

О.Н. ДИДМАНИДЗЕ, С.А. СЕРЕБРЯКОВ, Р.С. ФЕДОТКИН,
В.А. КРЮЧКОВ, Н.Н. ПУЛЯЕВ

**ОЦЕНКА ТЯГОВОГО ПОТЕНЦИАЛА
ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ ТРАКТОРОВ
МОЩНОСТЬЮ ОТ 500 Л.С.**



УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Москва, 2024



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА»**
(ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева)

О.Н. Дидманидзе, С.А. Серебряков, Р.С. Федоткин,
В.А. Крючков, Н.Н. Пуляев

ОЦЕНКА ТЯГОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ ТРАКТОРОВ МОЩНОСТЬЮ ОТ 500 Л.С.

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Москва 2024

УДК 631.3+631.372

Рецензенты:

академик РАН, доктор технических наук, профессор, директор ФГБНУ ФНАЦ ВИМ – Измайлов Андрей Юрьевич, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»,

доктор технических наук, доцент, доцент кафедры Автомобилей, тракторов и технического сервиса – Хакимов Рамиль Тагирович, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет».

Дидманидзе О.Н., Серебряков С.А., Федоткин Р.С., Крючков В.А., Пуляев Н.Н. Тяговый потенциал энергонасыщенных тракторов мощностью от 500 л.с. Учебное пособие / О.Н. Дидманидзе – М. : ООО «Сам Полиграфист», 2024. – 165 с.

ISBN 978-5-00227-327-0

В учебном пособии представлен аналитический обзор, анализ и обобщение тягово-экономических характеристик тракторов мощностью от 500 до 600 л.с., тяговый расчет тракторов заданной мощности с подбором двигателя оптимальных характеристик, сравнение тяговых характеристик реальных образцов тракторов.

Пособие предназначено для научных, инженерно-технических работников, занимающихся исследованиями, разработками, испытаниями и эксплуатацией тракторной техники, а также для студентов бакалавриата по направлениям 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», 35.03.06 «Агроинженерия», специалитета по направлению 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», магистратуры по направлениям 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», 35.04.06 «Агроинженерия», аспирантов по специальности 4.3.1 «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса».

ISBN 978-5-00227-327-0

© Дидманидзе О.Н., 2024

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА

имени К.А. Тимирязева, 2024

Содержание

Введение.....	8
1. Аналитический обзор и анализ тягово-экономических характеристик тракторов-аналогов мощностью от 500 до 600 л.с.	8
1.1. Обобщенные тягово-экономические показатели колесного сельскохозяйственного трактора производства ООО «Комбайновый завод «Ростсельмаш» РСМ-3535.....	8
1.2. Обобщенные тягово-экономические показатели колесного сельскохозяйственного трактора производства ООО «Комбайновый завод «Ростсельмаш» РСМ-3575.....	24
1.3. Обобщенные тягово-экономические показатели колесного сельскохозяйственного трактора производства CNH America LLC, 700 State St. Racine, WI, 53404 США New Holland T9.615.....	35
1.4. Обобщенные тягово-экономические показатели колесного сельскохозяйственного трактора производства CNH America LLC, 700 State St. Racine, WI, 53404 США New Holland T9.645.....	48
1.5. Обобщенные тягово-экономические показатели колесного сельскохозяйственного трактора производства John Deere Tractor Works, 3500 East Donald St., P.O. Box 270, Waterloo IA, 50704-0270, США John Deere 9R 540.....	58
1.6. Обобщенные тягово-экономические показатели колесного сельскохозяйственного трактора производства John Deere Tractor Works, 3500 East Donald St., P.O. Box 270, Waterloo IA, 50704-0270, США John Deere 9570R.....	68
1.7. Обобщенные тягово-экономические показатели колесного сельскохозяйственного трактора производства CNH America LLC, 700 State St. Racine, WI. 53404, США Case IH Steiger 500	78

1.8. Обобщенные тягово-экономические показатели колесного сельскохозяйственного трактора производства CNH America LLC, 700 State St. Racine, WI. 53404, США Case IH Steiger 550	92
1.9. Обобщенные выводы	102
2. Тяговый расчет трактора мощностью 500 и 600 л.с.....	103
2.1. Расчет веса трактора (диапазона весов трактора) исходя из требуемой энергонасыщенности с учетом диапазонов номинальной мощности	107
2.2. Определение величины номинального тягового усилия исходя из веса трактора	108
2.3. Определение конструктивного веса трактора.....	108
2.4. Определение нагрузок на оси трактора	109
2.5. Определение механического КПД трактора	109
2.6. Определение значения номинальной действительной скорости исходя из номинальной мощности двигателя.....	110
2.7. Выбор и обоснование типоразмера колес	111
2.8. Расчет передаточных чисел трансмиссии трактора	112
2.9. Определение касательной силы тяги	113
2.10. Определение силы сопротивления качению и силы на крюке.....	114
2.11. Расчет параметров буксования	115
2.12. Расчет и построение теоретической тяговой характеристики трактора	116
3. Сравнение тяговых характеристик реальных образцов тракторов мощностью от 500 л.с. с полученными теоретическими характеристиками тракторов мощностью 500 и 600 л.с.....	137
Заключение	156
Список литературы	159

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ВОМ – вал отбора мощности

ГСМ – горюче-смазочные материалы

КПД – коэффициент полезного действия

$E_{\text{тр}}$ – энергонасыщенность трактора

g_e – удельный расход топлива

$g_{\text{кр}}$ – удельный крюковой расход топлива

$G_{\text{п}}$ – нагрузка на шину (полуось)

$G_{\text{т}}$ – часовой расход топлива

$G_{\text{тз}}$ – вес трактора, приходящийся на заднюю ось

$G_{\text{тп}}$ – вес трактора, приходящийся на переднюю ось

$G_{\text{тр}}$ – эксплуатационный вес трактора

$G_{\text{трв}}$ – нагрузка ведущих колес от веса трактора

$G_{\text{тр.к}}$ – конструкционный вес трактора

f_k – коэффициент сопротивления качению

$i_{\text{р1}}$ – передаточное отношение трансмиссии на низшей передаче рабочего диапазона

$i_{\text{рз}}$ – передаточное отношение трансмиссии на высшей передаче рабочего диапазона

$i_{\text{тj}}$ – передаточные отношения на транспортном диапазоне передаточных чисел

$i_{\text{тр}}$ – передаточное отношение трансмиссии

i_{40} – передаточное отношение трансмиссии при скорости 40 км/ч

j – номер передачи внутри диапазона

$k_{\text{м}}$ – коэффициент запаса по моменту

$k_{\text{п}}$ – коэффициент перекрытия

k_G – коэффициент конструкционного веса

k_N – коэффициент передачи мощности на ветвь трансмиссии

k_{N1} – коэффициент передачи мощности на привод передних колес

$k_{\text{п}}$ – коэффициент запаса по частоте

k_{φ} – коэффициент податливости опорной поверхности для стерни

$M_{\text{д}}$ – крутящий момент на вале двигателя

$M_{\text{м}}$ – максимальный крутящий момент двигателя

m – число цилиндрических пар шестерен

N_e – эффективная мощность двигателя

$N_{\text{ен}}, N_{\text{н.э.}}$ – эффективная номинальная мощность двигателя

$N_{\text{кр}}$ – крюковая мощность

N_{max} – максимальная мощность двигателя

N_f – мощность сопротивления качения
 N_{40} – действительная мощность при 40 км/ч
 n – число конических пар шестерен
 n_d – частота вращения коленчатого вала двигателя
 $n_{др}$ – частота вращения коленчатого вала двигателя на регуляторной ветви характеристики
 n_m – частота вращения коленчатого вала двигателя при максимальном моменте
 n_n – номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя
 n_{xx} – максимальная частота вращения коленчатого вала двигателя на холостом ходу
 n_{min} – минимально устойчивая частота вращения вала двигателя на холостом ходу
 $N_{кр}$ – крюковая мощность
 $N_{кр\ max}$ – максимальная крюковая мощность
 P_k – касательная сила тяги
 $P_{кмj}$ – максимальная касательная сила тяги на j -ой передаче
 $P_{кн}$ – касательная сила тяги при номинальном тяговом усилии
 $P_{кmax}$ – максимально возможная касательная сила тяги
 $P_{кр}$ – сила тяги на крюке трактора
 $P_{кр.н}$ – номинальное тяговое усилие
 $P_{крз}$ – составляющая крюковой силы от заднего моста
 $P_{крп}$ – составляющая крюковой силы от переднего моста
 $P_{крj}$ – тяговое усилие на j -ой передаче
 $P_{кр40}$ – свободная крюковая нагрузка при скорости 40 км/ч
 P_f – сила сопротивления качению
 $P_{fз}$ – сила сопротивления качению заднего моста
 P_{fp} – сила сопротивления качению переднего моста
 p – число планетарных рядов
 q_i – знаменатель геометрической прогрессии по соседним передачам
 r_d – динамический радиус ведущего колеса
 r_k – статический радиус ведущего колеса
 V – максимальная скорость движения
 $v_{р1}$ – теоретическая скорость 1 передачи рабочего диапазона передач
 $v_{рз}$ – наивысшая теоретическая скорость рабочего диапазона передач
 v_T – теоретическая скорость движения (без учета буксования)
 $v_{тн}$ – пересчитанная теоретическая скорость движения на номинальном режиме работы двигателя
 $v_{T\ max}$ – максимальная теоретическая скорость движения
 $v_{тр}$ – действительная скорость движения (с учетом буксования)

$V_{\text{тр.н}}$, $V_{\text{тр.ном}}$ – номинальная действительная скорость, реализуемая с номинальным тяговым усилием
 $v_{\text{тр max}}$ – максимально возможная действительная скорость движения
 V_{max} – максимальная скорость движения передним ходом на рабочем диапазоне
 V_{min} – минимальная скорость движения передним ходом на рабочем диапазоне
 z – число передач, входящих в диапазон
 δ – коэффициент буксования
 $\delta_{\text{н}}$ – допустимое буксование движителей при номинальном тяговом усилии
 ζ – коэффициент, учитывающий потери энергии в трансмиссии на холостом ходу
 $\eta_{\text{к}}$ – принятое КПД конической пары шестерен
 $\eta_{\text{п}}$ – принятое КПД планетарного ряда
 $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии
 $\eta_{\text{трз}}$ – КПД ветви трансмиссии, приходящей к заднему мосту
 $\eta_{\text{трп}}$ – КПД ветви трансмиссии, приходящей к переднему мосту
 $\eta_{\text{ц}}$ – принятое КПД цилиндрической пары шестерен
 $\lambda_{\text{к}}$ – коэффициент использования веса трактора
 $\lambda_{\text{кз}}$ – коэффициент нагрузки заднего моста
 $\varphi_{\text{к}}$ – максимальный коэффициент сцепления движителей с почвой
 $\varphi_{\text{кн}}$ – коэффициент сцепления, допускаемый по агротехническим требованиям при номинальном тяговом усилии
 $\varphi_{\text{кр.н}}$ – коэффициент использования веса трактора при номинальном тяговом усилии
 $\omega_{\text{дн}}$ – угловая скорость коленчатого вала двигателя на номинальной частоте вращения
 $\omega_{\text{др}}$ – угловая скорость коленчатого вала двигателя на регуляторной ветви характеристики

Введение

Современный уровень развития сельскохозяйственного производства требует наличия тракторов, выполняющих не только тяговые и транспортные операции, но и способных выполнять функции энергетического средства, обладая достаточным набором источников энергии для задействования внешних машин-орудий [1, 2]. Тракторы высоких тяговых классов (от 6 и выше) как правило нацелены на создание преимущественно тягового усилия, так как подавляющее большинство машин под их тяговой потенциал выпускается в прицепном, или полунавесном исполнении [3]. Несмотря на это в последние годы появляется все больше прицепных машин с активными рабочими органами и электронными вспомогательными системами. Работа таких машин может быть обеспечена за счет привода через вал отбора мощности (который для высоких тяговых классов обычно не входит в базовую комплектацию) или путем передачи мощности посредством гидропривода, через гидрораспределитель и возможности гидросистемы, установленной на тракторе [4]. Все это дает дополнительную нагрузку на двигатель, помимо создаваемого в процессе работы тягового усилия, которая может достигать 1/3 от номинальной мощности двигателя [5]. Исходя из этого при проектировании нового трактора необходимо выбирать двигатель таким образом, чтобы оставался характерный запас по мощности при выполнении тяговых операций, которую можно отвести на привод активных органов находящейся в агрегате машины [6].

С этой целью в рамках данного учебного пособия показана возможность оценки тягового потенциала энергонасыщенных тракторов мощностью от 500 л.с. и способ получения на основе анализа полученных характеристик оптимальных показателей энергонасыщенности, тягово-сцепных и топливно-экономических свойств для тракторов 4К46 с мощностью двигателя от 500 с учетом основных положений методики тягового расчета колесных тракторов тяговой концепции, обладающих эталонной энергонасыщенностью $\mathcal{E}_{\text{тр.э}}$ равной 1,5-1,7 кВт/кН [6, 7].

1. Аналитический обзор и анализ тягово-экономических характеристик тракторов-аналогов мощностью от 500 до 600 л.с.

1.1. Обобщенные тягово-экономические показатели колесного сельскохозяйственного трактора производства ООО «Комбайновый завод «Ростсельмаш» РСМ-3535

1. Общие сведения:

1.1. Марка трактора

RSM

1.2. Модель трактора

3535

1.3. Область применения

Сельскохозяйственный

1.4. Тип ходовой системы

Колесная

1.5. Назначение

Тяговое энергетическое средство для выполнения операций по основной и предпосевной обработке почвы (пахота, боронование, культивация, посев, лущение, дискование, плантаж), как по технологиям традиционного земледелия, так и по технологиям no-till и minimal-till [8].

2. Обобщенная техническая характеристика трактора

2.1. Тяговый класс по ГОСТ 27021 – 86 8,0

2.2. Тяговое усилие, кН:

- расчетное по ГОСТ 27021 – 86; 95

- по результатам испытаний 100 (на стерне)

2.3. Скорости движения, км/ч:

переднего хода:

- наименьшая 2,5

- наименьшая действительная 3,6

- наибольшая транспортная 40,0

- наибольшая транспортная
действительная 36,0

заднего хода:

- наименьшая действительная 2,9

- наибольшая действительная 18,0

2.4. Скорость движения при 9,6

номинальном тяговом усилии, км/ч

2.5. Условный тяговый КПД 0,67

2.6. Колесная формула 4к4б

2.7. компоновка с шарнирно-сочлененной рамой

2.8. Схема поворота За счет складывания полурам

2.9. Число передач вперед/назад 16/4

2.10. Наличие коробки диапазонов С коробкой диапазонов

2.11. Габаритные размеры трактора, мм:

а) длина (без балласта) 7606

б) длина с передними балластными
грузами 8171

в) длина с навесной системой 8185

г) ширина по наружным габаритам 3277

д) ширина по колесам одинарным	3360
е) ширина со сдвоенными колесами	5215
ж) высота (по верхней точке кабины)	3920
з) база	3900
и) колея на одинарных шинах	2240
к) колея на сдвоенных шинах	4240
2.12. Масса трактора, кг	
а) конструкционная без колес и балластных грузов	15 063
б) эксплуатационная с одинарными колесами	22 745
в) эксплуатационная со сдвоенными колесами	25 465
г) максимальная эксплуатационная	24 340
2.13. Дорожный / агротехнический просвет, мм	
2.14. Наименьший радиус поворота, м	4,95
2.15. Двигатель	
2.15.1. Тип двигателя	Дизельный, 6-цилиндровый с турбонаддувом и промежуточным охлаждением наддувочного воздуха
2.15.2. Марка и модель	Cummins QSX15
2.15.3. Объем, л	15
2.15.4. Мощность по ГОСТ 18509-88, кВт (л.с.)	
- номинальная	399 (542) при номинальной частоте вращения
- максимальная	426 (579)
- эксплуатационная	371 (504)
- при номинальном тяговом усилии	279,5 (379,9)
2.15.5. Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	2100
2.15.6. Частота вращения при номинальном тяговом усилии, мин ⁻¹	1944
2.15.7. Коэффициент запаса крутящего момента	1,35 (при 1400 мин ⁻¹)
2.15.8. Номинальный крутящий момент, Н м	1814 (при 2100 мин ⁻¹)
2.15.9. Максимальный крутящий момент, Н м	2449 (при 1400 мин ⁻¹)
2.15.10. Крутящий момент при номинальном тяговом усилии, Н м	1373
2.15.11. Удельный расход топлива, г/кВт. ч. (г/л.с.ч.)	
- при эксплуатационной мощности	326 (240)

2.15.12. Внешняя скоростная характеристика



2.15.13. Выброс вредных веществ с отработавшими газами

2.15.14. Система пуска

2.15.15. Система впрыска

2.15.16. Цифровые системы

2.16. Силовая передача

2.16.1. Муфта сцепления

2.16.2. Коробка передач

Tier 4 Interim / Stage IIIВ

Электростартерная

Распределенная – Common rail с насос-форсунками и электронным блоком управления

Электронный модуль управления с функцией программирования с поддержкой подключения по CAN-шине для снятия диагностических данных

Функциональная, многодисковая, мокрая, работающая в масляной ванне

Тип Powershift

Модель Caterpillar 16x4

Механическая с шестернями постоянного зацепления, с переключением передач на ходу без разрыва потока мощности в зависимости от нагрузки и скорости движения при помощи мокрых многодисковых муфт, работающих в масляной ванне.

Механизм управления – электрогидравлический.

16 передач

3 диапазона переднего хода и 1 диапазон заднего хода.

Диапазонная часть синхронизированная.

С электрогидравлическим механизмом управления.

Режим работы – автоматическая:

- переключение передач под нагрузкой без разрыва потока мощности;
- автоматическое переключение передач;
- программируемое переключение.

Позволяет из нейтрального положения заранее установить любую передачу, вплоть до десятой. Трактор начнет работу в соответствии с предварительно выбранной передачей.

2.16.3. Теоретические скорости движения

- вперед:
2,5 – 40 км/ч

- назад:

...

Диаграмма распределения скоростей движения по передачам и диапазонам



Диапазоны скоростей с трансмиссией Powershift

2.16.4. Привод переднего и заднего моста

2.16.5. Тип моста

2.16.6. Главные передачи заднего и переднего моста

2.16.7. Дифференциал заднего моста

2.16.8. Дифференциал переднего моста

2.16.9. Конечные передачи мостов

2.17. Ходовая система

2.17.1. Шины:

- основной комплектации

2.17.2. Тормоза

2.17.3. Рулевое управление

Карданный.

Отдельная балка с коническим редуктором и межколесным дифференциалом

Геликоидальная передача

Шестеренный, блокируемый посредством фрикционной муфты с принудительной блокировкой.

Шестеренный, блокируемый посредством фрикционной муфты с принудительной блокировкой.

Одноступенчатые, планетарного типа

Колесная, передние и задние колеса ведущие.

800/70R38

Сдвоенные дисковые с сухими суппортами

Ручное, гидрообъемного типа за счет управления цилиндрами полурам, без механической обратной связи.

(опция) Автоматическое управление РСМ Агротроник Пилот 1.0.

	Работает по сигналу GPS/ГЛОНАСС
	При использовании на 10% увеличивает производительность трактора за счет минимизации пропусков и перекрытий при обработке почвы, а также позволяет исключить «загущение» посевов при работе на посевных комплексах.
	Рулевое управление совместимо с установкой как электрического подруливающего устройства, так и более точного руления при помощи гидравлического клапана. Последний вариант доступен для заказа в качестве предустановленного оборудования.
	Предустановленный на заводе гидравлический автопилот обладает широким функционалом для обеспечения технологии точного земледелия (включая функции ISOBUS, поддержку функций RTK и RTX, картирование и дифференцированное внесение семян/удобрений, авторазворот).
2.17.4. Оказываемое давление на почву, кг/см ²	0,8
2.18. Система навески	
2.18.1. Давление рабочей жидкости в гидронавесной системе, МПа (кг/см ²)	19,7 (194) - номинальное
2.18.2. Тип	Closed Center Load Sensing System (система с закрытым центром, управляемая нагрузкой)
2.18.3. Гидронасос	Аксиально-поршневой
2.18.4. Навесные устройства	(опционально) Заднее, трехточечного типа CAT IV с грузоподъемностью на оси подвеса 6800 кг (замеренные на расстоянии 610 мм от оси подвеса), оборудованные быстросоединяющимися захватами.
2.18.5. Наличие гидравлических распределителей	Передний кронштейн для балластных грузов. Электрогидравлический секционный распределитель для заднего навесного устройства, 5-и позиционный (подъем, опускание, нейтральное положение, плавающее положение и постоянный расход регулируемый по времени – расход до 114 л/мин на контур). Количество секций: - 4 пары гидромурфт 1/2 дюйма с пропорциональным регулированием; 2 муфты 1 дюйм и муфта 3/8 дюйма обратного слива без давления (для пневматических сеялок);

- (опционально) 6 дополнительных пар гидромуфт 1/2 дюйма.

Функция контроля пробуксовки, которая отвечает за автоматическое управление заглублением навесного орудия в зависимости от коэффициента буксования колес трактора. Данная особенность очень сильно облегчает работу механизатора в тяжелых почвенных условиях – повышенная влажность почвы, холмистость, большая глубина обработки и т.д.

- (опция) Power Beyond. Данный комплект требуется для обеспечения нормальной работы некоторых посевных комплексов (например, с гидроприводом высевающего аппарата бункера или автоматически подруливающих колес сеялки). Функция Power Beyond обеспечивает максимальный гидравлический поток от гидравлического насоса напрямую к потребителю (к сеялке), минуя гидравлический распределитель. Включает в себя пару муфт 1 дюйм и муфту для линии LS.

2.18.6. Производительность насоса,
л/мин

- штатно

208

- опционально

303 (High Flow)

2.19. Рабочее и вспомогательное
оборудование

2.19.1. Кабина

Двухместная кабина со встроенным защитным каркасом, герметичная, повышенной комфортности Deluxe (включает полуактивное сиденье оператора, сиденье для инструктора, электропривод зеркал заднего вида, трубу для крепления мониторов, охлаждаемый ящик, аудиоподготовку, заднюю солнцезащитную шторку). Рассчитана на обеспечение комфорта для работы по 10-12 часов в смену.

Настраиваемая по вылету и наклону рулевая колонка, консоль управления трактором с многофункциональным джойстиком, цветной сенсорный монитор 8,7” с интегрированной шкалой приборов, охлаждаемый бардачок (под бутылку 1,5 л), множество ниш для хранения емкостей с напитками (от 0,3 л до 2

л), аудиоподготовка, зеркала заднего вида с электроприводом и подогревом.

2.19.2. Сиденье водителя

Полуактивное пневматическое сиденье, с 11 настройками и регулировками.

2.19.3. Приборы

Большой сенсорный жидкокристаллический дисплей 8,7” высокой четкости показывает оператору необходимую информацию о работе всех систем трактора и включает специальные функции: (электронная приборная панель; производительность и расход топлива; нагрузка на двигатель; данные с датчиков, калибровка; сервисные интервалы; настройка гидравлических распределителей и заднего навесного устройства; настройка разворотной полосы; встроенные MP3-медиаплеер и радио; встроенный GPS-трекер). Двадцать шесть цветных индикаторов и ламп аварийной сигнализации обеспечивают рабочую информацию о состоянии двигателя (давление в системе смазки двигателя, температура охлаждающей жидкости, частота вращения коленчатого вала двигателя), информацию о передаточном механизме (какая передача, скорость трактора, буксование) и другую информацию или выдают предупреждение о сбоях в системе, при этом звучит сигнал тревоги. Функция автоматического выключения двигателя автоматически в течение 30 секунд выключает двигатель при следующих условиях: низкое давление масла в двигателе или трансмиссии, критически высокая температура охлаждающей жидкости или впускного коллектора, низкий уровень охлаждающей жидкости двигателя, низкое напряжение электрической зарядной системы. Можно узнать часовой расход топлива, измерить расстояние, площадь, расход топлива на гектар, температуру воздуха в кабине и др. Дисплей русифицирован.

2.19.4. Дополнительные системы

Радар скорости – предназначен для отображения действительной скорости движения трактора, благодаря чему оператор может видеть коэффициент буксования колес в реальном времени.

	<p>Встроенная фирменная платформа агроменеджмента и контроля операций агромашин РСМ Агротроник (в составе – датчики уровня топлива, GPS-трекер). Возможности системы: контроль за перемещением и работой трактора; анализ параметров работы; контроль заправок/слива топлива; информирование об ошибках. Отслеживать все параметры работы можно с компьютера либо через приложение на смартфонах Android OS / IOS.</p>
2.19.5. Отопитель и вентиляционная установка	<p>Отопитель и климат-система. Охлаждаемый бардачок.</p>
2.19.6. Средства управления и функции	<p>Рулевое колесо для изменения направления движения. Круиз-контроль для автоматического поддержания путевой скорости поддерживает частоту вращения двигателя на установленном значении оборотов. Эта функция позволяет работать на оптимальных режимах двигателя, независимо от положения рычага управления дроссельной заслонкой. Подлокотник с интегрированной панелью управления. На подлокотник также вынесены кнопки круиз-контроля, активации автоматического режима коробки передач, включения/выключения блокировки дифференциалов, подъема/опускания трехточечной навески (опция), включения ВОМ (опция). Многофункциональный джойстик, отвечающий за переключение передач, выбор режимов работы коробки передач, управление двумя секциями гидрораспределителя, управление задней навеской или разворотной полосой.</p>
2.19.7. Валы отбора мощности (опция)	<p>Задний независимый 1000 мин⁻¹. Диаметр 44,5 мм, 20 шлицев</p>
2.19.8. Тягово-сцепные устройства	<p>Тяговый брус трактора с максимально допустимой вертикальной нагрузкой 4082 кг и пальцем 51 мм (2 дюйма, CAT IV) с автоматической сцепкой обеспечивает наиболее эффективную работу с прицепными орудиями.</p>

2.19.9. Привод тормозов прицепов	(Опция) Усиленный тяговый брус с максимально допустимой вертикальной нагрузкой 5443 кг и пальцем 70 мм (CAT V). Отсутствует. Трактор не предназначен для агрегатирования с ним тракторных прицепов.
2.20. Электрооборудование	
2.20.1. Ток и напряжение	Постоянный, 12В
2.20.2. Генератор	Переменного тока 12В, 160А (мощность 1,9 кВт; (опция) 180 А (мощность 2,2 кВт)
2.20.3. Аккумуляторная батарея	3 шт., 12 В необслуживаемые, 950 ССА (950А – максимальный пусковой ток при холодном запуске двигателя)
2.20.4. Освещение	4 фары над радиаторной решеткой, 2 передние рабочие фары на щитках, 4 задние рабочие фары на щитках, 4 рабочие фары, установленные на крыше кабины
2.20.5. Дополнительные приспособления	Реверсивный вентилятор для автоматической очистки радиаторов от пыли и стерни путем изменения направления лопаток, выключатель массы для отсоединения питания трактора от аккумуляторов
2.21. Несущая система	Рамная, шарнирно-сочлененная, с возможностью копирования рельефа поля – до 30 градусов вверх-вниз.
2.22. Топливная система и ГСМ	
2.22.1. Двигатель	
а) топливо	Дизельное топливо сорт D класс 1 или 2
б) моторное масло	SAE 15W-40 с API классификацией SE или CF-4 для большинства применений
2.22.2. Трансмиссии:	
а) масла для коробки передач и гидросистемы навески	Донакс ТД, ТДХ
б) масла для ведущих мостов	85W140 GL5 при температуре выше 0°C (32°F) или 80W90 GL5 при температуре ниже 0°C (32°F).
г) пластичные смазки	NLGI 11Литий, Молибден
2.22.3. Емкость топливного бака, л:	
- заявленная;	1325
- замеренная	1405
2.22.4. Наличие топливного фильтра	Установлен на двигателе в комплекте с сепаратором воды

3. Основные экономические показатели [9]

3.1. Производительность в час основного времени: 5,39...21,2 га/ч:

- на основной безотвальной обработке стерни озимой пшеницы с плугом ПЧП-7,0 КМ – 5,39 га/ч;
- оборотных плуг с шириной захвата 4,6 – 6 га/ч;
- на дисковании зяби с бороной Krause 8200 – 10,88 га/ч;
- на культивации пара на глубину 8...10 см с агрегатом СП-16+2КПС-4+2КПС-5У+18БЗСС-1,0 – 21.12 га.

