,8
25,518	0,68	2,2	18,7	41,827	0,64	2,3	22,3	45,357	0,64	2,2	17,5
27,028	0,72	2,6	36,0	45,063	0,69	5,3	62,0	49,623	0,70	4,8	53,2
27,460	0,73	2,7	100,0	45,701	0,70	6,3	100,0	50,408	0,71	5,7	100,0
33,775	0,90	10,4	–	49,643	0,76	18,8	–	55,311	0,78	22,0	–
36,423	0,97	31,5	–	52,958	0,81	62,5	–	58,156	0,82	63,0	–
36,874	0,98	100,0	–	53,546	0,82	100,0	–	58,842	0,83	100,0	–

ПРИЛОЖЕНИЕ Е
СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ПО ПНЕВМАТИЧЕСКИМ ШИНАМ

Таблица Е.1 – Справочные данные по пневматическим шинам

Размер шины (<i>b</i> – <i>d</i>), мм (в скобках – в дюймах)	Грузоподъемность шины, Н
210–508 (8,3–20)	4 020–8 340
240–813 (9,5–32)	5 930–10 450
240–1 067 (9,5–42)	6 770–12 020
300–965 (11,2–38)	6 820–10 990
310–508 (11,2–20)	7 500–11 530
300–1 065 (11,2–42)	10 150–12 650
345–965 (13,6–38)	12 460–16 280
380–762 (14,9–30)	13 340–16 330
400–965 (15,5–38)	14 270–20 210
430–762 (16,9–30)	16 090–22 020
540–610 (21,3–24)	18 640–24 520
465–762 (18,4–30)	20 800–27 610
465–865 (18,4–34)	22 070–25 160
585–660 (23,1–26)	27 960–35 410
710–660 (28,1–26)	32 370–41 200

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж
РЕГУЛЯТОРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Таблица Ж.1 – Регуляторные характеристики тракторных двигателей

$n_{дв}, \text{мин}^{-1}$	$N_e, \text{кВт}$	$n_{дв}, \text{мин}^{-1}$	$N_e, \text{кВт}$	$n_{дв}, \text{мин}^{-1}$	$N_e, \text{кВт}$
Д-37М (Т-40, Т-40А)		Д-240 (Т-70С, МТЗ-80, МТЗ-82)		СМД-62 (Т-150К)	
1 240	25,74	1 300	40,44	1 400	99,26
1 300	26,40	1 400	44,12	1 600	110,29
1 400	28,90	1 600	48,53	1 800	116,18
1 500	29,41	1 800	52,21	2 000	119,12
1 600	30,00	2 000	55,88	2 100	121,32
1 680	0	2 200	58,82	2 280	0
–	–	2 350	0	–	–
СМД-60 (Т-150)		ЯМЗ-238НБ (К-700)		А-41М (ДТ-75М)	
1 400	130	1 100	136	1 100	49,26
1 600	145	1 300	165	1 200	54,19
1 800	153	1 500	187	1 300	57,35
2 000	158	1 700	207	1 400	60,07
2 100	0	1 900	220	1 500	62,50
–	–	2 150	0	1 700	66,18
–	–	–	–	1 900	0
А-03М (Т-4А)		Д-103 (Т-100М)		Д-130 (Т-130)	
1 020	64,41	600	46,54	600	58,31
1 300	77,13	700	56,1	700	71,84
1 450	84,85	800	63,75	800	84,56
1 600	93,31	900	70,81	900	95,44
1 700	95,15	1 000	77,94	1 000	100,74
1 810	0	1 070	79,41	1 070	102,94
–	–	1 120	0	1 120	0

ПРИЛОЖЕНИЕ И
ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ
ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Таблица И.1 – Некоторые технические данные отечественных легковых автомобилей

Марка автомобиля	Технические параметры			
	полный вес груженого автомобиля, Н	размеры шин (<i>b</i> – <i>d</i>)	лобовые размеры, мм	
			<i>B</i>	<i>H</i>
ЗАЗ-968А	11 600	(6,15 – 13)	1 570	1 400
М-2140	14 800	(165 – 330)	1 550	1 480
ИЖ-2715	15 900	(6,40 – 13)	1 600	1 760
ВАЗ-2101	13 550	(6,15 – 13)	1 611	1 440
ВАЗ-2121	15 500	(6,40 – 15)	1 680	1 590
ГАЗ-24	18 200	(7,35 – 14)	1 820	1 490
УАЗ-469Б	22 900	(8,40 – 15)	1 805	2 015
РАФ-2203	26 300	(185 – 355)	1 815	2 140

Учебное издание

*Сенников Вячеслав Анатольевич,
кандидат технических наук, доцент*

**ОСНОВЫ ТЕОРИИ И РАСЧЕТА
ТРАКТОРА И АВТОМОБИЛЯ**

Учебно-методическое пособие

Подписано в печать 25.12.2024 г.
Формат 60×90/16. Уч.-изд. л – 1,08. Усл. печ. л. – 2,65.
Тираж по требованию. Заказ 126.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет»

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии
Дальневосточного государственного
аграрного университета
675005, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86