3.2. При сравнении с трактором мощностью 220 л.с. выигрыш по времени — практически в два раза. При этом сокращается расход топлива и количество проходов по полю. Вместимость топливных баков позволяет обеспечить автономную работу на 20 часов (2 смены).

3.3. Трактор агрегируется со всеми прицепными гидрофицированными и негидрофицированными, серийно выпускаемыми сельскохозяйственными машинами и орудиями, предназначенными для работы в агрегате с тракторами класса 5.

4. Техническое обслуживание [9]

4.1. Удельная суммарная трудоемкость технического обслуживания – 0,073 чел.-ч/м.ч.

4.2. Трудоемкость ежесменного технического обслуживания – 0,58 чел.-ч.

4.3. Сервисное обслуживание трактора не налажено.

4.4. Удобство проведения технического обслуживания удовлетворительное, за исключением смены масла в ведущих мостах трактора из-за отсутствия приспособлений для слива и средств для механизированной заливки масел в мосты.

4.5. Все точки смазки доступны с уровня земли. Во всех резервуарах, где есть жидкости вмонтированы смотровые визиры. Заливные горловины топливных баков находятся с обеих сторон трактора и доступны с уровня земли. Воздушные фильтры доступны с земли. Боковые панели капота удобно открываются вверх для облегчения доступа к ремням, генератору, стартеру, компрессору кондиционера. Передняя решетка удобно открывается наружу, обеспечивая легкий доступ к блоку радиаторов, который в свою очередь раскладывается, как книга, предоставляя к обслуживанию конденсатор испарителя кондиционера, радиатор охлаждения масла гидравлической системы, радиатор охлаждающей жидкости двигателя, радиатор охлаждения топлива и интеркулер.

5. Тяговая характеристика

Экспериментальная тяговая характеристика трактора РСМ 3535 отсутствует. Ниже приведена теоретическая тяговая характеристика, полученная в результате расчета по зависимостям, указанным в разделе 2, а

также с учетом принципов снятия и построения характеристик двигателя [10-14] и общих принципов расчета тяговой динамики тракторов [15, 16].

Начальные условия взяты на основании имеющихся данных из подраздела 1.1.

В качестве массы, принятой для расчета, была взята максимальная эксплуатационная – 24 340 кг. Такое решение было принято для удобства сравнения с более старшей моделью трактора семейства – 3575 – для которого достоверные значения эксплуатационной массы отсутствуют, а также для удобства сравнения с трактором, для которого выполняется основной тяговый расчет, который проводится по максимальной массе.

Граничные условия следующие [17-20]:

- $\varphi_k = 0,7$ – коэффициент сцепления движителей с почвой на сухой стерне;

- $\varphi_{кр.н} = 0,4$ – коэффициент использования веса трактора;

- $f_k = 0,11$ – коэффициент сопротивления качению;

- $\delta_n = 0,14$ – допустимое буксование движителей;

- $\eta_{тр} = 0,87$ – ориентировочное значение КПД трансмиссии.

5.1. Теоретическая внешняя скоростная характеристика двигателя, полученная расчетным путем, приведена на рис. 1.

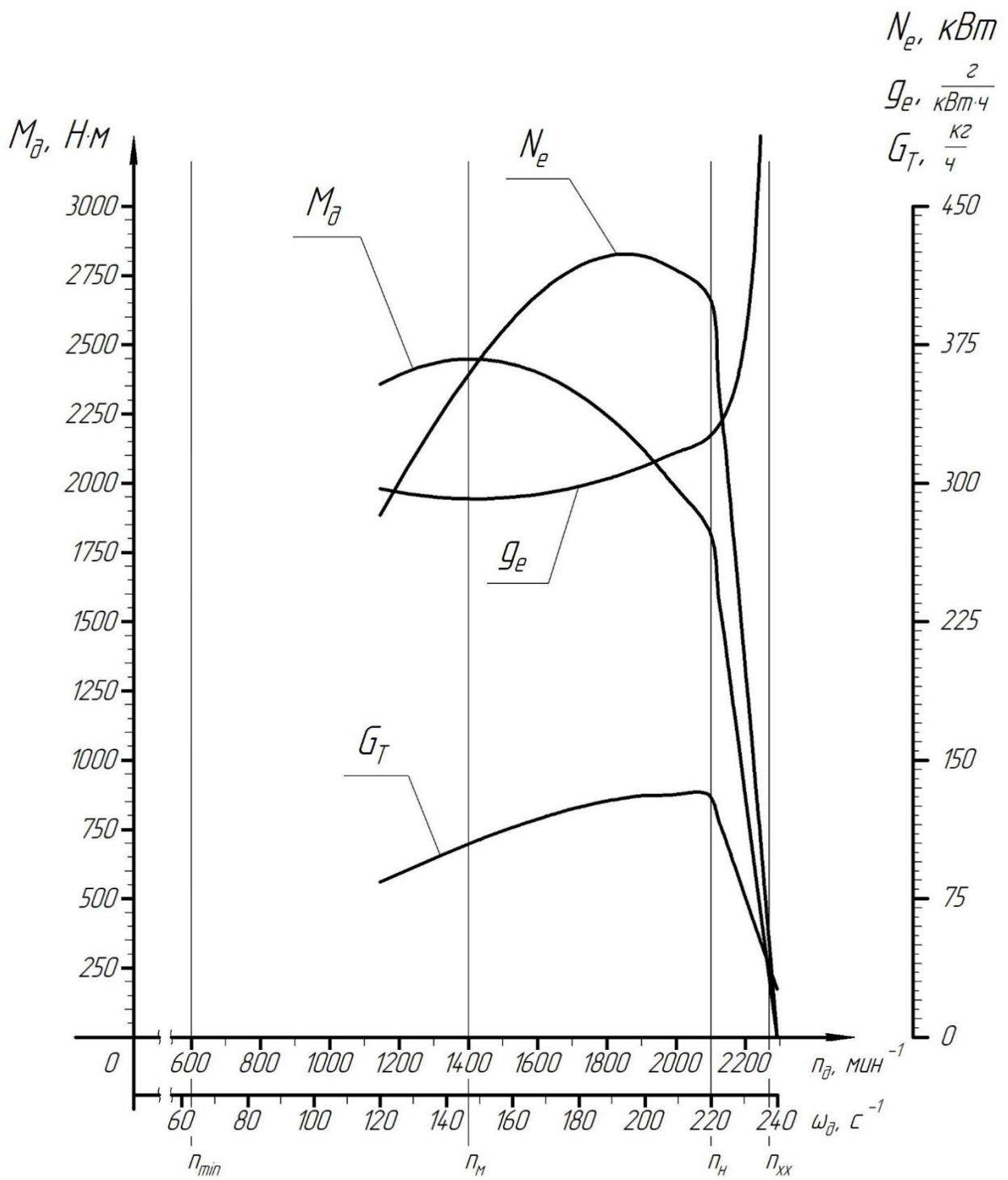


Рисунок 1 – Теоретическая ВСХ двигателя трактора РСМ 3535

5.2. Теоретическая кривая буксования, полученная расчетным путем, приведена на рис. 2 [6, 7, 21].

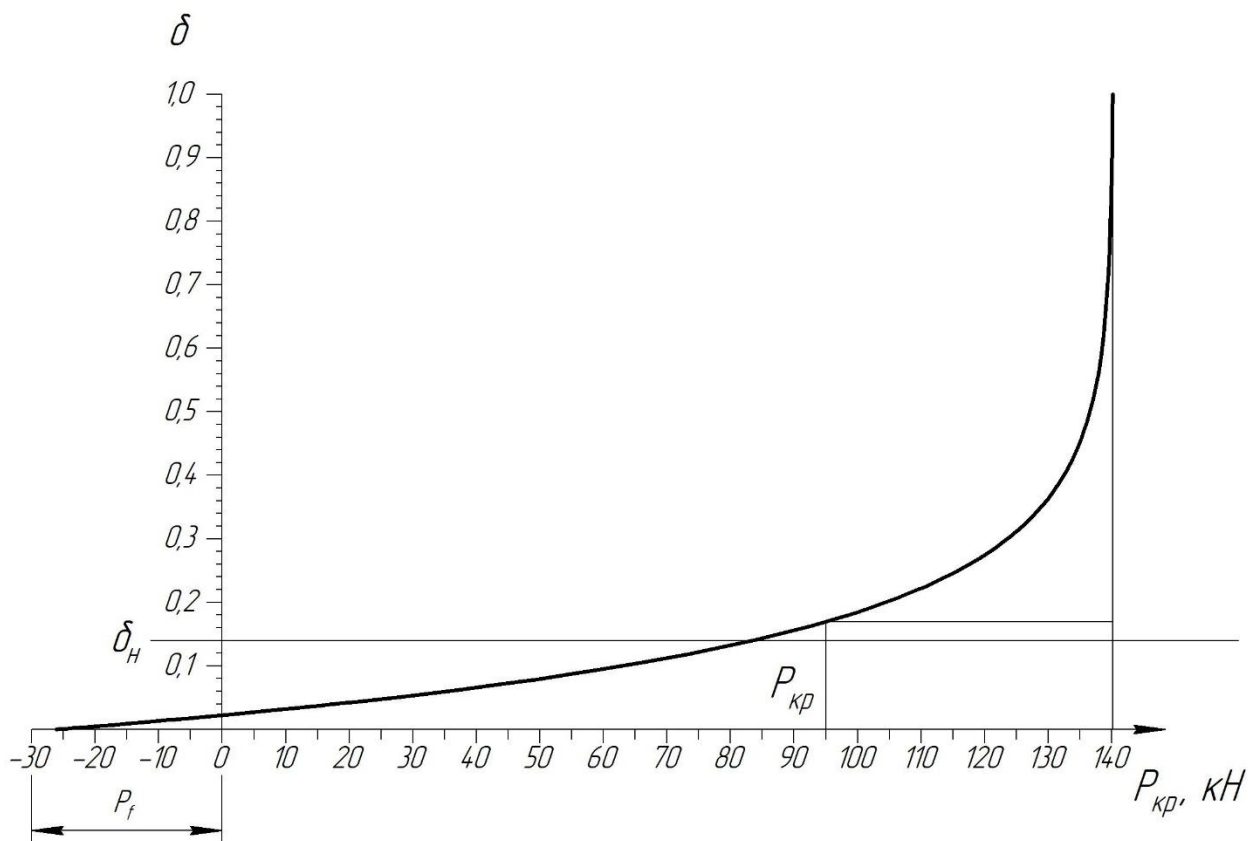


Рисунок 2 – Теоретическая кривая буксования трактора РСМ 3535

5.3. Теоретическая тяговая характеристика трактора приведена на рис. 3.

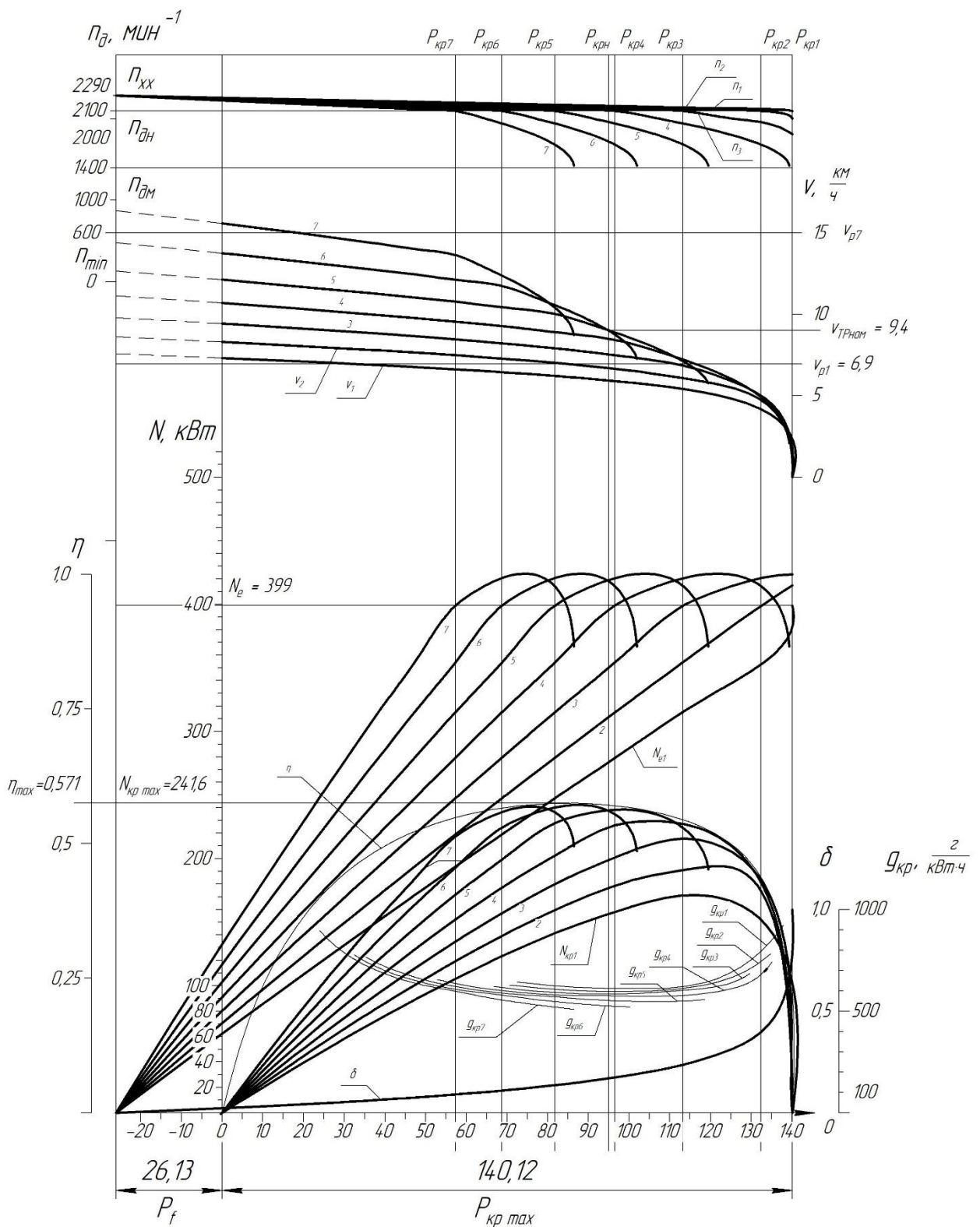


Рисунок 3 – Теоретическая тяговая характеристика трактора РСМ 3535

Расчет показывает, что энергонасыщенность трактора $\mathcal{E}_{тр}$ составляет 1,7.

При заданных условиях максимально возможная касательная сила тяги составляет $P_{кmax} = 166,22$ кН, а сила сопротивления качению $P_f = 26,13$ кН.

Знаменатель геометрической прогрессии по соседним передачам и коэффициент перекрытия соответственно равны $q_i = 0,88$, $k_{\text{п}} = 1,14$.

Максимальный тяговый КПД равен 0,571.

Максимальная крюковая мощность составляет $N_{\text{кр max}} = 241,6$ кВт и реализуется на 6-ой передаче рабочего диапазона.

Номинальное тяговое усилие реализуется в районе 4 передачи рабочего диапазона (середина диапазона рабочих передач), что соответствует номеру передач 6 из 16 всего передаточного ряда и составляет $P_{\text{кр.н}} = 95$ кН, при этом действительная скорость движения при номинальном тяговом усилии составляет 9,4 км/ч.

Подборный анализ тяговой характеристики трактора РСМ-3535 приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Результат анализа тяговой характеристики трактора РСМ-3535

$m_э$, кг	Передача	Сравниваемые параметры при условии						
		$N_{\text{кр}}$, кВт	$P_{\text{кр}}$, кН	v , км/ч	δ , %	$g_{\text{кр}}$, г/кВт ч	G_t , кг/ч	
Для номинального тягового усилия $P_{\text{кр.н}} = 95$ кН (выбрано в соответствии с ГОСТ 27021-86 по зависимости $P_{\text{кр ном}} = 3,92 \cdot 10^{-3} m_э$, что равноценно $P_{\text{кр ном}} = 9,81 m_э \varphi_{\text{кр.н}} \cdot 10^{-3}$, где $\varphi_{\text{кр.н}} = 0,4$)								
24 340	1	156,5	–	5,94	0,169	612,9	95,9	
	2	177,0		6,70		596,7	105,6	
	3	198,9		7,54		583,7	116,1	
	4	224,6		8,51		575,3	129,2	
	5	238,0		9,02		552,1	131,4	
	6	237,5		9,00		525,5	124,8	
	7	–		–		–	–	
	Для наибольшей мощности на передаче							
	1	171,3	115,9	5,31	0,250	628,8	107,7	
	2	194,2	121,9	7,30	0,288	644,3	125,1	
	3	215,6	113,4	6,84	0,238	603,2	130,1	
	4	229,6	105,4	7,85	0,204	573,0	131,6	
	5	238,6	98,5	8,72	0,180	549,3	131,1	
	6	242,2	87,5	9,96	0,150	536,2	129,9	
	7	241,0	76,0	11,42	0,124	534,1	128,7	
	Для максимальной мощности $N_{\text{кр max}} = 241,6$ кВт							
	6	–	87,55	9,96	0,150	536,2	129,5	
	Для допустимого буксования δ_n							
	1	152,9	91,6	6,02	0,140	614,6	94,0	
	2	172,9		6,79		597,8	103,4	
	3	194,4		7,65		584,3	113,6	
	4	220,1		8,64		575,7	126,7	
	5	236,6		9,30		555,9	131,5	
	6	241,0		9,47		529,9	127,7	
	7	–		–		–	–	
	Номинальное значение при передаче							

m_3 , кг	Передача	Сравниваемые параметры при условии					
		$N_{кр}$, кВт	$P_{кр}$, кН	v , км/ч	δ , %	$g_{кр}$, г/кВт ч	G_T , кг/ч
	1	0,0	140,1	0,00	1,000	∞	∞
	2	174,6	132,4	1,32	0,399	744,8	130,0
	3	215,7	113,3	1,90	0,237	603,0	
	4	226,2	96,5	2,34	0,174	575,0	
	5	227,8	81,7	2,79	0,136	571,0	
	6	224,4	68,7	3,26	0,110	579,6	
	7	217,3	57,3	3,79	0,090	598,4	
	Диапазон тяговых усилий и скоростей, соответствующих минимальному расходу топлива						
	7-6	–	75,3 ... 100,2	11,52 ... 8,02	0,122 ... 0,185	510,4 (+5%) 535,9	–

1.2. Обобщенные тягово-экономические показатели колесного сельскохозяйственного трактора производства ООО «Комбайновый завод «Ростсельмаш» РСМ-3575

1. Общие сведения

1.1 Марка трактора: RSM

1.2 Модель трактора: 3575

1.3 Область применения: Сельскохозяйственный

1.4 Тип ходовой системы: Колесная

1.5 Назначение: Тяговое энергетическое средство для выполнения операций по основной и предпосевной обработке почвы (пахота, боронование, культивация, посев, лушение, дискование, плантаж), как по технологиям традиционного земледелия, так и по технологиям no-till и minimal-till.

2. Характеристика трактора

2.1. Тяговый класс по ГОСТ 27021 – 86 8,0

2.2. Тяговое усилие, кН:

- расчетное по ГОСТ 27021 – 86; 102

2.3. Скорости движения, км/ч:

переднего хода:

- наименьшая 2,5

- наибольшая транспортная 40,0

2.4. Колесная формула 4к4б

2.5. компоновка с шарнирно-сочлененной рамой

2.6. Схема поворота За счет складывания полурам

2.7. Число передач вперед/назад 16/4

2.8. Наличие коробки диапазонов С коробкой диапазонов

2.9. Габаритные размеры трактора, мм:

а) длина (без балласта)	7606
б) длина с передними балластными грузами	8171
в) ширина по колесам одинарным	3230
г) ширина со сдвоенными колесами	5118
д) высота (по верхней точке кабины)	3968
е) база	3900
ж) колея на одинарных шинах	2240
з) колея на сдвоенных шинах	4240
2.10. Масса трактора, кг	
- максимальная эксплуатационная	26 140
2.11. Наименьший радиус поворота, м	4,95
2.12. Двигатель	
2.12.1. Тип двигателя	Дизельный, 6-цилиндровый с турбонаддувом и промежуточным охлаждением наддувочного воздуха
2.12.2. Марка и модель	Cummins QSX15
2.12.3. Объем, л	15
2.12.4. Мощность по ГОСТ 18509-88, кВт (л.с.)	
- номинальная	429 (583) при номинальной частоте вращения
- максимальная	462 (628)
- дополнительный запас мощности	8 % (при 1800 мин ⁻¹)
2.12.5. Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	2100
2.12.6. Коэффициент запаса крутящего момента	1,30 (при 1400 мин ⁻¹)
2.12.7. Номинальный крутящий момент, Н м	1950 (при 2100 мин ⁻¹)
2.12.8. Максимальный крутящий момент, Н м	2542 (при 1400 мин ⁻¹)
2.12.9. Внешняя скоростная характеристика	



2.12.10. Выброс вредных веществ с отработавшими газами

Tier 4 Interim / Stage IIIБ

2.12.11. Система пуска	Электростартерная
2.12.12. Система впрыска	Распределенная – Common rail с насос-форсунками и электронным блоком управления
2.12.13. Цифровые системы	Электронный модуль управления с функцией программирования с поддержкой подключения по CAN-шине для снятия диагностических данных
2.13. Силовая передача	
2.13.1. Муфта сцепления	Функциональная, многодисковая, мокрая, работающая в масляной ванне
2.13.2. Коробка передач	Тип Powershift
	Модель Caterpillar 16x4
	Механическая с шестернями постоянного зацепления, с переключением передач на ходу без разрыва потока мощности в зависимости от нагрузки и скорости движения при помощи мокрых многодисковых муфт, работающих в масляной ванне.
	Механизм управления – электрогидравлический.
	16 передач.
	3 диапазона переднего хода и 1 диапазон заднего хода.
	Диапазонная часть синхронизированная.
	С электрогидравлическим механизмом управления.
	Режим работы – автоматическая:
	- переключение передач под нагрузкой без разрыва потока мощности;
	- автоматическое переключение передач;
	- программируемое переключение.
	Позволяет из нейтрального положения заранее установить любую передачу, вплоть до десятой. Трактор начнет работу в соответствии с предварительно выбранной передачей.
2.13.3. Теоретические скорости движения	- вперед: 2,5 – 40 км/ч
	Диаграмма распределения скоростей движения по передачам и диапазонам



Диапазоны скоростей с трансмиссией Powershift

2.13.4. Привод переднего и заднего моста

2.13.5. Тип моста

2.13.6. Главные передачи заднего и переднего моста

2.13.7. Дифференциал заднего моста

2.13.8. Дифференциал переднего моста

2.13.9. Конечные передачи мостов

2.14. Ходовая система

2.14.1. Шины:

- основной комплектации

2.14.2. Тормоза

2.14.3. Рулевое управление

Карданный.

Отдельная балка с коническим редуктором и межколесным дифференциалом

Геликоидальная передача

Шестеренный, блокируемый посредством фрикционной муфты с принудительной блокировкой.

Шестеренный, блокируемый посредством фрикционной муфты с принудительной блокировкой.

Одноступенчатые, планетарного типа

Колесная, передние и задние колеса ведущие.

800/70R38

Сдвоенные дисковые с сухими суппортами

Ручное, гидрообъемного типа за счет управления цилиндрами полурам, без механической обратной связи.

(опция) Автоматическое управление РСМ Агротроник Пилот 1.0.

Работает по сигналу GPS/ГЛОНАСС

При использовании на 10% увеличивает производительность трактора за счет минимизации пропусков и перекрытий при обработке почвы, а также позволяет исключить «загущение» посевов при работе на посевных комплексах.

Рулевое управление совместимо с установкой как электрического подруливающего устройства, так и более точного руления при помощи гидравлического клапана. Последний вариант доступен для заказа в качестве предустановленного оборудования.

Предустановленный на заводе гидравлический автопилот обладает широким функционалом для обеспечения технологии точного земледелия (включая функции ISOBUS, поддержку функций RTK и

RTX, картирование и дифференцированное внесение семян/удобрений, авторазворот).

2.15. Система навески

2.15.1. Тип

Closed Center Load Sensing System (система с закрытым центром, управляемая нагрузкой)

2.15.2. Гидронасос

Аксиально-поршневой

2.15.3. Навесные устройства

(опционально) Заднее, трехточечного типа CAT IV с грузоподъемностью на оси подвеса 6800 кг (замеренные на расстоянии 610 мм от оси подвеса), оборудованные быстросоединяющимися захватами.

2.15.4. Наличие гидравлических распределителей

Передний кронштейн для балластных грузов. Электрогидравлический секционный распределитель для заднего навесного устройства, 5-и позиционный (подъем, опускание, нейтральное положение, плавающее положение и постоянный расход регулируемый по времени – расход до 114 л/мин на контур).

Количество секций:

- 4 пары гидромуфт 1/2 дюйма с пропорциональным регулированием;
- 2 муфты 1 дюйм и муфта 3/8 дюйма обратного слива без давления (для пневматических сеялок);
- (опционально) 6 дополнительных пар гидромуфт 1/2 дюйма.

Функция контроля пробуксовки, которая отвечает за автоматическое управление заглублением навесного орудия в зависимости от коэффициента буксования колес трактора. Данная особенность очень сильно облегчает работу механизатора в тяжелых почвенных условиях – повышенная влажность почвы, холмистость, большая глубина обработки и т.д.

- (опция) Power Beyond. Данный комплект требуется для обеспечения нормальной работы некоторых посевных комплексов (например, с гидроприводом высевающего аппарата бункера или автоматически подруливающих колес сеялки). Функция Power Beyond обеспечивает максимальный гидравлический поток от гидравлического насоса напрямую к потребителю (к сеялке), минуя гидравлический распределитель.

	Включает в себя пару муфт 1 дюйм и муфту для линии LS.
2.15.5. Производительность насоса, л/мин	
- штатно	208
- опционально	303 (High Flow)
2.16. Рабочее и вспомогательное оборудование	
2.16.1. Кабина	Двухместная кабина со встроенным защитным каркасом, герметичная, повышенной комфортности Deluxe (включает полуактивное сиденье оператора, сиденье для инструктора, электропривод зеркал заднего вида, трубу для крепления мониторов, охлаждаемый ящик, аудиоподготовку, заднюю солнцезащитную шторку). Рассчитана на обеспечение комфорта для работы по 10-12 часов в смену.
2.16.2. Сиденье водителя	Полуактивное пневматическое сиденье, с 11 настройками и регулировками.
2.16.3. Дополнительные системы	Радар скорости – предназначен для отображения действительной скорости движения трактора, благодаря чему оператор может видеть коэффициент буксования колес в реальном времени.
2.16.4. Отопитель и вентиляционная установка	Встроенная фирменная платформа агроменеджмента и контроля операций агромашин РСМ Агротроник (в составе – датчики уровня топлива, GPS-трекер). Отопитель и климат-система.
2.16.5. Средства управления и функции	Охлаждаемый бардачок. Рулевое колесо для изменения направления движения.
2.16.6. Валы отбора мощности (опция)	(опция) GPS/ГЛОНАСС автопилот Задний независимый 1000 мин ⁻¹ . Диаметр 44,5 мм, 20 шлицев
2.16.7. Тягово-сцепные устройства	Тяговый брус трактора с максимально допустимой вертикальной нагрузкой 4082 кг и пальцем 70 мм (2,75 дюйма). (Опция) Усиленный тяговый брус с максимально допустимой вертикальной нагрузкой 5443 кг (Опция) Сцепной палец 50 мм (2 дюйма).
2.16.8. Привод тормозов прицепов (опция)	Гидравлический тормоз прицепа.
2.17. Электрооборудование	

2.17.1. Ток и напряжение	Постоянный, 12В
2.17.2. Генератор	Переменного тока 12В, 160А (мощность 1,9 кВт)
2.17.3. Аккумуляторная батарея	3 шт., 12 В необслуживаемые, 950 ССА (950А – максимальный пусковой ток при холодном запуске двигателя)
2.17.4. Освещение	4 фары над радиаторной решеткой, 2 передние рабочие фары на щитках, 4 задние рабочие фары на щитках, 4 рабочие фары, установленные на крыше кабины
2.18. Несущая система	Рамная, шарнирно-сочлененная, с возможностью копирования рельефа поля – до 30 градусов вверх-вниз.
2.19. Топливная система и ГСМ	
2.19.1. Двигатель	
а) топливо	Дизельное топливо сорт D класс 1 или 2
б) моторное масло	SAE 15W-40 с API классификацией CE или CF-4 для большинства применений
2.19.2. Трансмиссии:	
а) масла для коробки передач и гидросистемы навески	Донакс ТД, ТДХ
б) масла для ведущих мостов	85W140 GL5 при температуре выше 0°C (32°F) или 80W90 GL5 при температуре ниже 0°C (32°F).
г) пластичные смазки	NLGI 11Литий, Молибден
2.19.3. Емкость топливного бака, л: - заявленная	1325
2.19.4. Наличие топливного фильтра	Установлен на двигателе в комплекте с сепаратором воды

3. Тяговая характеристика

Ниже приведена теоретическая тяговая характеристика, полученная в результате расчета по зависимостям, указанным в разделе 2, а также с учетом принципов снятия и построения характеристик двигателя [10-14] и общих принципов расчета тяговой динамики тракторов [15, 16].

Начальные условия взяты на основании имеющихся данных из подраздела 1.2.

В качестве массы, принятой для расчета, была взята максимальная эксплуатационная – 26 140 кг, т.к. производитель не смог предоставить достоверных сведений об эксплуатационной массе для данной модели трактора, а также по той причине, что принятое значение позволяет провести сравнение, как с младшей моделью семейства, так и с трактором, для которого проводится основной тяговый расчет.

Граничные условия следующие [17-20]:

- $\varphi_k = 0,7$ – коэффициент сцепления движителей с почвой на сухой стерне;
- $\varphi_{кр.н} = 0,4$ – коэффициент использования веса трактора;
- $f_k = 0,11$ – коэффициент сопротивления качению;
- $\delta_H = 0,14$ – допустимое буксование движителей;
- $\eta_{тр} = 0,87$ – ориентировочное значение КПД трансмиссии.

3.1. Теоретическая внешняя скоростная характеристика двигателя, полученная расчетным путем, приведена на рис. 4.

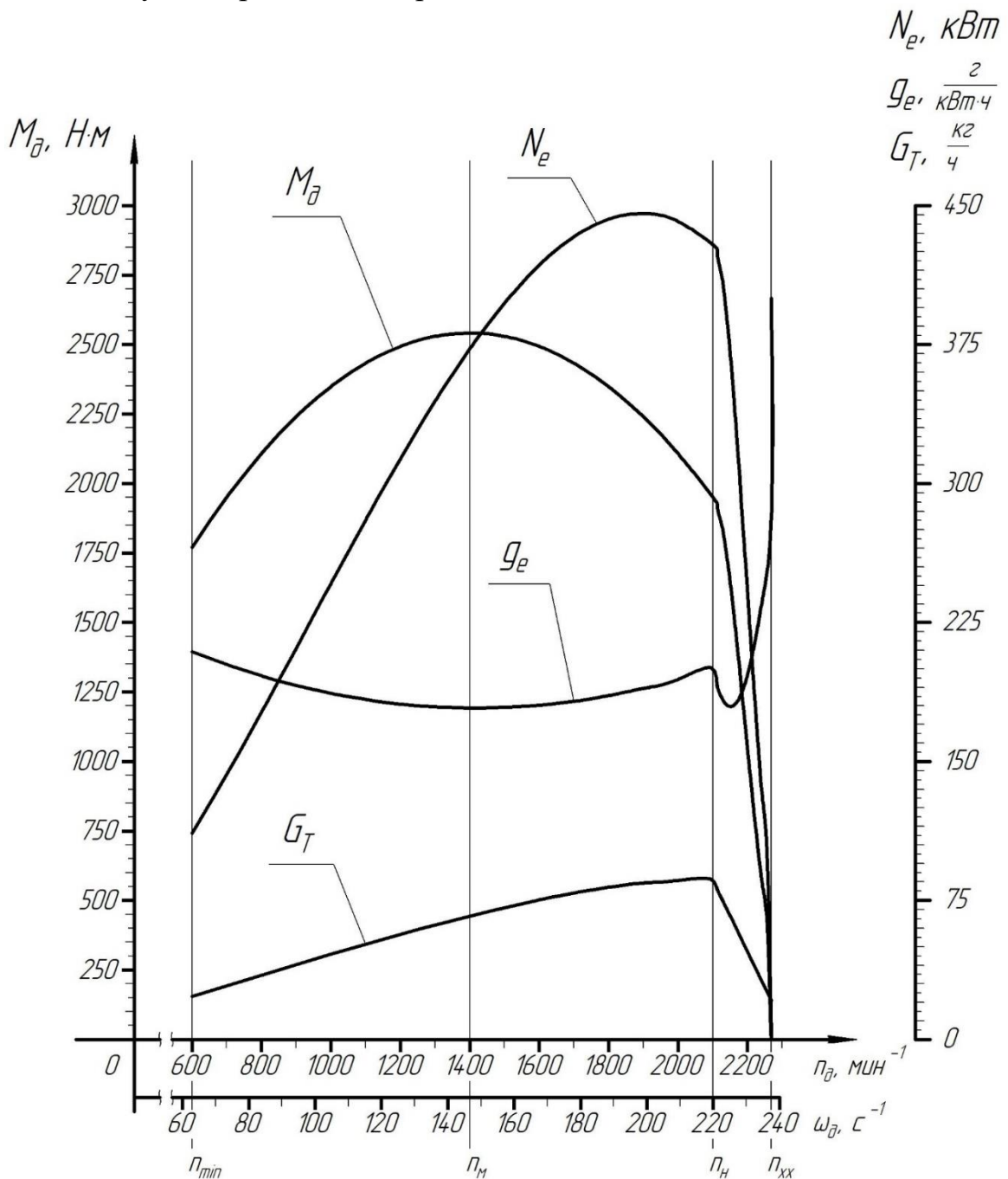


Рисунок 4 – Теоретическая ВСХ двигателя трактора РСМ 3575

3.2. Теоретическая кривая буксования, полученная расчетным путем, приведена на рис. 5 [6, 7, 21].

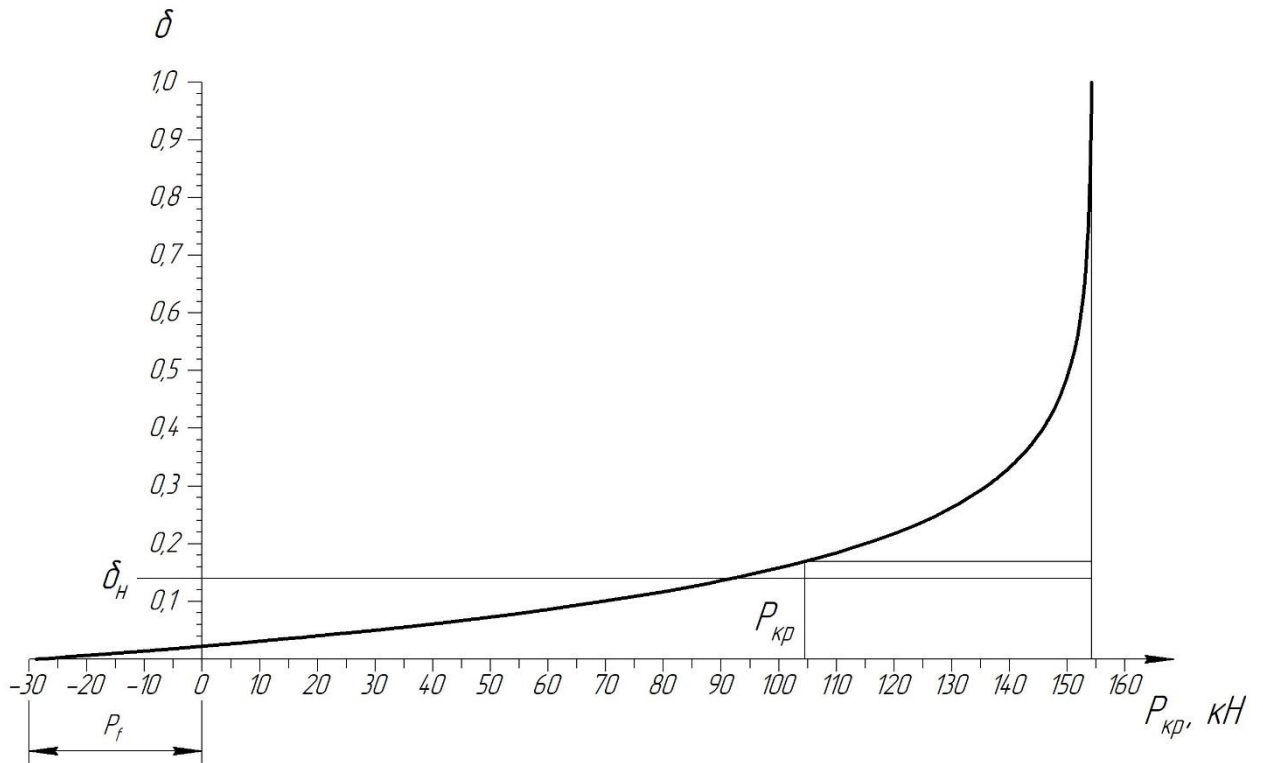


Рисунок 5 – Теоретическая кривая буксования трактора РСМ 3575

3.3. Теоретическая тяговая характеристика трактора приведена на рис. 6.

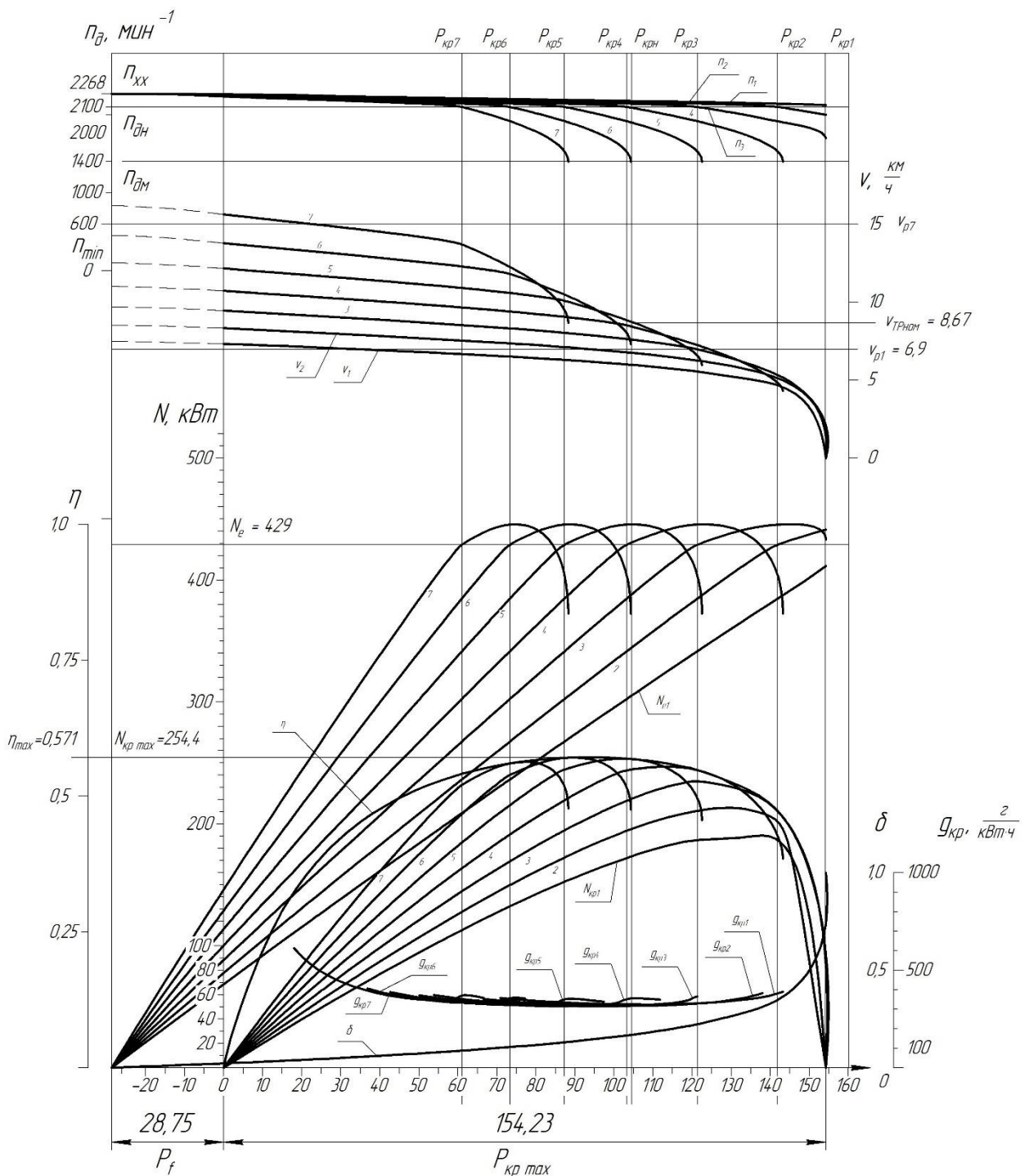


Рисунок 6 – Теоретическая тяговая характеристика трактора РСМ 3575

Расчет показывает, что энергонасыщенность трактора $\mathcal{E}_{\text{тр}}$ составляет 1,64.

При заданных условиях максимально возможная касательная сила тяги составляет $P_{\text{кmax}} = 182,98$ кН, а сила сопротивления качению $P_f = 28,75$ кН.

Знаменатель геометрической прогрессии по соседним передачам и коэффициент перекрытия соответственно равны $q_i = 0,88$, $k_{\text{п}} = 1,14$.

Максимальный тяговый КПД равен 0,571.

Максимальная крюковая мощность составляет $N_{кр\ max} = 254,4$ кВт.

Номинальное тяговое усилие реализуется в районе 4 передачи рабочего диапазона (примерно середина диапазона рабочих передач), что соответствует передаче 6 из 16 всего передаточного ряда переднего хода и составляет $P_{кр.н} = 104,56$ кН, при этом действительная скорость движения при номинальном тяговом усилии составляет 8,67 км/ч.

Подборный анализ тяговой характеристики трактора РСМ-3575 приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Результат анализа тяговой характеристики трактора РСМ-3575

$m_э$, кг	Передача	Сравниваемые параметры при условии						
		$N_{кр}$, кВт	$P_{кр}$, кН	v , км/ч	δ , %	$g_{кр}$, г/кВт ч	G_t , кг/ч	
Для номинального тягового усилия $P_{кр.н} = 104,6$ кН (выбрано в соответствие с ГОСТ 27021-86 по зависимости $P_{кр\ ном} = 3,92 \cdot 10^{-3} m_э$, что равноценно $P_{кр\ ном} = 9,81 m_э \varphi_{кр.н} \cdot 10^{-3}$, где $\varphi_{кр.н} = 0,4$)								
26 140	1	173,5	–	5,97	0,169	324,7	56,3	
	2	195,9		6,74		317,7	62,2	
	3	220,6		7,60		317,4	70,0	
	4	244,7		8,43		355,5	87,0	
	5	253,2		8,72		333,5	84,4	
	6	–		–		–	–	
	7	–		–		–	–	
	Для наибольшей мощности на передаче							
	1	190,5	137,7	4,93	0,309	360,5	68,7	
	2	213,3	129,3	5,93	0,261	344,7	73,5	
	3	235,0	120,8	7,00	0,221	361,9	85,0	
	4	247,0	113,7	7,82	0,196	347,4	85,8	
	5	253,6	101,9	8,95	0,163	334,5	84,8	
	6	254,4	89,7	10,22	0,135	330,6	84,1	
	7	250,9	77,4	11,67	0,113	331,8	83,2	
	Для максимальной мощности $N_{кр\ max} = 254,4$, кВт							
	6	–	89,66	10,22	0,135	330,6	84,1	
	Для допустимого буксования δ_n							
	1	158,6	91,9	6,21	0,140	330,7	52,4	
	2	179,3		7,02		321,0	57,5	
	3	202,4		7,93		315,1	63,8	
	4	227,8		8,92		318,0	72,4	
	5	248,9		9,75		350,5	87,2	
	6	254,1		9,96		327,7	83,3	
	7	–		–		–	–	
	Номинальное значение при передаче							
	1	0,0	154,2	0,00	1,000	∞	∞	
	2	201,9	141,9	1,42	0,351	424,9	85,8	
3	235,0	121,3	1,94	0,223	365,1			
4	244,0	103,2	2,36	0,166	351,6			
5	244,6	87,3	2,80	0,131	350,7			

<i>m</i> , кг	Передача	Сравниваемые параметры при условии					
		<i>N</i> _{кр} , кВт	<i>P</i> _{кр} , кН	<i>v</i> , км/ч	δ , %	<i>g</i> _{кр} , г/кВт ч	<i>G</i> _т , кг/ч
	6	240,2	73,3	3,27	0,106	357,1	
	7	232,0	61,0	3,80	0,088	369,8	
	Диапазон тяговых усилий и скоростей, соответствующих минимальному расходу топлива						
	5-2	–	62,7 ... 123,0	10,86 ... 7,52	0,090 ... 0,230	315,6 (+5%) 331,4	–

1.3. Обобщенные тягово-экономические показатели колесного сельскохозяйственного трактора производства CNH America LLC, 700 State St. Racine, WI, 53404 США New Holland T9.615

1. Общие сведения

1.1 Марка трактора: New Holland

1.2 Модель трактора: T 9.615

1.3 Область применения: сельскохозяйственный

1.4 Тип ходовой системы: колесная

1.5 Назначение: New Holland T 9.615 – многоцелевая тяговая машина, которая превосходно справляется со своими основными задачами в сельском хозяйстве, и способна заменить сразу несколько тракторов с навесными орудиями. Речь идет о таких способах обработки почвы, как боронование, окучивание, культивация, вспахивание, скашивание и другие виды предпосевной обработки. Трактор зарекомендовал себя как незаменимый помощник в фермерском хозяйстве.

2. Технические характеристики

2.1. Тяговый класс по ГОСТ 27021 – 86 8,0

2.2. Тяговое усилие, кН:

- расчетное по ГОСТ 27021 – 86 100

2.3. Скорости движения, км/ч:

переднего хода:

- наибольшая транспортная 40,0

2.4. Колесная формула 4к4б

2.5. Компоновка с шарнирно-сочлененной рамой

2.6. Схема поворота За счет складывания полурам

2.7. Число передач вперед/назад 16/2

2.8. Наличие коробки диапазонов Сквозной передаточный ряд

2.9. Габаритные размеры трактора, мм:

а) длина (без балласта) 7615

б) ширина по осям моста 3048

в) высота 3963

г) база	3911
2.10. Масса трактора, кг	
а) минимальный отгрузочный	18 068
б) максимальная эксплуатационная	25 401
2.11. Дорожный / агротехнический просвет, мм	447
2.12. Наименьший радиус поворота, м	5,7
2.13. Двигатель	
2.13.1. Тип двигателя	Дизельный, 6-цилиндровый с турбонаддувом
2.13.2. Марка и модель	FPT Cursor 13
2.13.3. Объем, л	12,7
2.13.4. Мощность по ГОСТ 18509-88, кВт (л.с.)	
- номинальная	399 (542) при номинальной частоте вращения
- максимальная	451 (613)
2.13.5. Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	2100
2.13.6. Коэффициент запаса крутящего момента	1,40 (при 1400 мин ⁻¹)
2.13.7. Номинальный крутящий момент, Н м	1815 (при 2100 мин ⁻¹)
2.13.8. Максимальный крутящий момент, Н м	2540 (при 1400 мин ⁻¹)
2.13.9. Внешняя скоростная характеристика	



2.13.10. Выброс вредных веществ с обработавшими газами	Tier 2 (Tier 4 опция)
2.13.11. Система пуска	Электростартерная
2.13.12. Система впрыска	Распределенная – Common rail
2.13.14. Цифровые системы	Система Electronic Power Management (EPM), позволяет кратковременно повышать мощность, например, если требуется преодолеть сложное препятствие.
2.14. Силовая передача	
2.14.1. Муфта сцепления	Функциональная, многодисковая, мокрая, работающая в масляной ванне
2.14.2. Коробка передач	Full-Powershift

Модель Ultra Command 16x2

Механическая с шестернями постоянного зацепления, с интеллектуальным переключением передач на ходу без разрыва потока мощности в зависимости от нагрузки и скорости движения при помощи мокрых многодисковых муфт, работающих в масляной ванне.

Механизм управления – электрогидравлический.
16 передач со сквозным переключением.

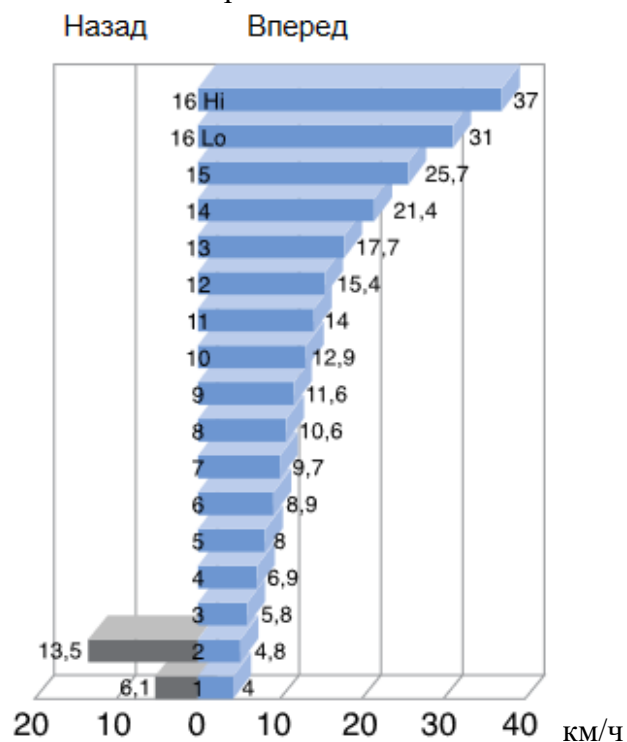
Режим работы – ручной или автоматический.

2.14.3. Теоретические скорости движения

- вперед:
4 – 40 км/ч

- назад:
6,1 – 13,5

Диаграмма распределения скоростей движения по передачам и диапазонам



2.14.4. Привод переднего и заднего моста

Карданный.

2.14.5. Тип моста

Отдельная балка с коническим редуктором и межколесным дифференциалом

2.14.6. Дифференциал заднего моста

Шестеренный, блокируемый.

2.14.7. Дифференциал переднего моста	Шестеренный, блокируемый.
2.15. Ходовая система	Колесная, передние и задние колеса ведущие.
2.15.1. Шины:	
- основной комплектации	710/70R42
2.16. Система навески	
2.16.1. Давление рабочей жидкости в гидронавесной системе, МПа (кг/см ²)	19,7 (194) - номинальное
2.16.2. Тип	Closed Center Load Sensing System (система с закрытым центром, управляемая нагрузкой)
	Аксиально-поршневой
	(опционально) Заднее, трехточечного типа
	CAT IV с грузоподъемностью на оси подвеса 8900 кг.
	Передний кронштейн для балластных грузов.
	Электрогидравлический секционный распределитель для заднего навесного устройства.
	Количество секций:
	- до 8 пар гидромуфт.
2.16.5. Наличие гидравлических распределителей	
2.16.6. Производительность насоса, л/мин	
- штатно	159
- опционально	216
- дополнительная опция	371/428 (MegaFlow)
2.17. Рабочее и вспомогательное оборудование	
2.17.1. Кабина	Многофункциональная кабина с многослойной тепло- и шумоизоляцией. Климатическая система с автономным отоплением и кондиционированием. Джойстик управления рабочими орудиями, встроен в правый подлокотник водительского сиденья. Широкая, круговая площадь остекления. Настраиваемая по вылету и наклону рулевая колонка.
	Пневматическое сиденье.
2.17.2. Сиденье водителя	
2.17.3. Приборы	Встроенная система безопасности, представленная датчиками и контрольно-измерительными приборами. Содержит компьютер, контролирующий состояние подвижных частей трактора, в том числе их положение, степень нагрузки, давление, температуру и другие параметры. Все показания передаются на сенсорный дисплей в кабине. Устранить неполадку можно в автоматическом или ручном режиме.

2.17.4. Отопитель и вентиляционная установка	Автономный отопитель и климат-система. Охлаждаемый бардачок.
2.17.5. Средства управления и функции	Рулевое колесо для изменения направления движения. Джойстик управления рабочими орудиями, встроен в правый подлокотник водительского сиденья.
2.17.6. Валы отбора мощности (опция)	Задний независимый 1000 мин ⁻¹ .
2.17.7. Тягово-сцепные устройства	Тяговый брус трактора с максимально допустимой вертикальной нагрузкой 4082 кг и пальцем 51 мм (2 дюйма, CAT IV) с автоматической сцепкой обеспечивает наиболее эффективную работу с прицепными орудиями. (Опция) Усиленный тяговый брус с максимально допустимой вертикальной нагрузкой 5443 кг и пальцем 70 мм (CAT V).
2.18. Электрооборудование	
2.18.1. Ток и напряжение	Постоянный, 12В
2.18.2. Генератор	Переменного тока 12В, 200А.
2.18.3. Освещение	4 фары над радиаторной решеткой, 2 передние рабочие фары на щитках, 4 задние рабочие фары на щитках, 4 рабочие фары, установленные на крыше кабины
2.18.4. Дополнительные приспособления	Реверсивный вентилятор для автоматической очистки радиаторов от пыли и стерни путем изменения направления лопаток, выключатель массы для отсоединения питания трактора от аккумуляторов
2.19. Несущая система	Рамная, шарнирно-сочлененная, с возможностью копирования рельефа поля – до 30 градусов вверх-вниз.
2.20. Топливная система и ГСМ	
2.20.1. Двигатель	
а) топливо	Дизельное топливо сорт D класс 2
б) моторное масло	SAE 15W-40 с API классификацией CI-4
2.20.2. Трансмиссии:	
а) масла для коробки передач и гидросистемы навески	New Holland Mastertrans.
б) масла для ведущих мостов	New Holland Multi G134
2.20.3. Емкость топливного бака, л: - заявленная	1226
2.20.4. Емкость бака для восстановителя оксидов азота, л	234

3. Характеристики, полученные путем анализа результатов испытаний Лаборатории испытаний тракторов Университета Небраски [22]. Характеристики носят справочный характер и указывают на корреляцию отдельных параметров теоретического расчета и результатов, полученных на реальных образцах тракторов в лабораторно-полевых условиях. Это согласуется с общими принципами и методами испытания тракторов [23-25].

3.1. Параметры двигателя при нагрузке через вал отбора мощности в зависимости от частоты вращения коленчатого вала на участке кривой от максимальной до номинальной мощности приведены на рис. 7 [26, 27]. Характеристика снята в соответствии с требованиями OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Power Take-Off and Engine Tests.

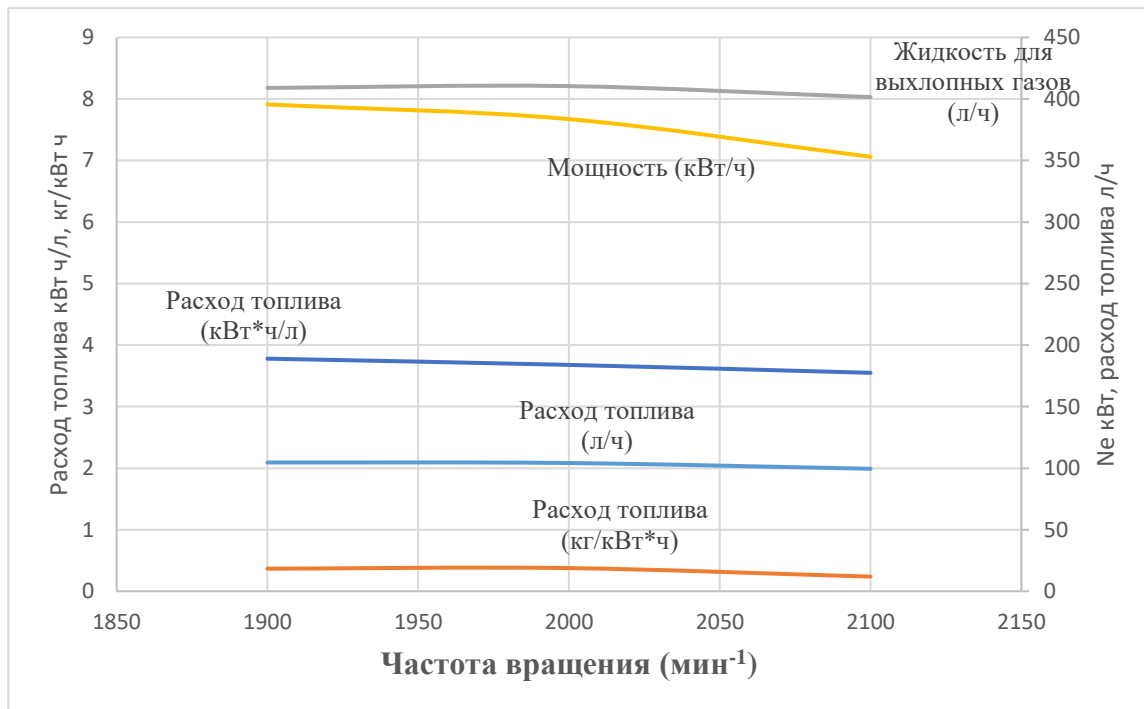


Рисунок 7 – Корректорный участок

3.2. Параметры двигателя в зависимости от частоты вращения коленчатого вала на участке кривой от номинальной мощности до максимальной частоты вращения (регуляторная характеристика) приведены на рис. 8 [28]. Характеристика аналогично снята в соответствии с требованиями OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Power Take-Off and Engine Tests.

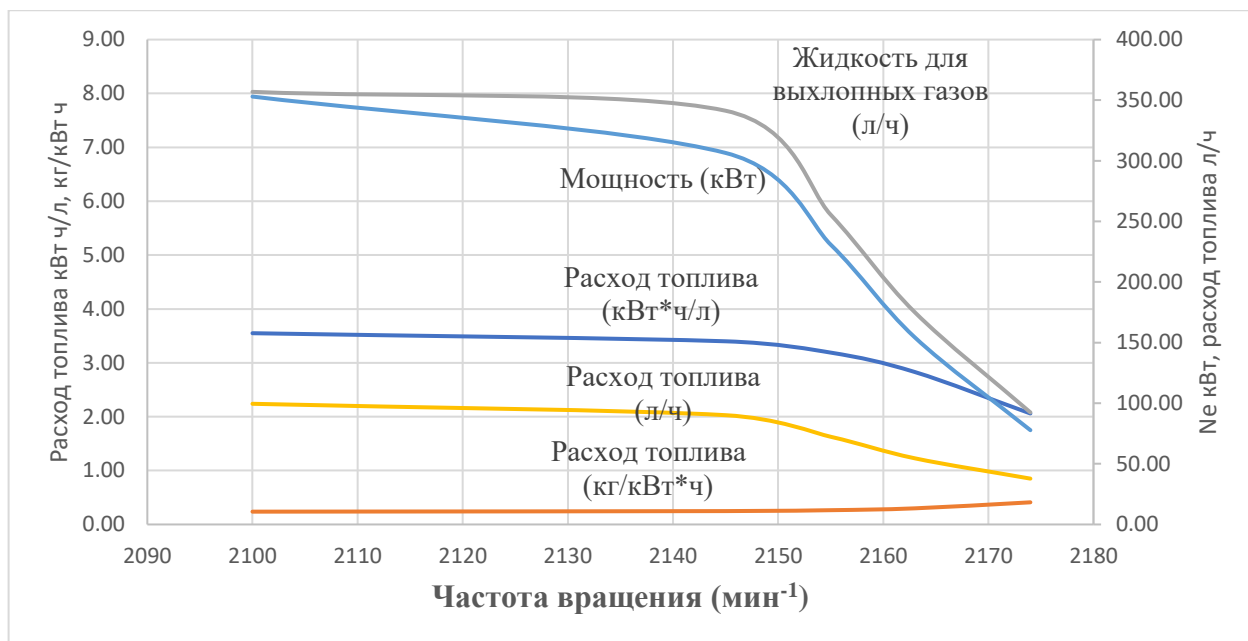


Рисунок 8 – Регуляторный участок

Результаты, полученные в пп. 3.1. и 3.2. отражают поведение внешней скоростной характеристики двигателя в соответствии с ISO 14396. При этом видно, что имеется перепад между номинальным и максимальным значением мощности величиной в 1,12 раза, что говорит об отсутствии т.н. «полки мощности» двигателя. На графике корректорного участка имеется повышение расхода топлива до 367 г/кВт ч. При помощи регуляторного участка уточнялось значение $n_{\text{хх}}$.

3.3. Тяговая характеристика трактора на частичной характеристике двигателя при частоте вращения коленчатого вала в зоне максимального момента и скорости движения 9 км/ч (9-я передача) (рисунок 9) [29]. Снята в соответствии с OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Drawbar Power and Fuel Consumption. Коррелирует с результатами полученными в пп. 4.2. на 5 передаче рабочего диапазона тяговой характеристики.

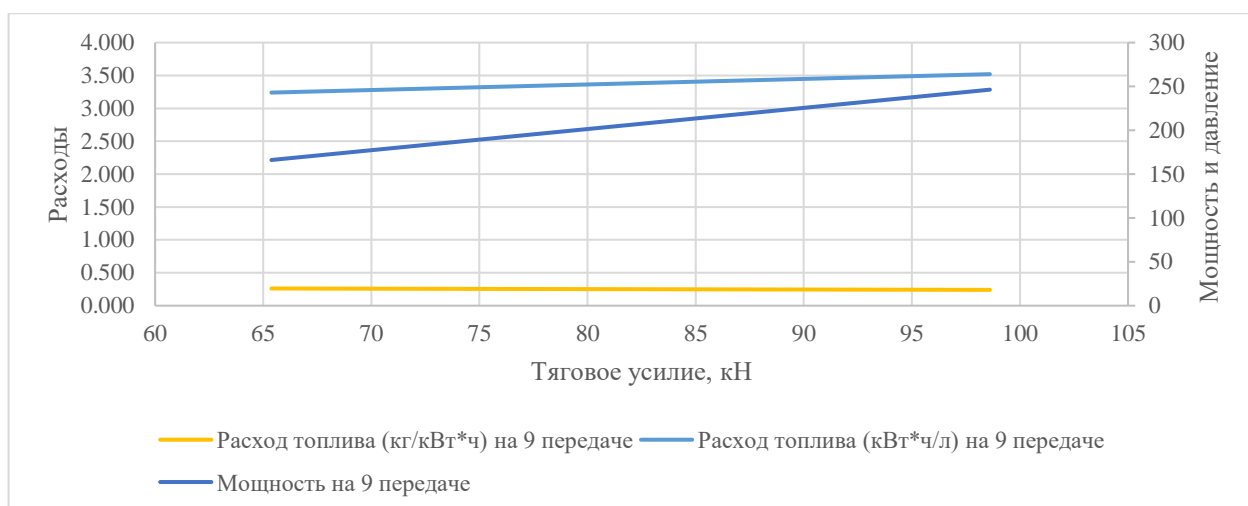


Рисунок 9 – Тяговая характеристика трактора на 9-ой передаче

3.4. Тяговая характеристика трактора на разных передачах при номинальной частоте вращения вала двигателя приведена на рис. 10. Носит справочный характер, демонстрирующий возможности трактора на бетонном основании. Снята в соответствии с OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Drawbar Power and Fuel Consumption (трактор без балласта, ровное бетонное основание или асфальт).

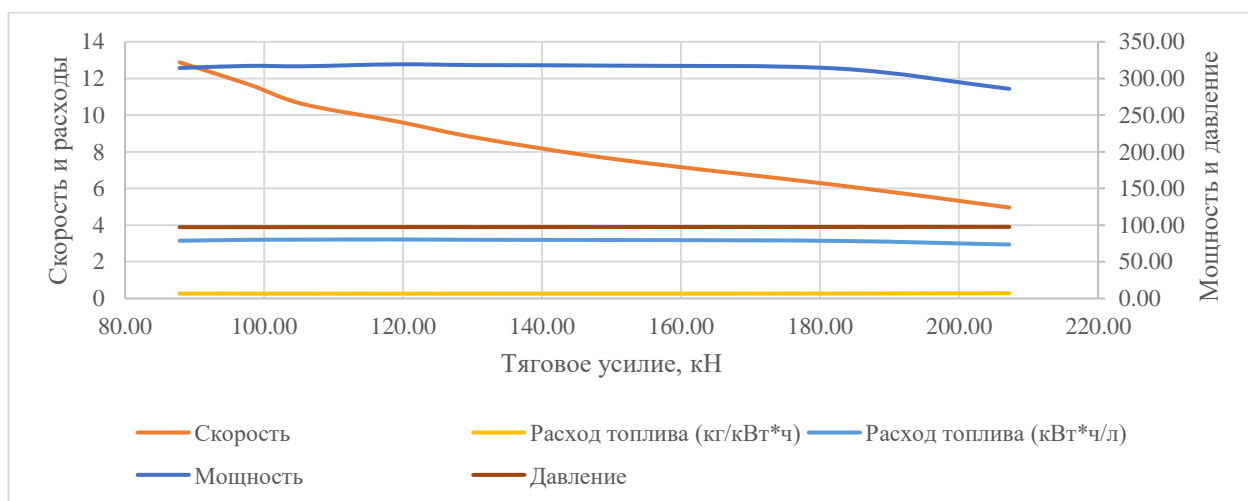


Рисунок 10 – Экспериментальная тяговая характеристика при 2100 мин⁻¹

3.5. На рисунке 11 представлена тяговая характеристика трактора на разных передачах при частоте вращения вала двигателя в зоне максимальной мощности [30]. Носит справочный характер, демонстрирующий возможности трактора на бетонном основании. Снята в соответствии с OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Drawbar Power and Fuel Consumption (трактор без балласта, ровное бетонное основание или асфальт).

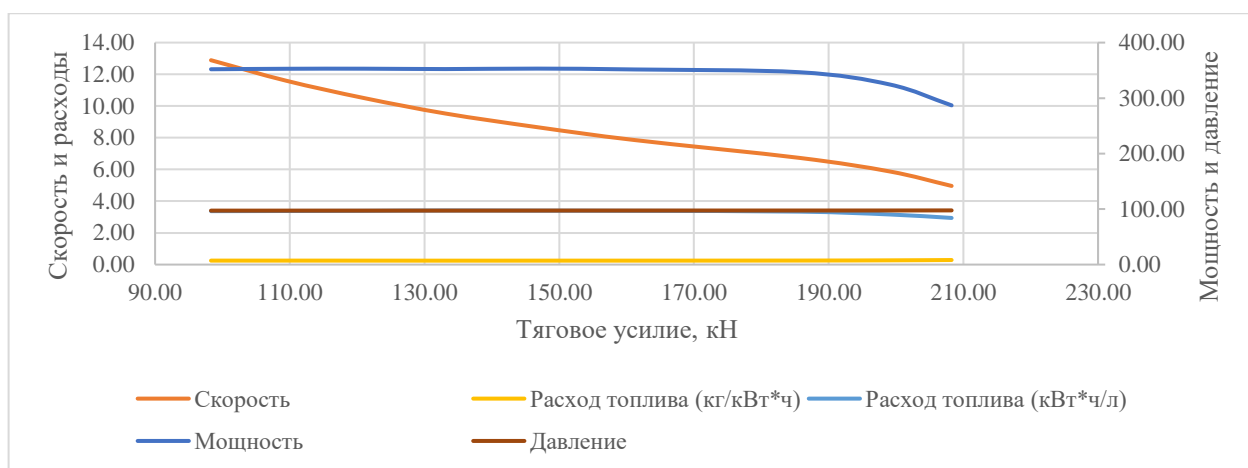


Рисунок 11 – Экспериментальная тяговая характеристика при 1900 мин⁻¹

4. Построение теоретической тяговой характеристики

Ниже приведена теоретическая тяговая характеристика, полученная в результате расчета по зависимостям, указанным в разделе 2, а также с учетом принципов снятия и построения характеристик двигателя [10-14] и общих принципов расчета тяговой динамики тракторов [15, 16].

Начальные условия взяты на основании имеющихся данных из подраздела 1.3.

В качестве расчетной массы была принята максимальная эксплуатационная – 25 401 кг, т.к. помимо нее присутствуют только сведения о минимальной массе в состоянии отгрузки, которая не может быть принята расчетной.

Граничные условия следующие [17-20]:

- $\varphi_k = 0,7$ – коэффициент сцепления движителей с почвой на сухой стерне;
- $\varphi_{кр.н} = 0,4$ – коэффициент использования веса трактора;
- $f_k = 0,11$ – коэффициент сопротивления качению;
- $\delta_n = 0,14$ – допустимое буксование движителей;
- $\eta_{тр} = 0,87$ – ориентировочное значение КПД трансмиссии.

Дополнительные данные, требуемые для расчета: коробка передач Powershift, управляемая оператором. Номинал скорость движения миль/ч (км/ч) по передачам: первая 2,71 (4,36) вторая 3,27 (5,26) третья 3,95 (6,36) четвертая 4,75 (7,64) пятая 5,46 (8,79) шестая 6,00 (9,65) седьмая 6,57 (10,57) восьмая 7,22 (11,62) девятая 7,94 (12,78) десятая 8,72 (14,03) одиннадцатая 9,56 (15,38) двенадцатая 10,52 (16,93) тринадцатая 12,06 (19,41) четырнадцатая 14,53 (23,38) пятнадцатая 17,54 (28,23) шестнадцатая 21,14 (34,02), задний ход 4,18 (6,73), 8,32 (13,39).

4.1. Теоретическая внешняя скоростная характеристика двигателя, полученная расчетным путем, приведена на рис. 12.

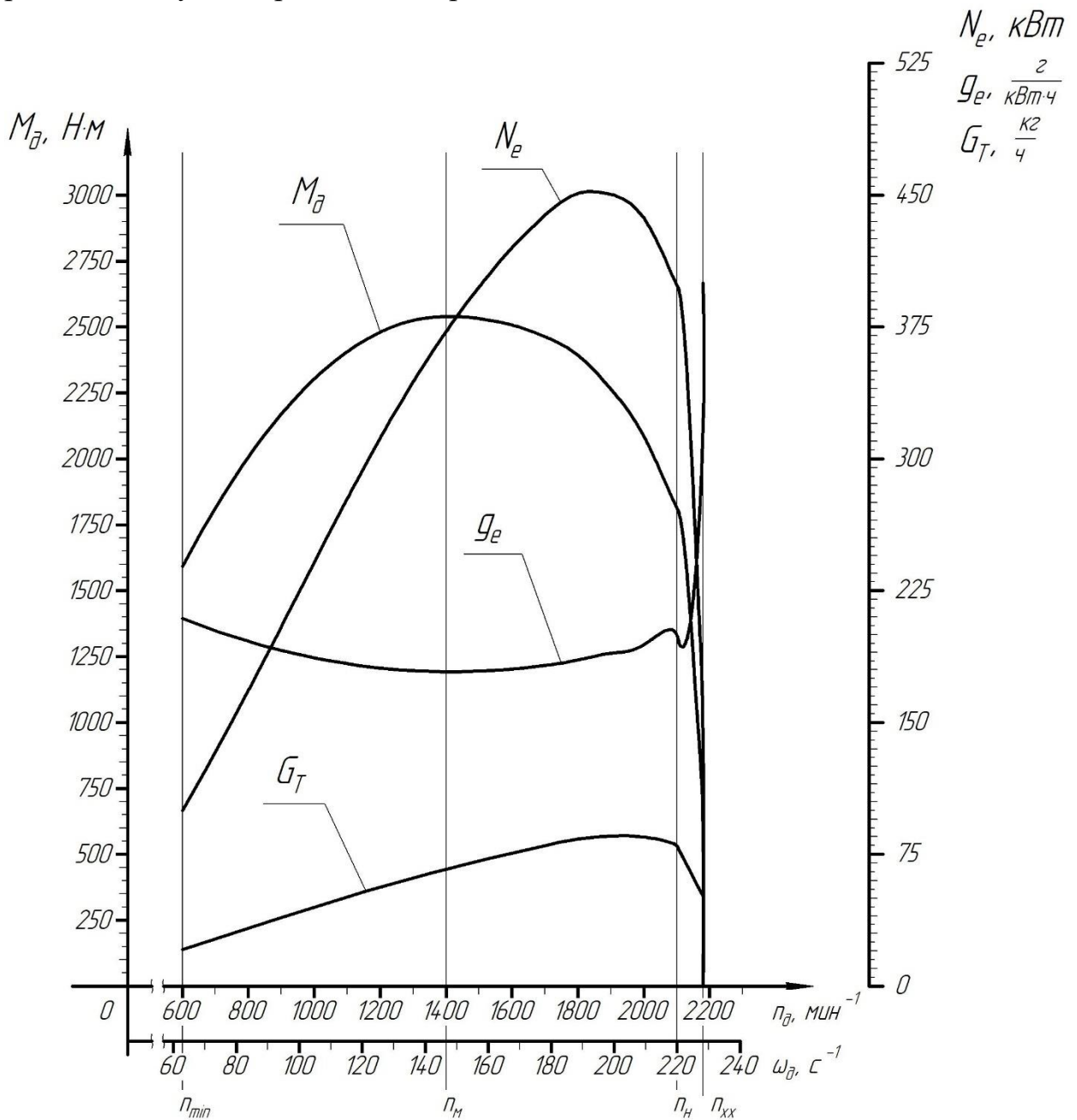


Рисунок 12 – Теоретическая ВСХ двигателя трактора New Holland T9.615

4.2. Теоретическая кривая буксования, полученная расчетным путем, приведена на рис. 13 [6, 7, 21].

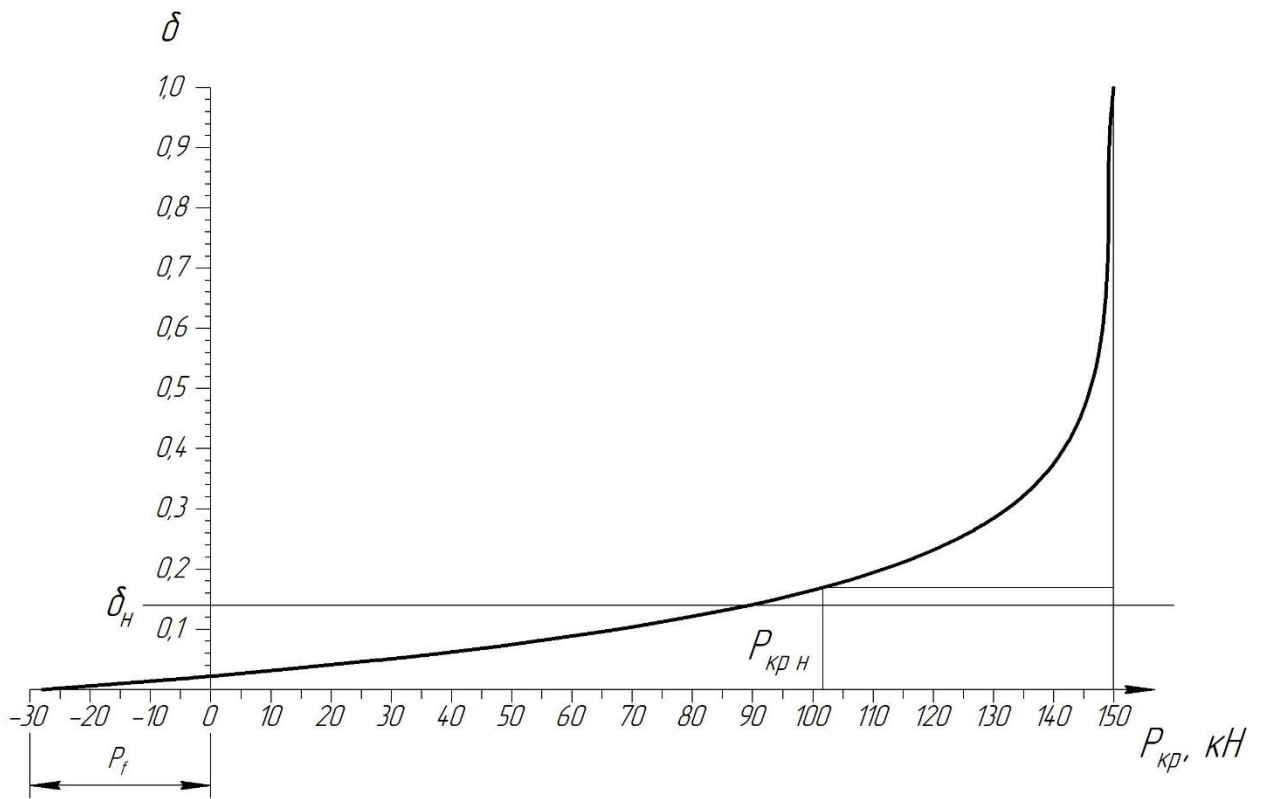


Рисунок 13 – Теоретическая кривая буксования трактора New Holland T9.615

4.3. Теоретическая тяговая характеристика трактора приведена на рис. 14.

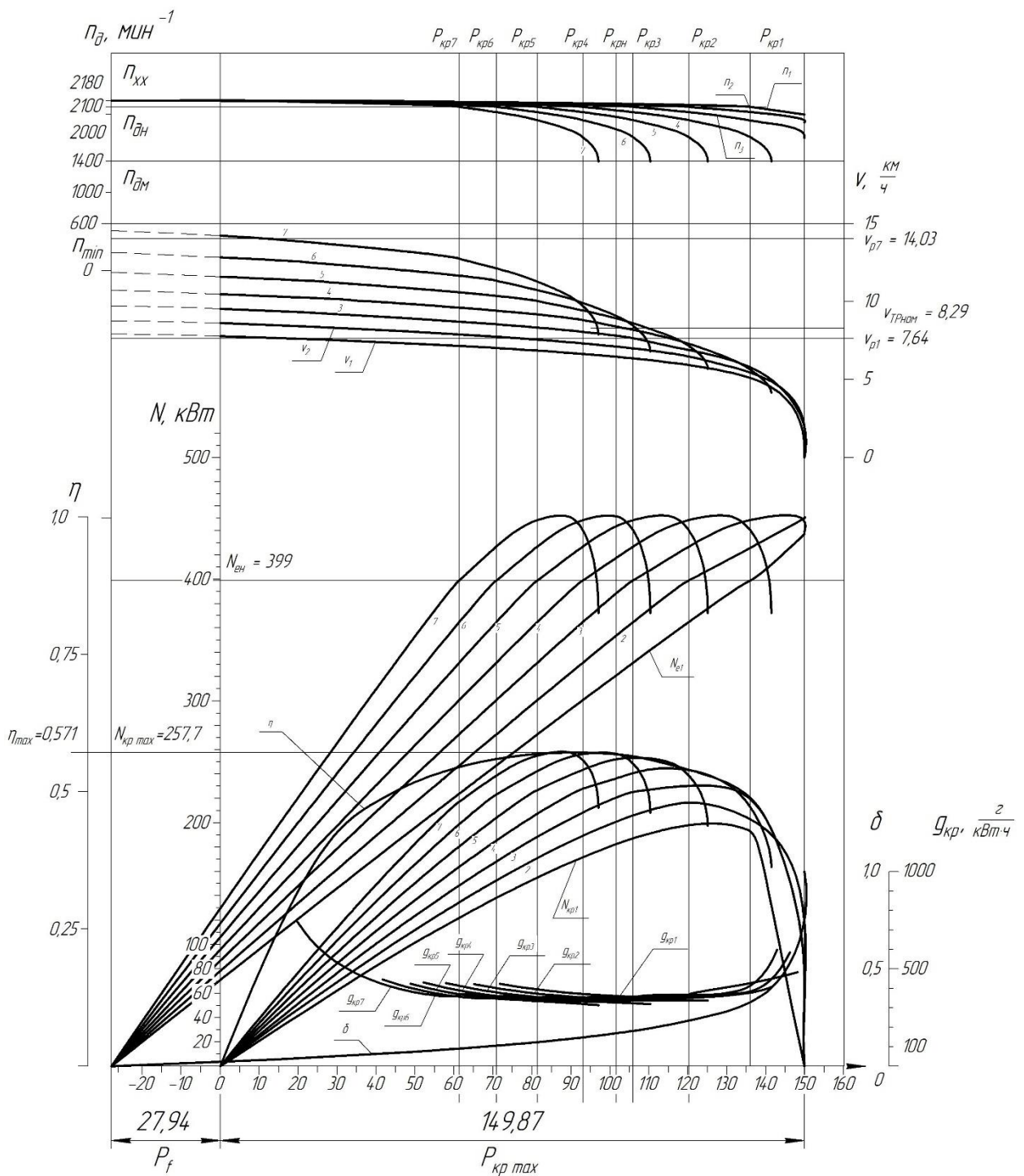


Рисунок 14 – Теоретическая тяговая характеристика трактора New Holland T9.615

Расчет показывает, что энергонасыщенность трактора $\mathcal{E}_{тр}$ составляет 1,77.

При заданных условиях максимально возможная касательная сила тяги составляет $P_{кmax} = 177,81$ кН, а сила сопротивления качению $P_f = 27,94$ кН.

Знаменатель геометрической прогрессии по соседним передаткам и коэффициент перекрытия соответственно равны $q_i = 0,90$, $k_{п} = 1,11$.

Максимальный тяговый КПД равен 0,571.

Максимальная крюковая мощность составляет $N_{кр \max} = 257,7$ кВт и реализуется между третьей и четвертой передачей.

Номинальное тяговое усилие реализуется между 4 и 5 передачами рабочего диапазона (примерно середина диапазона передач), что соответствует 6 и 7 передачам из 16 всего передаточного ряда и составляет $P_{кр.н} = 101,60$ кН, при этом действительная скорость движения при номинальном тяговом усилии составляет 8,29 км/ч.

Подборный анализ тяговой характеристики трактора New Holland Т9.615 приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Результат анализа тяговой характеристики трактора New Holland Т9.615

$m_э$, кг	Передача	Сравниваемые параметры при условии						
		$N_{кр}$, кВт	$P_{кр}$, кН	v , км/ч	δ , %	$g_{кр}$, г/кВт ч	G_t , кг/ч	
Для номинального тягового усилия $P_{кр.н} = 101,6$ кН (выбрано в соответствии с ГОСТ 27021-86 по зависимости $P_{кр \text{ ном}} = 3,92 \cdot 10^{-3} m_э$, что равноценно $P_{кр \text{ ном}} = 9,81 m_э \varphi_{кр.н} \cdot 10^{-3}$, где $\varphi_{кр.н} = 0,4$)								
25 401	1	182,4	–	6,46	0,169	360,8	65,8	
	2	200,9		7,12		345,7	69,4	
	3	220,7		7,82		340,5	75,1	
	4	236,4		8,40		354,0	83,7	
	5	252,2		8,93		337,8	85,2	
	6	256,6		9,09		327,5	84,0	
	7	–		–		–	–	
	Для наибольшей мощности на передаче							
	1	199,4	126,2	5,68	0,262	366,5	73,1	
	2	216,6	120,6	6,46	0,236	370,8	80,3	
	3	230,6	123,6	6,71	0,250	368,2	84,9	
	4	244,8	114,8	7,69	0,212	347,1	85,0	
	5	253,5	106,1	8,60	0,182	336,9	85,4	
	6	257,6	98,3	9,42	0,161	330,0	85,0	
	7	258,4	87,8	10,60	0,137	327,4	84,6	
	Для максимальной мощности $N_{кр \max} = 257,7$, кВт							
	7	257,7	87,78	10,60	0,137	327,4	84,4	
	Для допустимого буксования δ_n							
	1	166,6	89,3	6,72	0,140	377,7	62,9	
	2	183,7		7,40		358,5	65,8	
	3	202,3		8,16		343,6	69,5	
4	222,2	8,96		338,7		75,2		
5	238,4	9,63		351,6		83,8		
6	253,7	10,22		335,7		85,2		
7	258,0	10,40		325,4		84,0		
Номинальное значение при передаче								
1	192,9	136,0	1,42	0,332	413,8	79,8		

m_3 , кг	Передача	Сравниваемые параметры при условии					
		$N_{кр}$, кВт	$P_{кр}$, кН	v , км/ч	δ , %	$g_{кр}$, г/кВт ч	G_T , кг/ч
	2	216,6	120,2	1,80	0,233	368,4	
	3	225,3	106,0	2,13	0,182	354,2	
	4	227,9	93,0	2,45	0,148	350,1	
	5	226,9	81,4	2,79	0,124	351,7	
	6	223,2	70,9	3,15	0,105	357,4	
	7	217,4	61,3	3,54	0,091	367,0	
Диапазон тяговых усилий и скоростей, соответствующих минимальному расходу топлива							
	7-6	–	86,3 ... 110,4	10,77 ... 6,80	0,134 ... 0,196	313,7 (+5%) 329,4	–

1.4. Обобщенные тягово-экономические показатели колесного сельскохозяйственного трактора производства CNH America LLC, 700 State St. Racine, WI, 53404 США New Holland T9.645

1. Общие сведения:

1.1. Марка трактора

New Holland

1.2. Модель трактора

T9.645

1.3. Область применения

Сельскохозяйственный

1.4. Тип ходовой системы

Колесная

2. Обобщенная техническая характеристика трактора

2.1. Тяговый класс по ГОСТ 27021 – 86 8,0

2.2. Тяговое усилие, кН:

- расчетное по ГОСТ 27021 – 86; 78,32

2.3. Скорости движения, км/ч:

переднего хода:

- наименьшая 4,0

- наибольшая транспортная 37,0

заднего хода:

- наименьшая 6,1

- наибольшая 13,5

2.4. Колесная формула 4к4

2.5. Число передач вперед/назад 17/2

2.6. Наличие коробки диапазонов Сквозной передаточный ряд

2.7. Габаритные размеры трактора, мм:
а) длина 7490

б) ширина по наружным габаритам	3040
в) высота (по верхней точке кабины)	3960
г) база	3910
2.8. Масса трактора, кг	
а) эксплуатационная	19 979
б) максимальная эксплуатационная	29 937
2.9. Двигатель	
2.9.1. Тип двигателя	двухступенчатый дизельный двигатель с турбонаддувом, промежуточным и промежуточным охлаждением 6-цилиндровый 24-клапанный с жидкостным охлаждением
2.9.2. Марка	FPT Cursor 13 TST
2.9.3. Объем, л	12,9
2.9.4. Мощность по ГОСТ 18509-88, кВт (л.с.)	
- номинальная	432,5 (580) при номинальной частоте вращения
- максимальная	475,8 (638)
2.9.5. Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	2100
2.9.6. Номинальный крутящий момент, Н м	1400
2.9.7. Максимальный крутящий момент, Н м	2756,7
2.9.8. Выброс вредных веществ с отработавшими газами	Tier 4
2.9.9. Система пуска	Электростартерная
2.9.10. Коробка передач	Рулевое управление: гидростатическое, силовая шарнирная рама Тормоза: мокрый диск Тормоза прицепа: гидравлические
2.10. Ходовая система	Колесная
2.10.1. Шины: основной комплектации	710/70R42
2.11. Система навески	
2.11.1. Тип	компенсация давления/расхода с закрытым центром
2.11.2. Гидронасос	Аксиально-поршневой
2.11.3. Производительность насоса, л/мин	
- штатно	159,0
2.12. Рабочее и вспомогательное оборудование	

2.12.1. Отопитель и вентиляционная установка

Система кондиционирования.

2.12.2. Валы отбора мощности

Задний независимый 1000 мин⁻¹.

2.13. Электрооборудование

2.13.1. Ток и напряжение

Постоянный, 12В

2.13.2. Аккумуляторная батарея

2 шт.

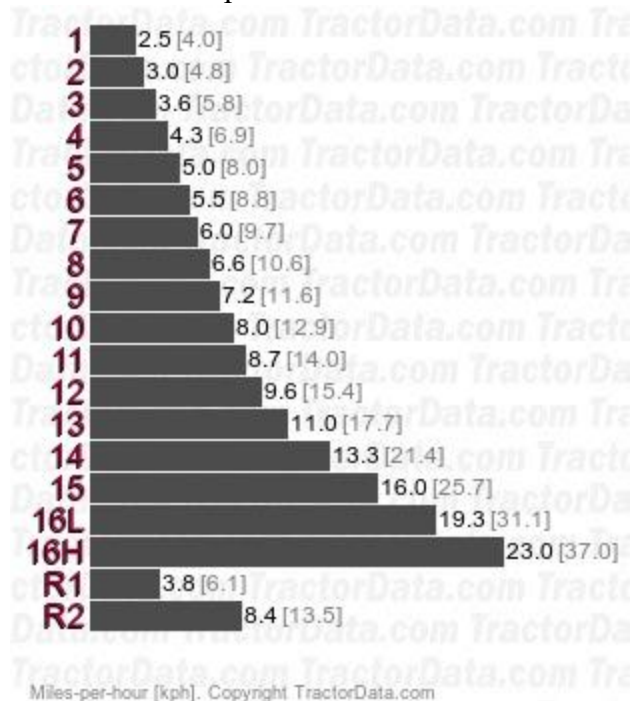
2.14 Емкость топливного бака, л:

- заявленная;

1816,8

2.15. Теоретические скорости движения

Диаграмма распределения скоростей движения по передачам



2.16. Требуемые ГСМ:

2.16.1. Двигатель

а) топливо

Дизельное топливо сорт D класс 2

б) восстановитель оксидов азота

(жидкость для выхлопных газов – DEF)

32% водная раствор мочевины DEF

в) моторное масло

SAE 10W40 сервисной классификации API CJ-4

2.16.2. Трансмиссия:

а) масло для коробки передач и гидросистемы навески

трансмиссионное масло New Holland Mastertrans Ultrraction Fluid

б) масло для ведущих мостов

жидкость New Holland Mastertran Ultrraction Total

3. Характеристики, полученные путем анализа результатов испытаний Лаборатории испытаний тракторов Университета Небраски [31].

Характеристики носят справочный характер и указывают на корреляцию отдельных параметров теоретического расчета и результатов, полученных на реальных образцах тракторов в лабораторно-полевых условиях.

Это согласуется с общими принципами и методами испытания тракторов [23-25].

3.1. Параметры двигателя при нагрузке через вал отбора мощности в зависимости от частоты вращения коленчатого вала на участке кривой от максимальной до номинальной мощности приведены на рис. 15 [26, 27]. Характеристика снята в соответствии с требованиями OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Power Take-Off and Engine Tests.

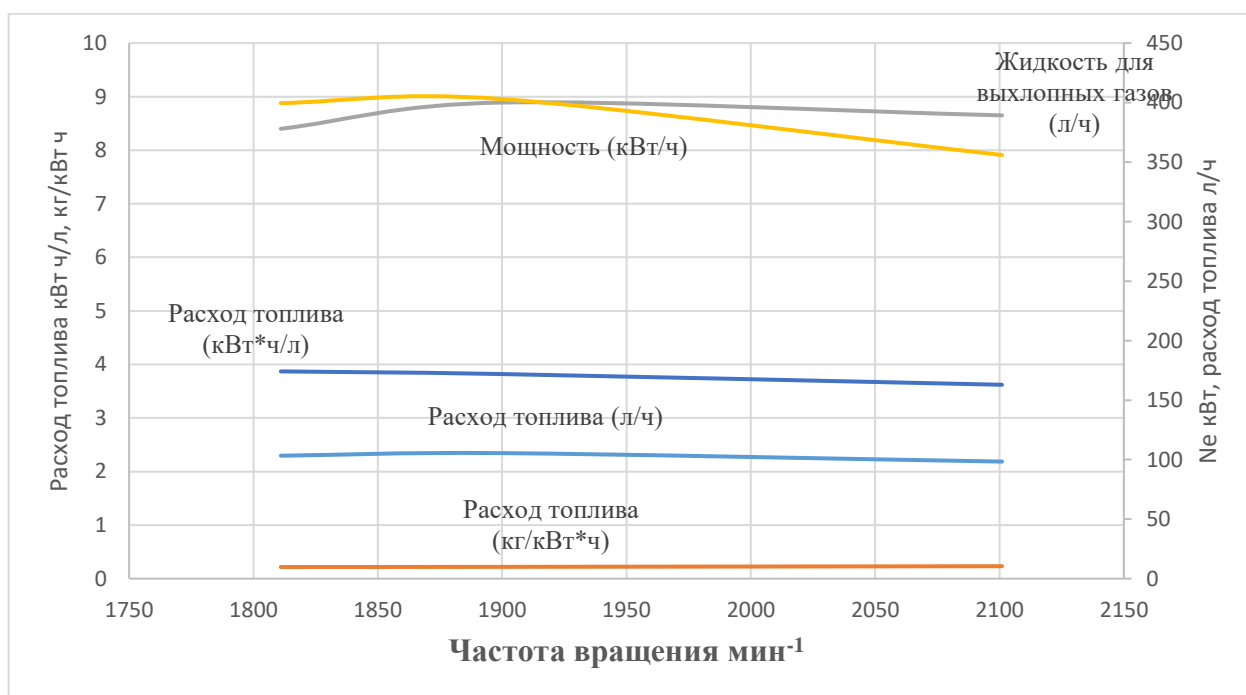


Рисунок 15 – Корректорный участок

3.2. Параметры двигателя в зависимости от частоты вращения коленчатого вала на участке кривой от номинальной мощности до максимальной частоты вращения (регуляторная характеристика) приведены на рис. 16 [28]. Характеристика аналогично снята в соответствии с требованиями OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Power Take-Off and Engine Tests.

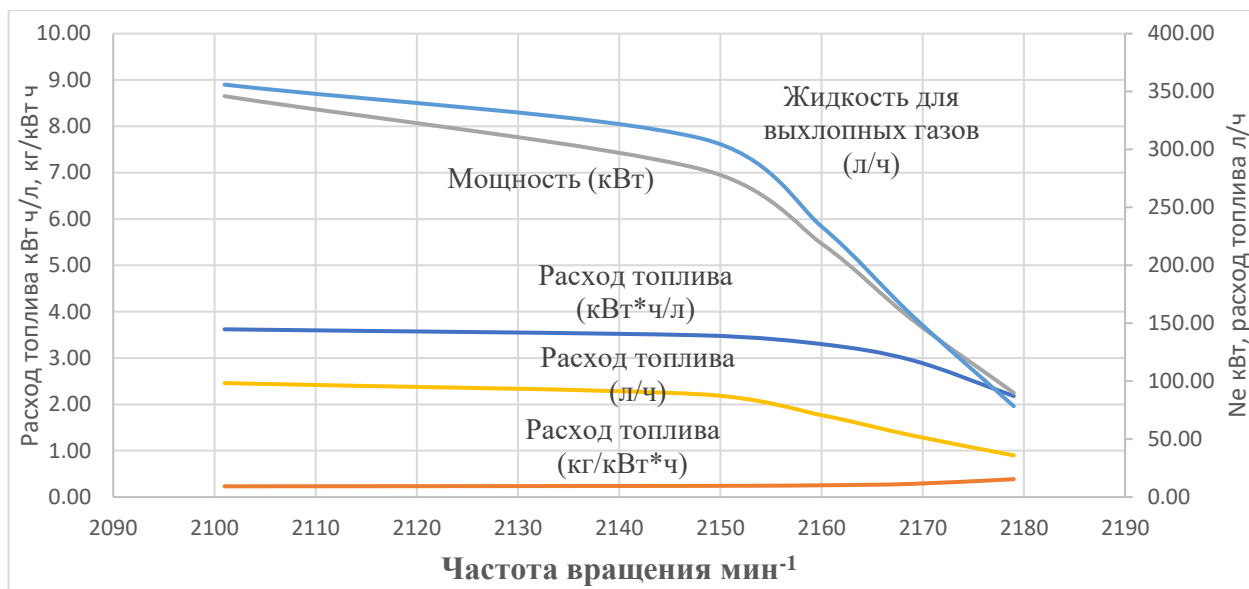


Рисунок 16 – Регуляторный участок

Результаты, полученные в пп. 3.1. и 3.2. отражают поведение внешней скоростной характеристики двигателя в соответствии с ISO 14396. При этом видно, что имеется перепад между номинальным и максимальным значением мощности величиной в 1,132 раза, что говорит об отсутствии т.н. «полки мощности» двигателя. На графике регуляторного участка имеется повышение расхода топлива до 386 г/кВт ч.

3.3. Тяговая характеристика трактора на разных передачах при номинальной частоте вращения вала двигателя приведена на рис. 17. Носит справочный характер, демонстрирующий возможности трактора на бетонном основании. Снята в соответствии с OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Drawbar Power and Fuel Consumption (трактор без балласта, ровное бетонное основание или асфальт).

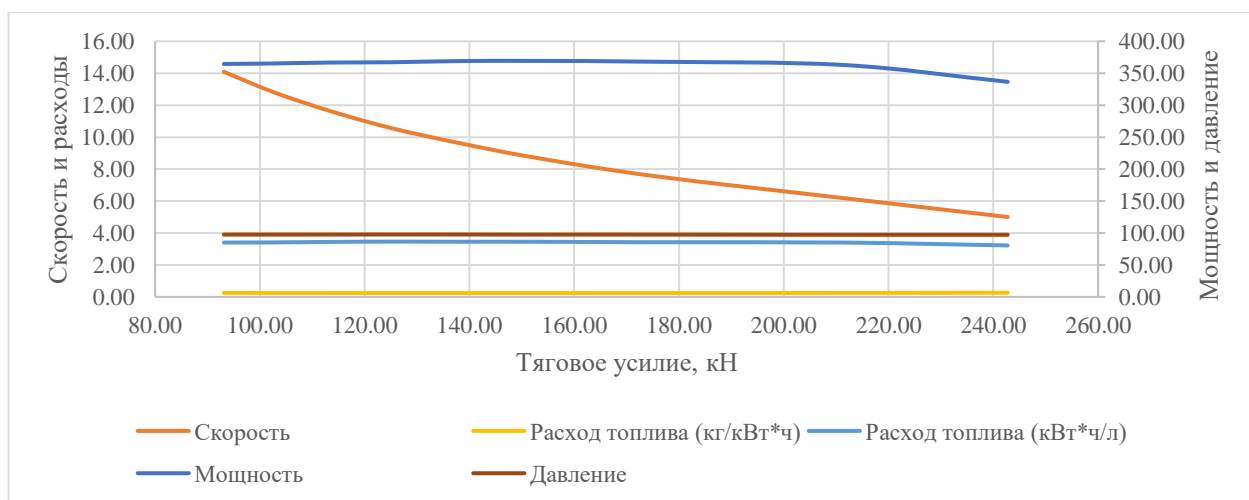


Рисунок 17 – Экспериментальная тяговая характеристика при 2100 мин⁻¹

3.4. На рисунке 18 представлена тяговая характеристика трактора на разных передачах при частоте вращения вала двигателя в зоне максимальной мощности. Носит справочный характер, демонстрирующий возможности трактора на бетонном основании. Снята в соответствии с OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Drawbar Power and Fuel Consumption (трактор без балласта, ровное бетонное основание или асфальт).

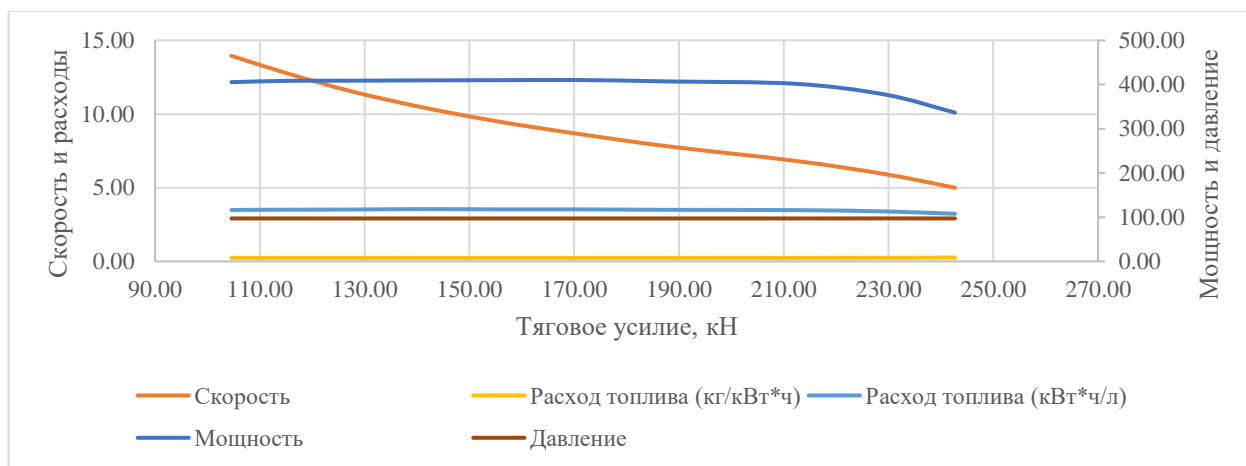


Рисунок 18 – Экспериментальная тяговая характеристика при 1900 мин⁻¹

4. Построение теоретической тяговой характеристики

Ниже приведена теоретическая тяговая характеристика, полученная в результате расчета по зависимостям, указанным в разделе 2, а также с учетом принципов снятия и построения характеристик двигателя [10-14] и общих принципов расчета тяговой динамики тракторов [15, 16].

Начальные условия взяты на основании имеющихся данных.

Расчетной массой выбрано значение эксплуатационной массы – 19 979 кг, величина которой достоверно известна.

Граничные условия следующие [17-20]:

- $\varphi_k = 0,7$ – коэффициент сцепления движителей с почвой на сухой стерне;

- $\varphi_{кр.н} = 0,4$ – коэффициент использования веса трактора;

- $f_k = 0,11$ – коэффициент сопротивления качению;

- $\delta_n = 0,14$ – допустимое буксование движителей;

- $\eta_{тр} = 0,87$ – ориентировочное значение КПД трансмиссии.

Дополнительные данные, требуемые для расчета: селективная коробка передач с фиксированным передаточным числом Full-Powershift, управляемая оператором. Номинальная скорость движения миль/ч (км/ч) по передачам: первая 2,82 (4,54), вторая 3,40 (5,47), третья 4,11 (6,61), четвертая 4,95 (7,96), пятая 5,68 (9,14), шестая 6,24 (10,04), седьмая 6,84 (11,01), восьмая 7,52 (12,10),

девятая 8,26 (13,30), десятая 9,08 (14,61), одиннадцатая 9,95 (16,02), двенадцатая 10,94 (17,60), тринадцатая 12,55 (20,21), четырнадцатая 15,12 (24,34), пятнадцатая 18,27 (29,40), шестнадцатая 22,00 (35,41), реверс 4,28 (6,88), 8,61 (13,85).

4.1. Теоретическая внешняя скоростная характеристика двигателя, полученная расчетным путем, приведена на рис. 19.

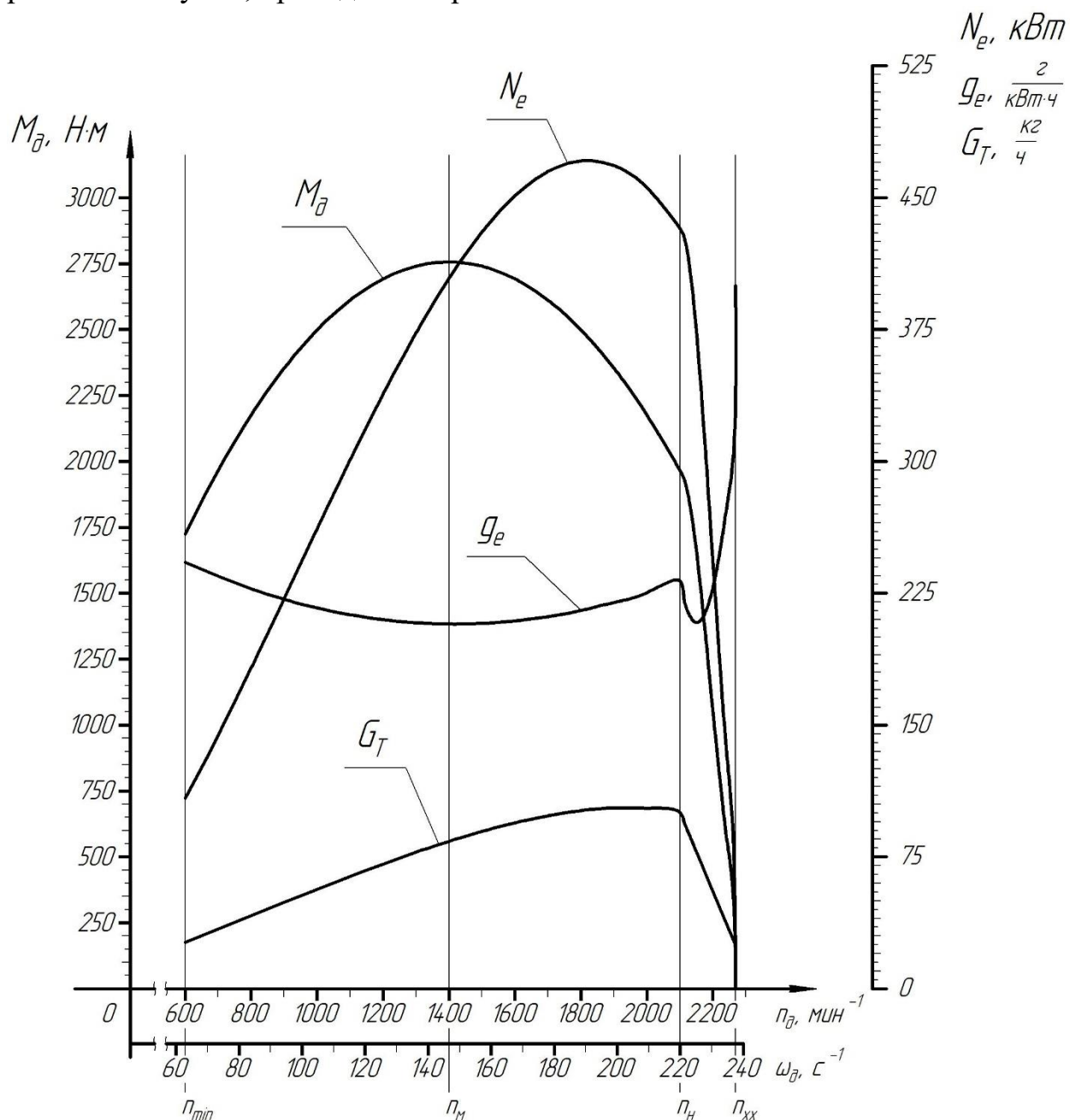


Рисунок 19 – Теоретическая ВСХ двигателя трактора New Holland T9.645

4.2. Теоретическая кривая буксования, полученная расчетным путем, приведена на рис. 20 [6, 7, 21].

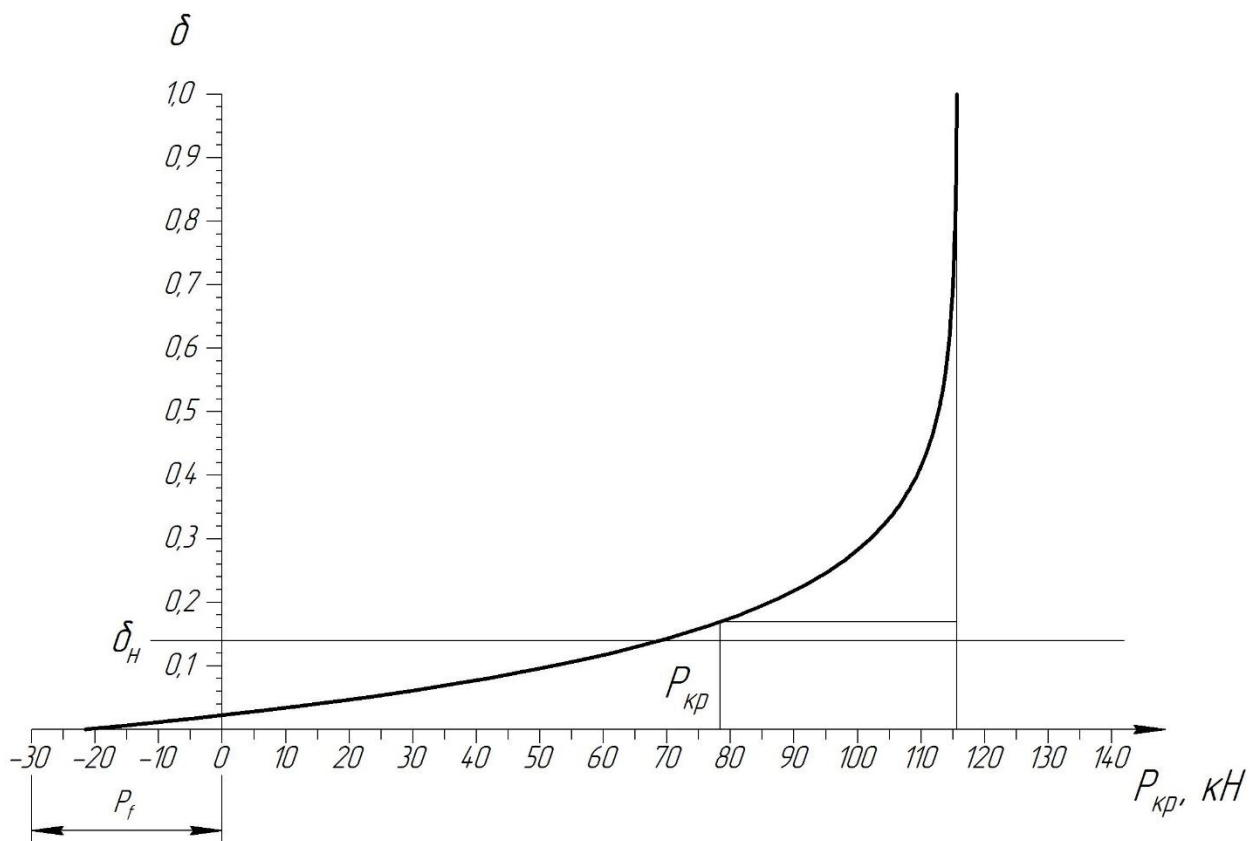


Рисунок 20 – Теоретическая кривая буксования трактора New Holland T9.645

4.3. Теоретическая тяговая характеристика трактора приведена на рис. 21.

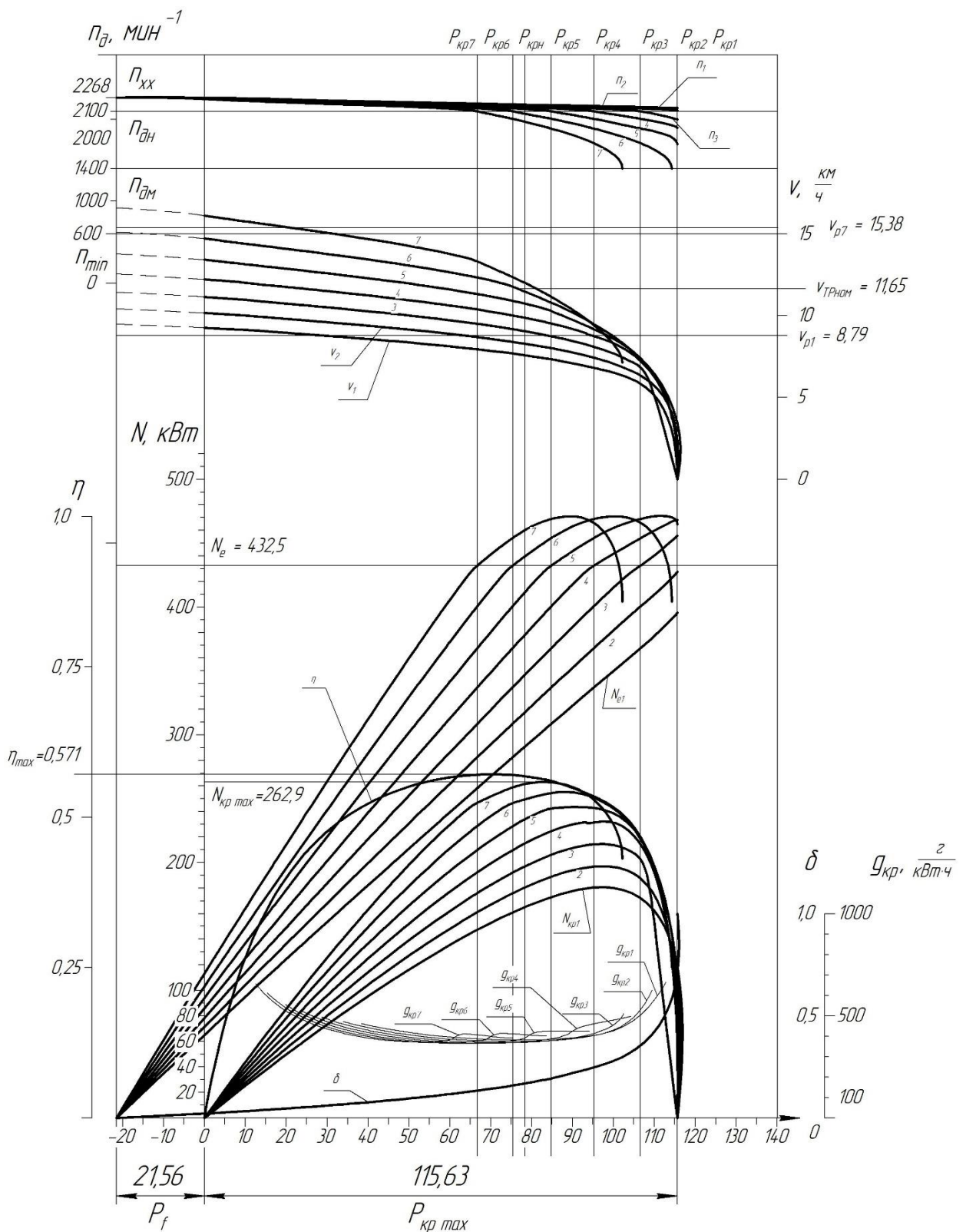


Рисунок 21 – Теоретическая тяговая характеристика трактора New Holland T9.645

Расчет показывает, что энергонасыщенность трактора $\mathcal{E}_{тр}$ составляет 2,2.

При заданных условиях максимально возможная касательная сила тяги составляет $P_{к\max} = 137,19$ кН, а сила сопротивления качению $P_f = 21,56$ кН.

Знаменатель геометрической прогрессии по соседним передачам и коэффициент перекрытия соответственно равны $q_i = 0,91$, $k_{\pi} = 1,09$.

Максимальный тяговый КПД равен 0,571.

Максимальная крюковая мощность составляет $N_{кр \max} = 262,9$ кВт и реализуется на 7-ой передаче рабочего диапазона.

Номинальное тяговое усилие реализуется между 5-ой и 6-ой передачей рабочего диапазона (верхняя треть диапазона передач), что соответствует номерам передач 8 и 9 всего передаточного ряда из 16 и составляет $P_{кр.н} = 78,4$ кН, при этом действительная скорость движения при номинальном тяговом усилии составляет 11,65 км/ч.

Подборный анализ тяговой характеристики трактора New Holland Т9.645 приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Результат анализа тяговой характеристики трактора New Holland Т9.645

$m_э$, кг	Передача	Сравниваемые параметры при условии						
		$N_{кр}$, кВт	$P_{кр}$, кН	v , км/ч	δ , %	$g_{кр}$, г/кВт ч	G_t , кг/ч	
Для номинального тягового усилия $P_{кр.н} = 78,4$ кН (выбрано в соответствии с ГОСТ 27021-86 по зависимости $P_{кр \text{ ном}} = 3,92 \cdot 10^{-3} m_э$, что равноценно $P_{кр \text{ ном}} = 9,81 m_э \varphi_{кр.н} \cdot 10^{-3}$, где $\varphi_{кр.н} = 0,4$								
19 979	1	165,2	–	7,59	0,169	381,7	63,1	
	2	180,6		8,29		374,0	67,5	
	3	197,2		9,05		368,6	72,7	
	4	215,0		9,87		367,0	78,9	
	5	234,0		10,74		374,9	87,7	
	6	249,6		11,47		413,4	103,2	
	7	261,6		12,01		392,1	102,6	
	Для наибольшей мощности на передаче							
	1	180,6	97,2	6,70	0,260	397,2	71,7	
	2	197,1	97,3	7,29	0,261	395,1	77,9	
	3	214,6	97,0	7,91	0,259	399,8	85,8	
	4	232,2	97,7	8,61	0,263	452,1	104,9	
	5	243,5	90,9	9,65	0,224	425,1	103,5	
	6	255,3	88,3	10,40	0,211	424,7	108,4	
	7	263,1	82,7	11,45	0,185	391,0	102,9	
	Для максимальной мощности $N_{кр \max} =$, кВт							
	7	262,9	82,66	11,45	0,185	391,0	102,8	
	Для допустимого буксования δ_n							
	1	151,0	68,9	7,89	0,140	389,7	58,8	
	2	165,1		8,63		380,3	62,8	
	3	180,4		9,43		372,5	67,2	
4	197,0	10,30		366,8		72,3		
5	214,9	11,23		364,8		78,4		
6	233,9	12,22		371,7		86,9		
7	250,2	13,08		411,6		103,0		

<i>m</i> , кг	Передача	Сравниваемые параметры при условии					
		<i>N</i> _{кр} , кВт	<i>P</i> _{кр} , кН	<i>v</i> , км/ч	δ , %	<i>g</i> _{кр} , г/кВт ч	<i>G</i> _т , кг/ч
Номинальное значение при передаче							
1	0	115,6	0	1	∞	0	100,3
2	0	115,6	0	1	∞	0	
3	202,6	106,6	1,90	0,354	495,2		
4	231,4	95,2	2,43	0,248	433,7		
5	242,3	84,8	2,86	0,194	414,0		
6	246,6	75,4	3,27	0,159	407,0		
7	246,9	66,7	3,70	0,134	406,5		
Диапазон тяговых усилий и скоростей, соответствующих минимальному расходу топлива							
7-1	–	47,8 ... 91,9	14,37 ... 6,99	0,092 ... 0,230	364,8 (+5%) 383,0	–	

**1.5. Обобщенные тягово-экономические показатели колесного сельскохозяйственного трактора производства John Deere Tractor Works, 3500 East Donald St., P.O. Box 270, Waterloo IA, 50704-0270, США
John Deere 9R 540**

1. Общие сведения:

1.1. Марка трактора

John Deere

1.2. Модель трактора

9R 540

1.3. Область применения

Сельскохозяйственный

1.4. Тип ходовой системы

Колесная

2. Обобщенная техническая характеристика трактора

2.1. Тяговый класс по ГОСТ 27021 – 86 8,0

2.2. Тяговое усилие, кН:

- расчетное по ГОСТ 27021 – 86; 81,75

2.3. Скорости движения, км/ч:

переднего хода:

- наименьшая 4,0

- наибольшая транспортная 40,2

заднего хода:

- наименьшая 4,0

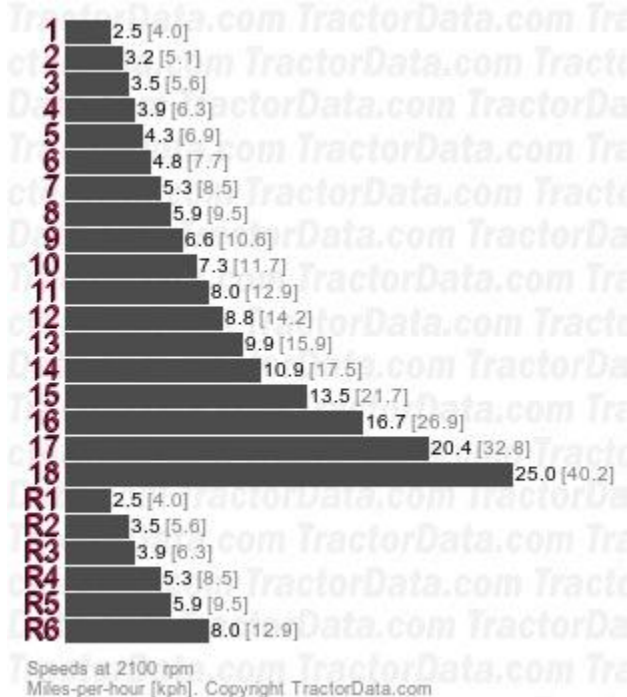
- наибольшая 12,9

2.4. Колесная формула 4к4

2.5. Число передач вперед/назад 18/6

2.6. Наличие коробки диапазонов	С коробкой диапазонов
2.7. Габаритные размеры трактора, мм:	
а) длина	7940
б) ширина по наружным габаритам	4400
в) высота (по верхней точке кабины)	3740
г) база	3910
2.8. Масса трактора, кг	
а) эксплуатационная	20 856
б) максимальная эксплуатационная	28 123
2.9. Двигатель	
2.9.1. Тип двигателя	6-цилиндровый 24-клапанный рядный дизельный двигатель с жидкостным охлаждением
2.9.2. Марка	John Deere
2.9.3. Объем, л	13,6
2.9.4. Мощность по ГОСТ 18509-88, кВт (л.с.)	
- номинальная	397 (532,4) при номинальной частоте вращения
- максимальная	437 (586)
2.9.5. Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	2100
2.9.6. Номинальный крутящий момент, Н м	1550
2.9.7. Максимальный крутящий момент, Н м	2492,3
2.9.8. Выброс вредных веществ с отработавшими газами	Tier 4
2.9.9. Система пуска	Электростартерная
2.9.10. Коробка передач	1. Полный привод 2. Конечные передачи внутренний планетарный 3. Блокировка дифференциала электрогидравлические передние и задние 4. Шарнирно-сочлененная рама, гидроусилитель руля 5. Гидравлические мокрые дисковые тормоза
2.10. Ходовая система	Колесная
2.10.1. Шины:	
основной комплектации	800/70R38
2.11. Система навески	

2.11.1. Давление рабочей жидкости в гидронавесной системе, МПа (кг/см ²)	20 (203,94)
2.11.2. Тип	компенсация давления/расхода с закрытым центром
2.11.3. Гидронасос	Аксиально-поршневой
2.11.4. Производительность насоса, л/мин	
- штатно	208,2
2.12. Рабочее и вспомогательное оборудование	
2.12.1. Отопитель и вентиляционная установка	Система кондиционирования.
2.12.2. Валы отбора мощности	Задний независимый 1000 мин ⁻¹ .
2.13. Электрооборудование	
2.13.1. Ток и напряжение	Постоянный, 12В
2.13.2. Аккумуляторная батарея	3 шт.
2.14. Емкость топливного бака, л:	
- заявленная;	1514
2.15. Теоретические скорости движения	Диаграмма распределения скоростей движения по передачам



2.16. Требуемые ГСМ:	
2.16.1. Двигатель	
а) топливо	Дизельное топливо сорт D класс 2
б) восстановитель оксидов азота (жидкость для выхлопных газов – DEF)	32% водная раствор мочевины DEF
в) моторное масло	SAE 10W-30 сервисной классификации API CK-4

2.16.2. Трансмиссия:

масло для коробки передач,
гидросистемы навески и ведущих
мостов

жидкость John Deere Hy-Gard

3. Характеристики, полученные путем анализа результатов испытаний Лаборатории испытаний тракторов Университета Небраски [32]. Характеристики носят справочный характер и указывают на корреляцию отдельных параметров теоретического расчета и результатов, полученных на реальных образцах тракторов в лабораторно-полевых условиях. Это согласуется с общими принципами и методами испытания тракторов [23-25].

3.1. Параметры двигателя при нагрузке через вал отбора мощности в зависимости от частоты вращения коленчатого вала на участке кривой от максимальной до номинальной мощности приведены на рис. 22 [26, 27]. Характеристика снята в соответствии с требованиями OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Power Take-Off and Engine Tests.

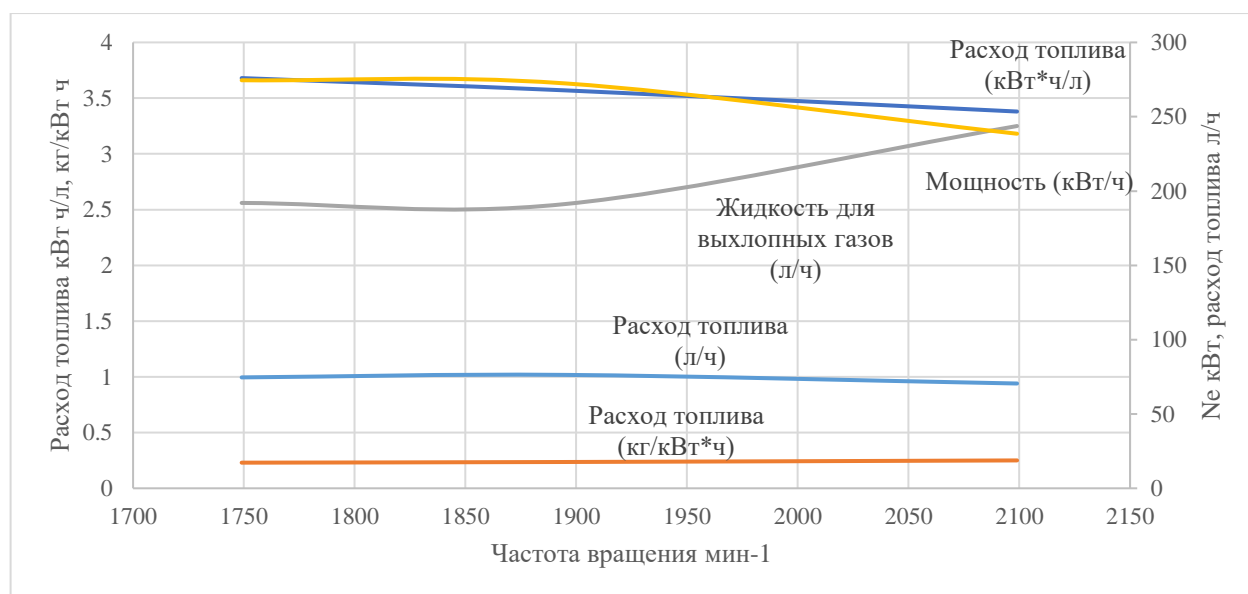


Рисунок 22 – Корректорный участок

3.2. Параметры двигателя в зависимости от частоты вращения коленчатого вала на участке кривой от номинальной мощности до максимальной частоты вращения (регуляторная характеристика) приведены на рис. 23 [28]. Характеристика аналогично снята в соответствии с требованиями OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Power Take-Off and Engine Tests.

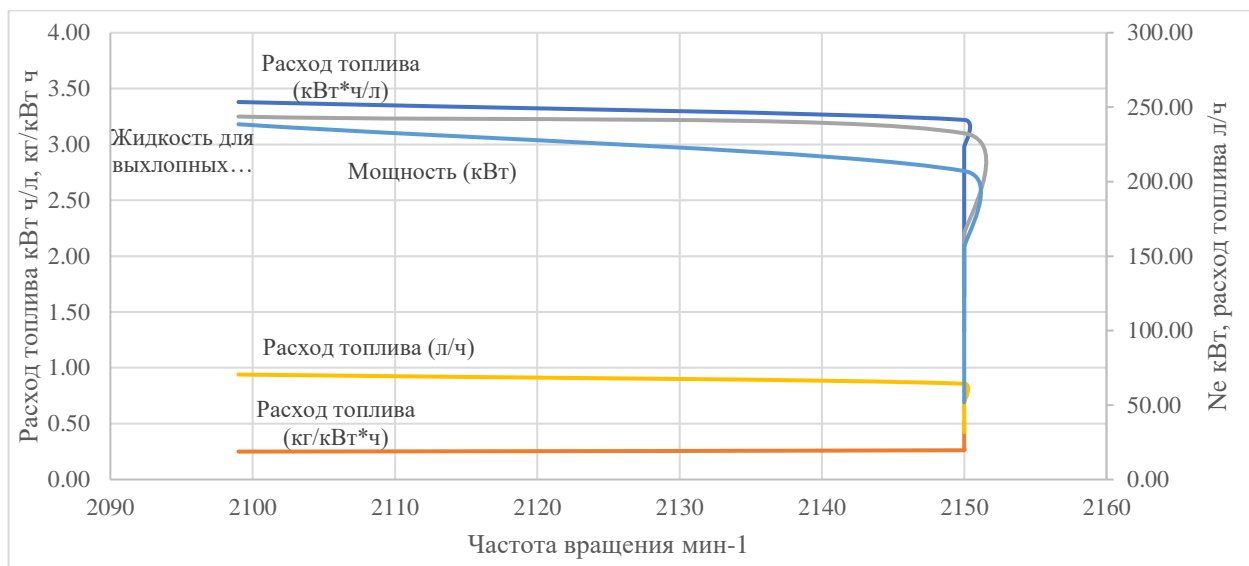


Рисунок 23 – Регуляторный участок

Результаты, полученные в пп. 3.1. и 3.2. отражают поведение внешней скоростной характеристики двигателя в соответствии с ISO 14396. При этом видно, что имеется перепад между номинальным и максимальным значением мощности величиной в 1,142 раза, что говорит об отсутствии т.н. «полки мощности» двигателя. На графике регуляторного участка отмечается повышение расхода топлива до 516 г/кВт ч. При помощи регуляторного участка уточнялось значение $n_{\text{хх}}$.

3.3. Тяговая характеристика трактора на разных передачах при номинальной частоте вращения вала двигателя приведена на рис. 24. Носит справочный характер, демонстрирующий возможности трактора на бетонном основании. Снята в соответствии с OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Drawbar Power and Fuel Consumption (трактор без балласта, ровное бетонное основание или асфальт).

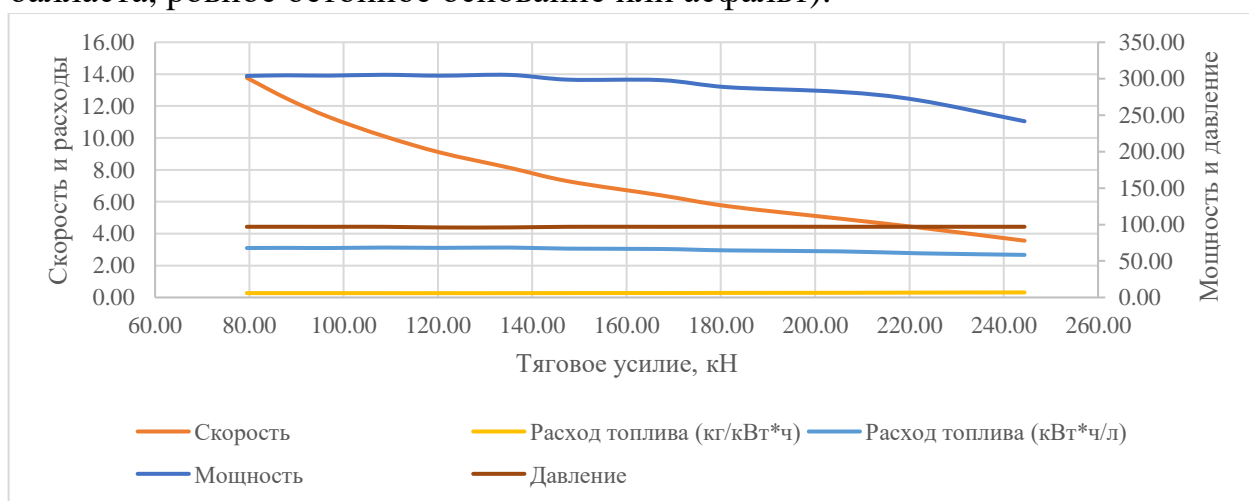


Рисунок 24 – Экспериментальная тяговая характеристика при 2100 мин⁻¹

3.4. На рисунке 25 представлена тяговая характеристика трактора на разных передачах при частоте вращения вала двигателя 1800 мин^{-1} [33]. Носит справочный характер, демонстрирующий возможности трактора на бетонном основании. Снята в соответствии с OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Drawbar Power and Fuel Consumption (трактор без балласта, ровное бетонное основание или асфальт).

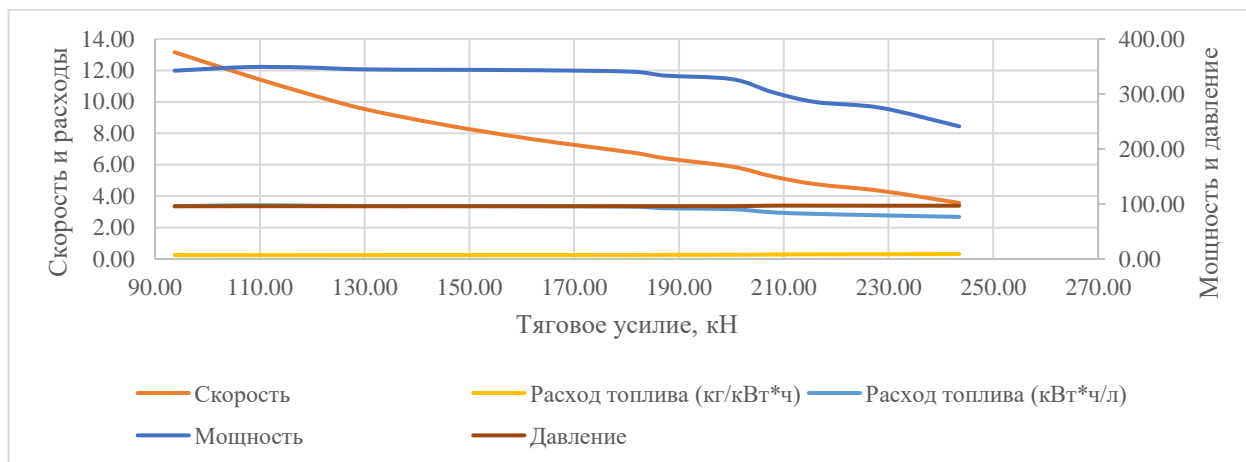


Рисунок 25 – Экспериментальная тяговая характеристика при 1800 мин^{-1}

4. Построение теоретической тяговой характеристики

Ниже приведена теоретическая тяговая характеристика, полученная в результате расчета по зависимостям, указанным в разделе 2, а также с учетом принципов снятия и построения характеристик двигателя [10-14] и общих принципов расчета тяговой динамики тракторов [15, 16].

Начальные условия взяты на основании имеющихся данных, указанных в подразделе 1.5.

Расчетным значением массы принята эксплуатационная – $20\,856 \text{ кг}$, т.к. ее величина достоверно известна.

Граничные условия следующие [17-20]:

- $\varphi_k = 0,7$ – коэффициент сцепления движителей с почвой на сухой стерне;

- $\varphi_{кр.н} = 0,4$ – коэффициент использования веса трактора;

- $f_k = 0,11$ – коэффициент сопротивления качению;

- $\delta_n = 0,14$ – допустимое буксование движителей;

- $\eta_{тр} = 0,87$ – ориентировочное значение КПД трансмиссии.

Дополнительные данные, требуемые для расчета: коробка передач Full-Powershift, с ручным и автоматическим режимом. Номинал скорость движения миль/ч (км/ч) по передачам: первая 2,52 (4,06), вторая 3,12 (5,02), третья 3,44 (5,53), четвертая 3,85 (6,20), пятая 4,24 (6,82), шестая 4,75 (7,65), седьмая 5,24 (8,43), восьмая 5,82 (9,37), девятая 6,46 (10,40), десятая 7,19 (11,57),

одиннадцатая 7,92 (12,74), двенадцатая 8,71 (14,02), тринадцатая 9,77 (15,73), четырнадцатая 10,75 (17,30), пятнадцатая 13,29 (21,38), шестнадцатая 16,40 (26,39), семнадцатая 20,10 (32,34), восемнадцатая 24,78 (39,90), реверс 2,52 (4,06), 3,44 (5,53), 3,85 (6,20), 5,24 (8,43), 5,82 (9,37), 7,92 (12,74).

4.1. Теоретическая внешняя скоростная характеристика двигателя, полученная расчетным путем, приведена на рис. 26.

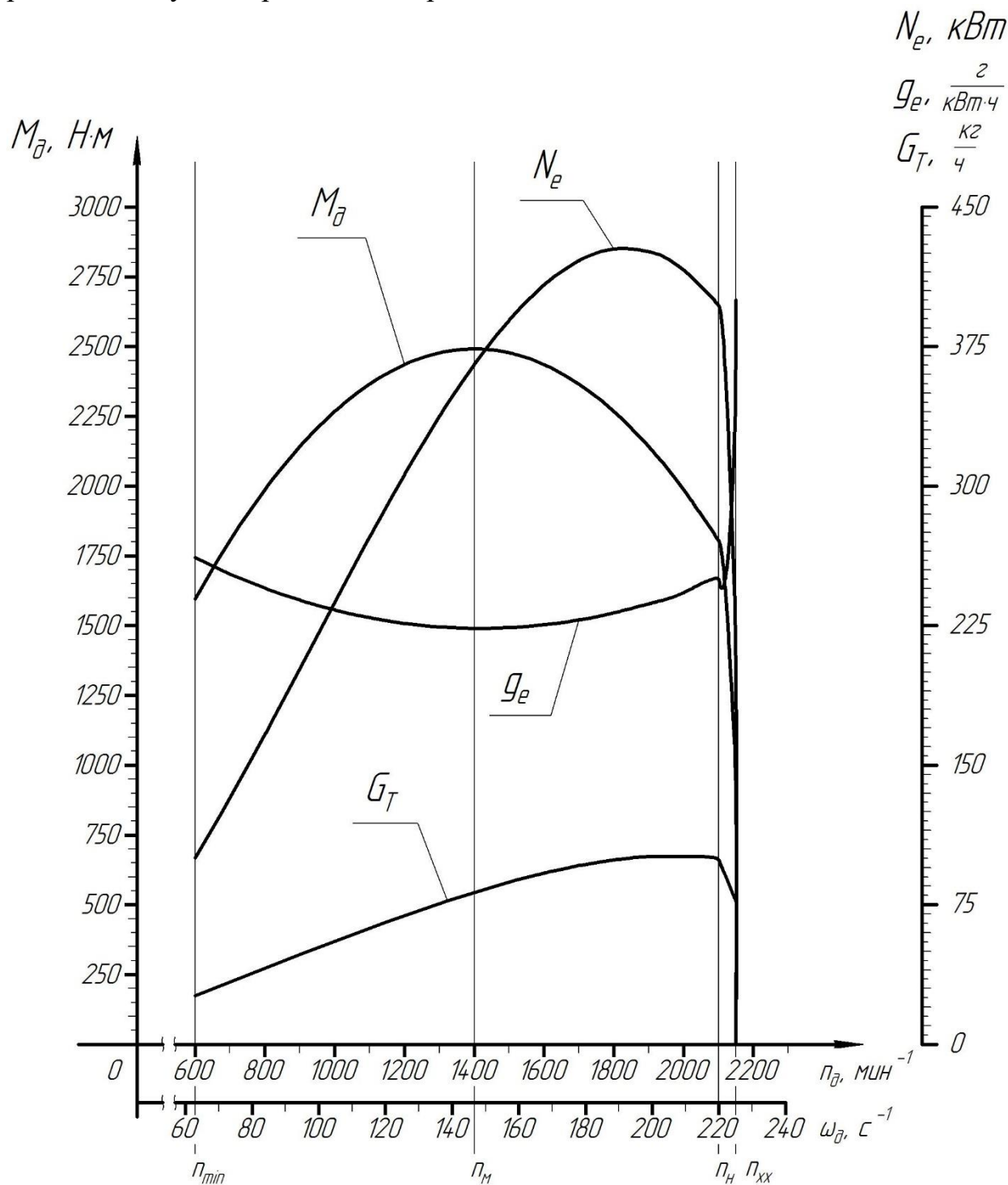


Рисунок 26 – Теоретическая ВСХ двигателя трактора John Deere 9R 540

4.2. Теоретическая кривая буксования, полученная расчетным путем, приведена на рис. 27 [6, 7, 21].

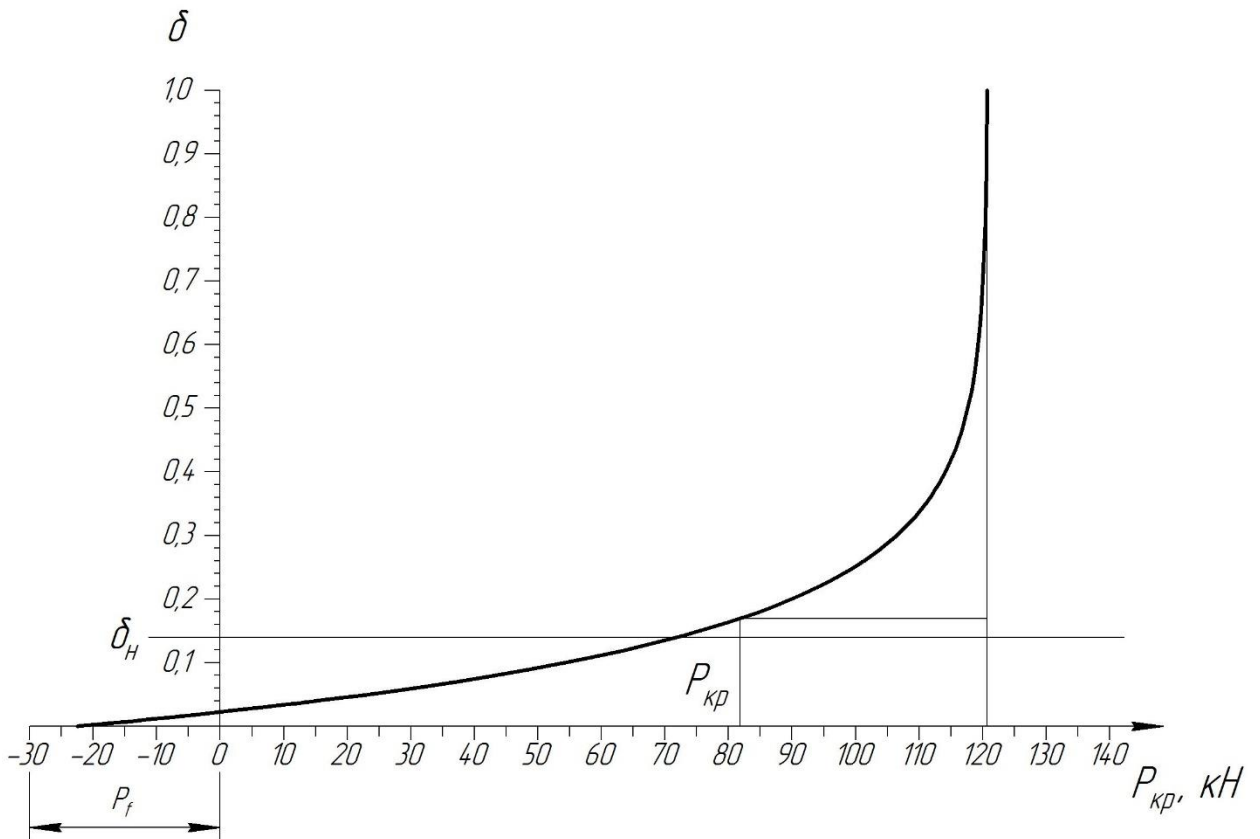


Рисунок 27 – Теоретическая кривая буксования трактора John Deere 9R 540

4.3. Теоретическая тяговая характеристика трактора приведена на рис. 28.

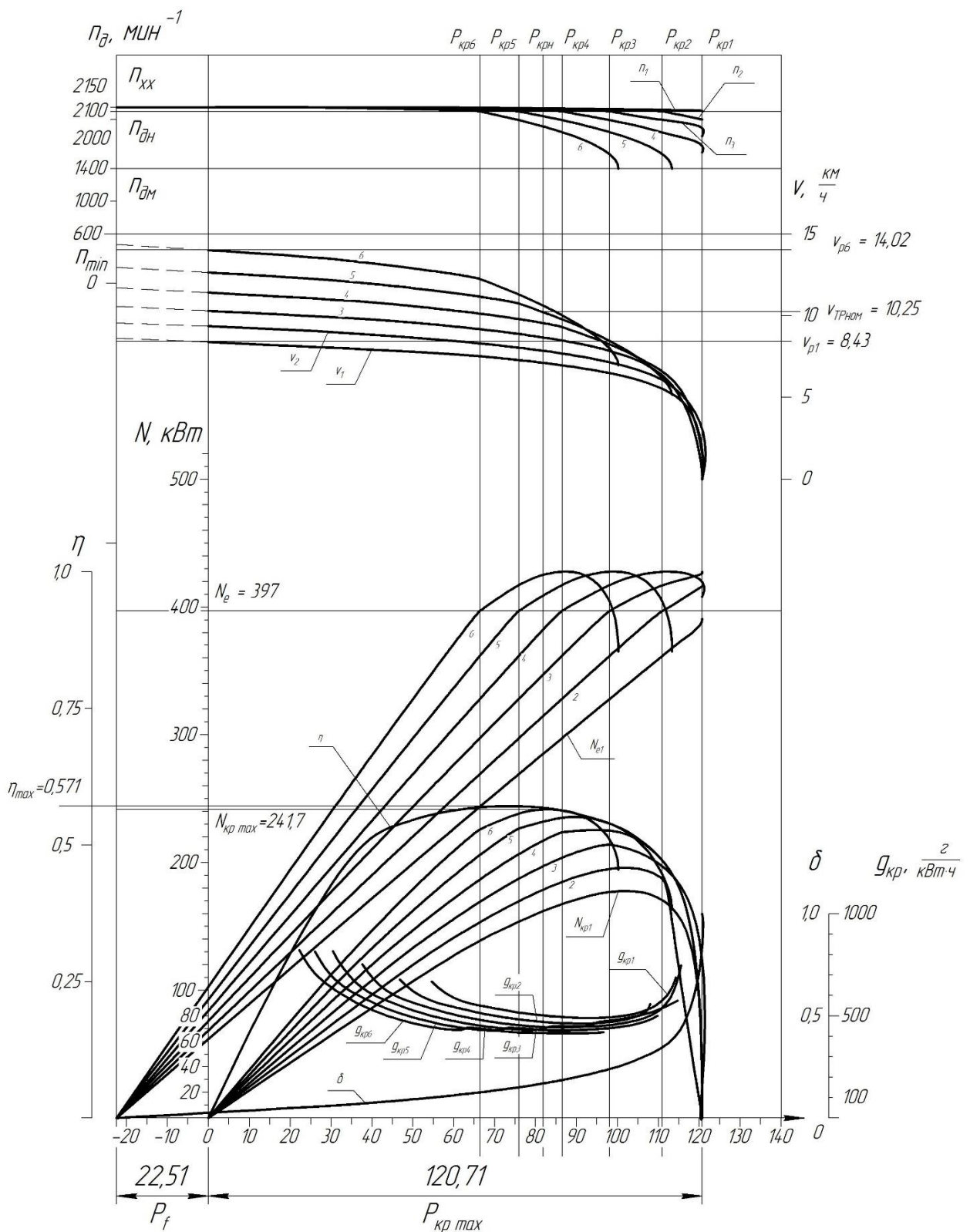


Рисунок 28 – Теоретическая тяговая характеристика трактора John Deere 9R 540

Расчет показывает, что энергонасыщенность трактора $\mathcal{E}_{тр}$ составляет 1,94.

При заданных условиях максимально возможная касательная сила тяги составляет $P_{\text{кmax}} = 143,22$ кН, а сила сопротивления качению $P_f = 22,51$ кН.

Знаменатель геометрической прогрессии по соседним передачам и коэффициент перекрытия соответственно равны $q_i = 0,90$, $k_{\text{п}} = 1,11$.

Максимальный тяговый КПД равен 0,571.

Максимальная крюковая мощность составляет $N_{\text{кр max}} = 241,7$ кВт и реализуется на 6-ой передаче рабочего диапазона.

Номинальное тяговое усилие реализуется между 4-ой и 5-ой передачей рабочего диапазона (верхняя треть диапазона передач), что соответствует номерам передач 9 и 10 всего передаточного ряда из 18 и составляет $P_{\text{кр.н}} = 81,84$ кН, при этом действительная скорость движения при номинальном тяговом усилии составляет 10,25 км/ч.

Подборный анализ тяговой характеристики трактора John Deere 9R 540 приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Результат анализа тяговой характеристики трактора John Deere 9R 540

m_3 , кг	Передача	Сравниваемые параметры при условии						
		$N_{\text{кр}}$, кВт	$P_{\text{кр}}$, кН	v , км/ч	δ , %	$g_{\text{кр}}$, г/кВт ч	G_t , кг/ч	
Для номинального тягового усилия $P_{\text{кр.н}} = 81,84$ кН (выбрано в соответствии с ГОСТ 27021-86 по зависимости $P_{\text{кр ном}} = 3,92 \cdot 10^{-3} m_3$, что равноценно $P_{\text{кр ном}} = 9,81 m_3 \varphi_{\text{кр.н}} \cdot 10^{-3}$, где $\varphi_{\text{кр.н}} = 0,4$								
20 856	1	162,0	–	7,12	0,169	501,7	81,3	
	2	178,8		7,87		470,4	84,1	
	3	197,2		8,68		445,2	87,8	
	4	217,2		9,55		436,0	94,7	
	5	232,1		10,22		431,0	100,0	
	6	241,6		10,62		416,3	100,6	
	Для наибольшей мощности на передаче							
	1	177,8	102,1	6,27	0,265	502,5	89,3	
	2	195,9	101,8	6,93	0,263	481,6	94,4	
	3	214,0	97,8	7,87	0,238	476,8	102,0	
	4	225,5	94,9	8,57	0,223	449,4	101,3	
	5	235,9	89,7	9,46	0,200	430,1	101,5	
	6	241,6	82,7	10,51	0,172	415,8	100,5	
	Для максимальной мощности $N_{\text{кр max}} = 241,7$, кВт							
	6	241,7	82,7	10,52	0,172	415,8	100,5	
	Для допустимого буксования $\delta_{\text{н}}$							
	1	147,8	71,9	7,40	0,140	530,2	78,4	
	2	163,2		8,17		494,1	80,6	
	3	180,1		9,02		463,5	83,5	
	4	198,7		9,95		439,0	87,2	
	5	218,8		10,95		434,5	95,1	
6	233,7	11,71		424,8		99,3		

<i>m</i> , кг	Передача	Сравниваемые параметры при условии					
		<i>N</i> _{кр} , кВт	<i>P</i> _{кр} , кН	<i>v</i> , км/ч	δ , %	<i>g</i> _{кр} , г/кВт ч	<i>G</i> _т , кг/ч
Номинальное значение при передаче							
1	0	120,7	0	1	∞	0	99,2
2	187,0	111,0	1,68	0,350	530,8		
3	214,0	98,1	2,18	0,240	463,8		
4	223,6	86,5	2,59	0,186	443,8		
5	226,7	75,9	2,99	0,151	437,8		
6	226,0	66,4	3,40	0,126	439,2		
Диапазон тяговых усилий и скоростей, соответствующих минимальному расходу топлива							
6-4	–	58,1 ... 95,0	12,62 ... 8,56	0,108 ... 0,224	414,2 (+5%) 434,9	–	

**1.6. Обобщенные тягово-экономические показатели колесного сельскохозяйственного трактора производства John Deere Tractor Works, 3500 East Donald St., P.O. Box 270, Waterloo IA, 50704-0270, США
John Deere 9570R**

1. Общие сведения:

1.1. Модель трактора
9570R

1.2. Область применения
Сельскохозяйственный

1.3. Тип ходовой системы
Колесная

2. Обобщенная техническая характеристика трактора

2.1. Тяговый класс по ГОСТ 27021 – 86 8,0

2.2. Тяговое усилие, кН:
- расчетное по ГОСТ 27021 – 86; 77,44

2.3. Скорости движения, км/ч:
переднего хода:

- наименьшая 4,1
- наибольшая транспортная 40,2

заднего хода:

- наименьшая 4,1
- наибольшая 12,8

2.4. Колесная формула 4к4

2.5. Число передач вперед/назад 18/6

2.6. Наличие коробки диапазонов С коробкой диапазонов

2.7. Габаритные размеры трактора, мм:
а) длина 8110

б) ширина по наружным габаритам	4900
в) высота (по верхней точке кабины)	3680
г) база	3910
2.8. Масса трактора, кг	
а) эксплуатационная	19 754
б) максимальная эксплуатационная	27 216
2.9. Двигатель	
2.9.1. Тип двигателя	1. Дизель 6-цилиндровый с жидкостным охлаждением смещение
2.9.2. Марка	John Deere
2.9.3. Объем, л	14,9
2.9.4. Мощность по ГОСТ 18509-88, кВт (л.с.)	
- номинальная	425 (570) при номинальной частоте вращения
- максимальная	468,3 (628)
2.9.5. Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	2100
2.9.6. Выброс вредных веществ с отработавшими газами	Tier 4
2.9.7. Система пуска	Электростартерная
2.9.8. Коробка передач	1. Полный привод 2. Блокировка дифференциала электрогидравлические передние и задние 3. Шарнирно-сочлененный гидроусилитель руля 4. Гидравлические мокрые дисковые тормоза 5. Тормоза прицепа гидравлический вариант
2.10. Ходовая система	Колесная
2.10.1. Шины: основной комплектации	710/70R38
2.11. Система навески	
2.11.1. Давление рабочей жидкости в гидронавесной системе, МПа (кг/см ²)	20 (203,94)
2.11.2. Тип	компенсация давления/расхода с закрытым центром
2.11.3. Гидронасос	Аксиально-поршневой
2.11.4. Производительность насоса, л/мин	
- штатно	219,5

- 2.12. Рабочее и вспомогательное оборудование
- 2.12.1. Отопитель и вентиляционная установка
- 2.12.2. Валы отбора мощности
- 2.13. Электрооборудование
- 2.13.1. Ток и напряжение
- 2.13.2. Аккумуляторная батарея
- 2.14. Емкость топливного бака, л:
- заявленная;
- 2.15. Теоретические скорости движения

Стандартная кабина Command View Cab III с кондиционером. AutoTrac готов; ИЗОБУС 11783

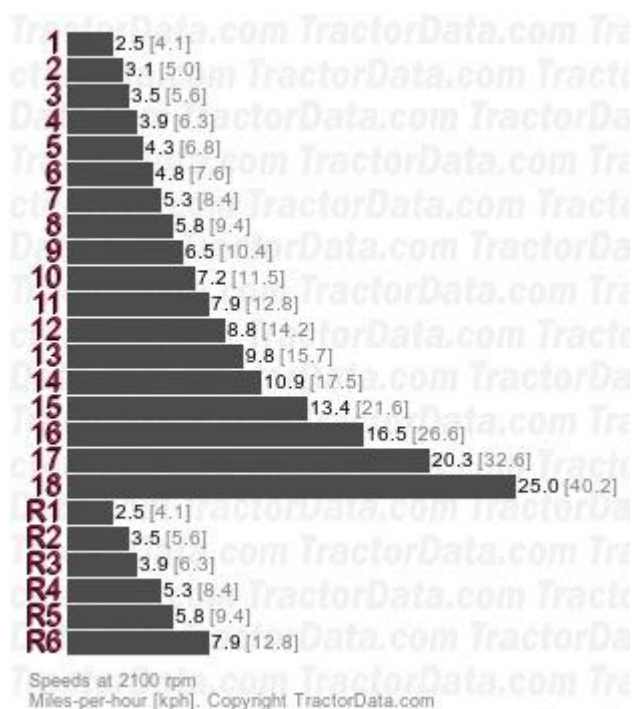
Задний независимый 1000 мин⁻¹.

Постоянный, 12В

4 шт., Напряжение ОСО – 925 В

1514

Диаграмма распределения скоростей движения по передачам



- 2.16. Требуемые ГСМ:
- 2.16.1. Двигатель
- а) топливо
- б) восстановитель оксидов азота (жидкость для выхлопных газов – DEF)
- в) моторное масло
- 2.16.2. Трансмиссия:
масло для коробки передач, гидросистемы навески и ведущих мостов

Дизельное топливо сорт D класс 2

32% водная раствор мочевины DEF

SAE 10W-30 сервисной классификации API CJ-4

жидкость John Deere Hy-Gard

3. Характеристики, полученные путем анализа результатов испытаний Лаборатории испытаний тракторов Университета Небраски [34]. Характеристики носят справочный характер и указывают на корреляцию отдельных параметров теоретического расчета и результатов, полученных на реальных образцах тракторов в лабораторно-полевых условиях. Это согласуется с общими принципами и методами испытания тракторов [23-25].

3.1. Параметры двигателя при нагрузке через вал отбора мощности в зависимости от частоты вращения коленчатого вала на участке кривой от максимальной до номинальной мощности приведены на рис. 29 [26, 27]. Характеристика снята в соответствии с требованиями OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Power Take-Off and Engine Tests.

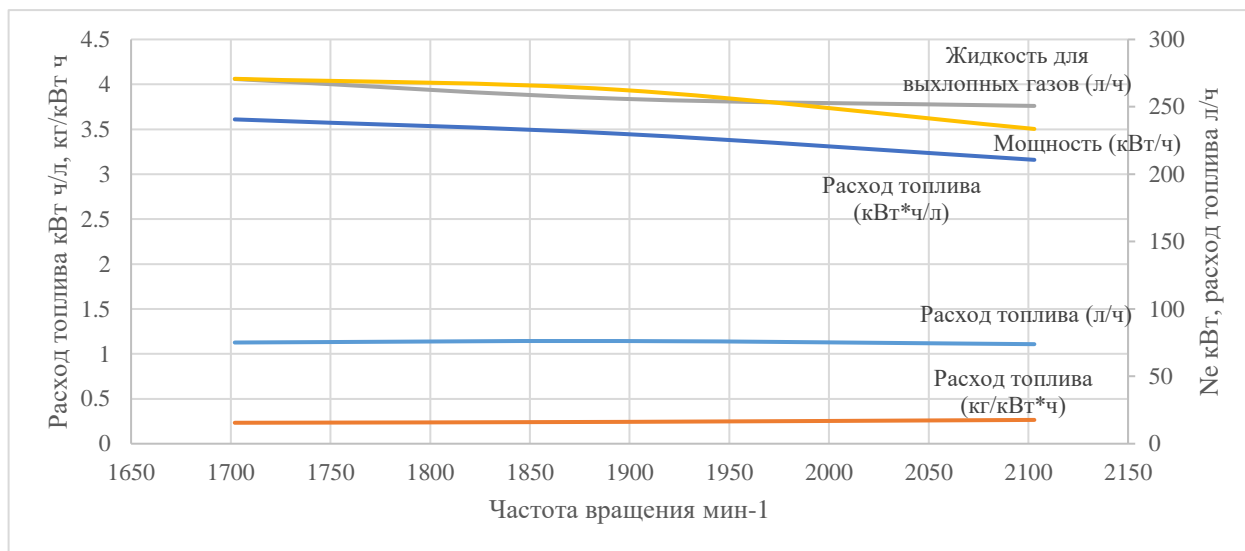


Рисунок 29 – Корректорный участок

3.2. Параметры двигателя в зависимости от частоты вращения коленчатого вала на участке кривой от номинальной мощности до максимальной частоты вращения (регуляторная характеристика) приведены на рис. 30 [28]. Характеристика аналогично снята в соответствии с требованиями OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Power Take-Off and Engine Tests.

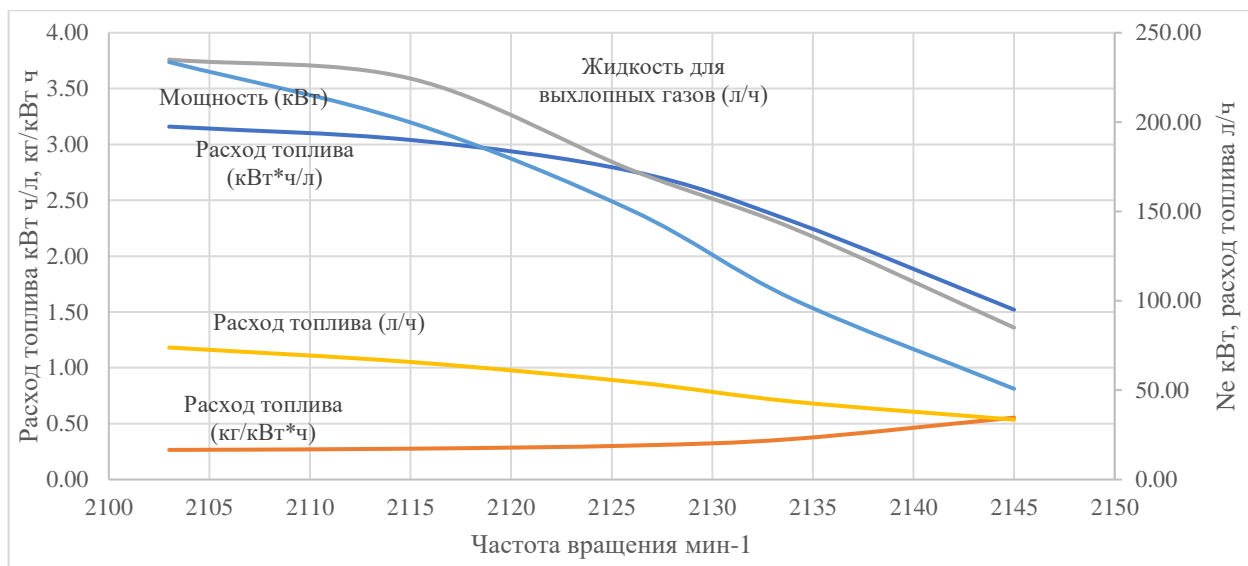


Рисунок 30 – Регуляторный участок

Результаты, полученные в пп. 3.1. и 3.2. отражают поведение внешней скоростной характеристики двигателя в соответствии с ISO 14396. При этом видно, что имеется перепад между номинальным и максимальным значением мощности величиной в 1,16 раза, что говорит об отсутствии т.н. «полки мощности» двигателя. На графике регуляторного участка имеется повышение расхода топлива до 554 г/кВт ч.

3.3. Тяговая характеристика трактора на разных передачах при номинальной частоте вращения вала двигателя приведена на рис. 31. Носит справочный характер, демонстрирующий возможности трактора на бетонном основании. Снята в соответствии с OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Drawbar Power and Fuel Consumption (трактор без балласта, ровное бетонное основание или асфальт).

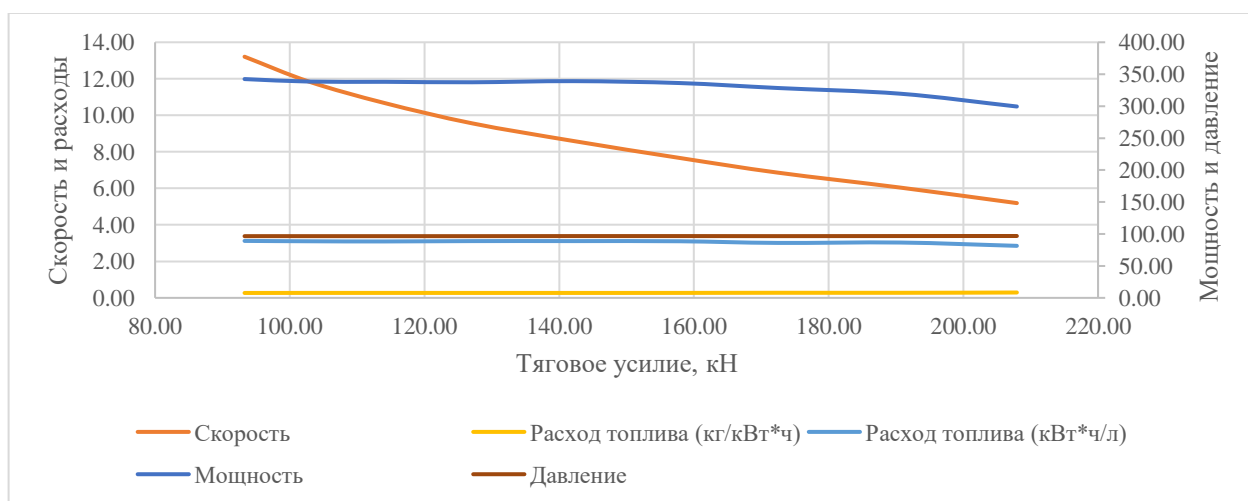


Рисунок 31 – Экспериментальная тяговая характеристика при 2100 мин⁻¹

3.4. На рисунке 32 представлена тяговая характеристика трактора на разных передачах при частоте вращения вала двигателя 1800 мин^{-1} . Носит справочный характер, демонстрирующий возможности трактора на бетонном основании. Снята в соответствии с OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Drawbar Power and Fuel Consumption (трактор без балласта, ровное бетонное основание или асфальт).

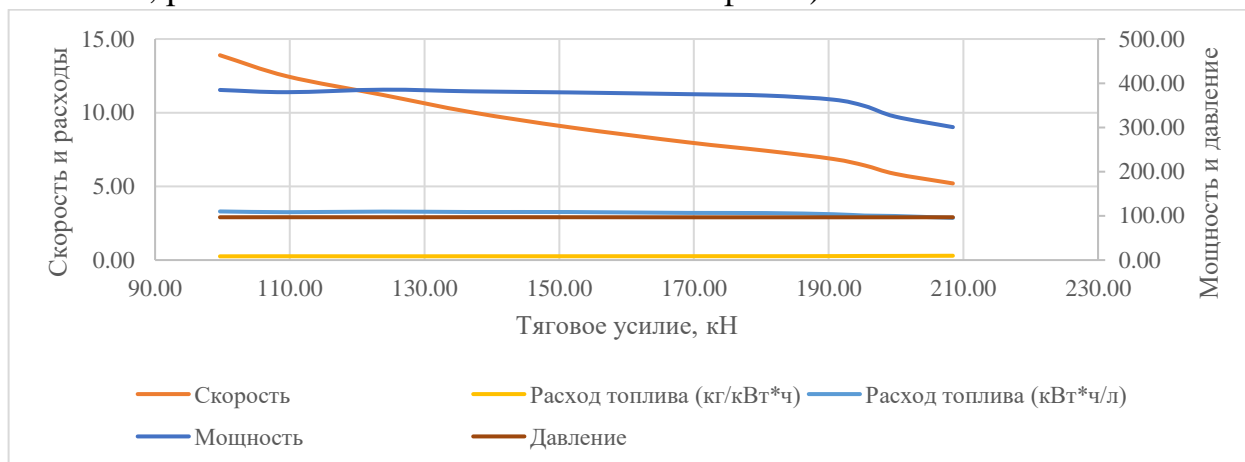


Рисунок 32 – Экспериментальная тяговая характеристика при 1800 мин^{-1}

4. Построение теоретической тяговой характеристики

Ниже приведена теоретическая тяговая характеристика, полученная в результате расчета по зависимостям, указанным в разделе 2, а также с учетом принципов снятия и построения характеристик двигателя [10-14] и общих принципов расчета тяговой динамики тракторов [15, 16].

Начальные условия взяты на основании имеющихся данных.

В качестве расчетной была принята собственная масса трактора без грузов, замеренная при испытаниях в Небраске – 21 790 кг [34], т.к. в открытом доступе имеются только сведения о минимальной массе в состоянии отгрузки, которая не может быть принята расчетной, и максимальной эксплуатационной массе.

Граничные условия следующие [17-20]:

- $\varphi_k = 0,7$ – коэффициент сцепления движителей с почвой на сухой стерне;

- $\varphi_{кр.н} = 0,4$ – коэффициент использования веса трактора;

- $f_k = 0,11$ – коэффициент сопротивления качению;

- $\delta_n = 0,14$ – допустимое буксование движителей;

- $\eta_{тр} = 0,87$ – ориентировочное значение КПД трансмиссии.

Дополнительные данные, требуемые для расчета: коробка передач Full-Powershift, с ручным и автоматическим режимом. Номинальная скорость

движения миль/ч (км/ч) по передачам: первая 2,37 (3,81), вторая 2,91 (4,69), третья 3,23 (5,19), четвертая 3,60 (5,79), пятая 3,96 (6,38), шестая 4,42 (7,12), седьмая 4,90 (7,89), восьмая 5,47 (8,81), девятая 6,03 (9,71), десятая 6,74 (10,84), одиннадцатая 7,46 (12,01), двенадцатая 8,25 (13,27), тринадцатая 9,18 (14,77), четырнадцатая 10,15 (16,33), пятнадцатая 12,54 (20,18), шестнадцатая 15,43 (24,83), семнадцатая 19,08 (30,70), восемнадцатая 23,48 (37,78), реверс 2,37 (3,81), 3,23 (5,19), 3,60 (5,79), 4,90 (7,89), 5,47 (8,81), 7,46 (12,01).

4.1. Теоретическая внешняя скоростная характеристика двигателя, полученная расчетным путем, приведена на рис. 33.

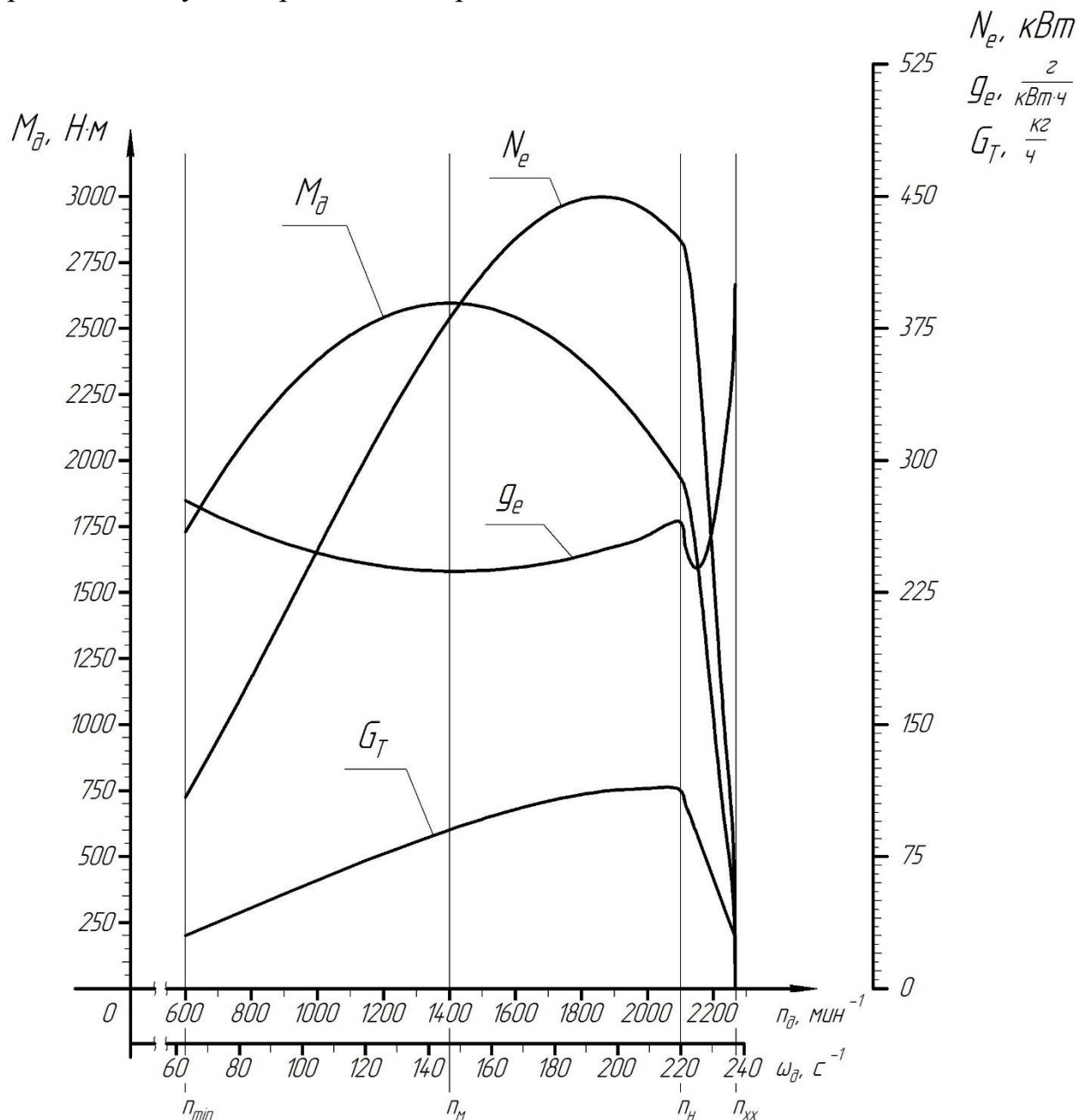


Рисунок 33 – Теоретическая ВСХ двигателя трактора John Deere 9570R

4.2. Теоретическая кривая буксования, полученная расчетным путем, приведена на рис. 34 [6, 7, 21].

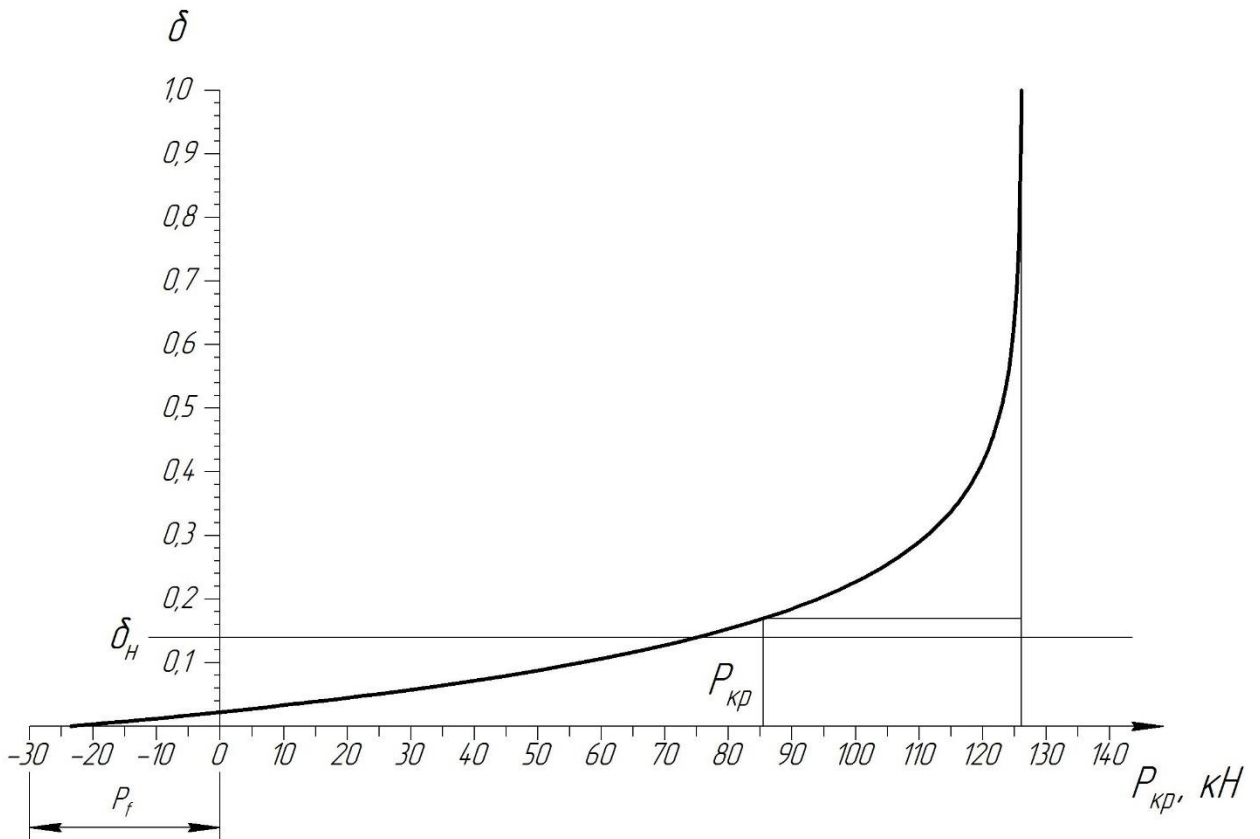


Рисунок 34 – Теоретическая кривая буксования трактора John Deere 9570R

4.3. Теоретическая тяговая характеристика трактора приведена на рис. 35.

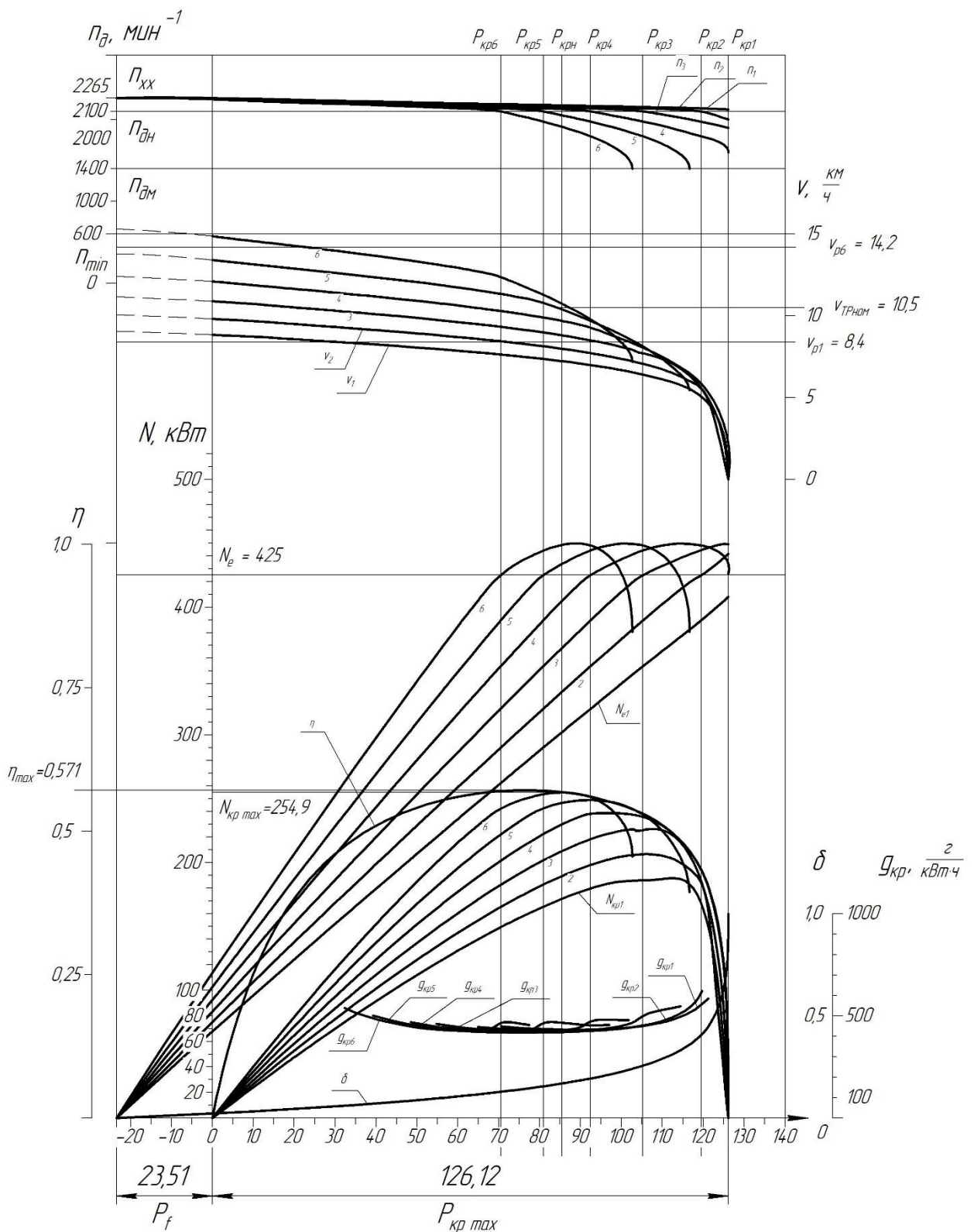


Рисунок 35 – Теоретическая тяговая характеристика трактора John Deere 9570R

Расчет показывает, что энергонасыщенность трактора $\mathcal{E}_{тр}$ составляет 1,99.

При заданных условиях максимально возможная касательная сила тяги составляет $P_{\text{кmax}} = 149,63$ кН, а сила сопротивления качению $P_f = 23,51$ кН.

Знаменатель геометрической прогрессии по соседним передачам и коэффициент перекрытия соответственно равны $q_i = 0,90$, $k_{\text{п}} = 1,11$.

Максимальный тяговый КПД равен 0,571.

Максимальная крюковая мощность составляет $N_{\text{кр max}} = 254,9$ кВт и реализуется на 6-ой передаче рабочего диапазона.

Номинальное тяговое усилие реализуется между 4-ой и 5-ой передачей рабочего диапазона (верхняя треть диапазона передач), что соответствует передачам 9 и 10 всего передаточного ряда из 18 и составляет $P_{\text{кр.н}} = 85,50$ кН, при этом действительная скорость движения при номинальном тяговом усилии составляет 10,5 км/ч.

Подборный анализ тяговой характеристики трактора John Deere 9570R приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Результат анализа тяговой характеристики трактора John Deere 9570R

m_3 , кг	Передача	Сравниваемые параметры при условии						
		$N_{\text{кр}}$, кВт	$P_{\text{кр}}$, кН	v , км/ч	δ , %	$g_{\text{кр}}$, г/кВт ч	G_t , кг/ч	
Для номинального тягового усилия $P_{\text{кр.н}} = 85,50$ кН (выбрано в соответствии с ГОСТ 27021-86 по зависимости $P_{\text{кр ном}} = 3,92 \cdot 10^{-3} m_3$, что равноценно $P_{\text{кр ном}} = 9,81 m_3 \varphi_{\text{кр.н}} \cdot 10^{-3}$, где $\varphi_{\text{кр.н}} = 0,4$								
21 790	1	171,7	–	7,23	0,169	432,9	74,3	
	2	189,6		7,98		424,2	80,4	
	3	209,1		8,81		420,4	87,9	
	4	230,1		9,69		429,1	98,7	
	5	246,8		10,39		467,1	115,3	
	6	254,9		10,73		442,6	112,8	
	Для наибольшей мощности на передаче							
	1	187,9	112,6	5,93	0,313	482,1	90,6	
	2	206,6	106,1	7,01	0,261	456,0	94,2	
	3	226,4	107,8	7,55	0,273	519,2	117,5	
	4	238,8	96,8	8,90	0,212	481,7	115,1	
	5	248,9	92,4	9,70	0,194	454,6	113,2	
	6	254,9	85,7	10,71	0,170	442,6	112,8	
	Для максимальной мощности $N_{\text{кр max}} = 254,9$, кВт							
	6	254,9	85,68	10,71	0,170	442,6	112,8	
	Для допустимого буксования $\delta_{\text{н}}$							
	1	156,9	75,1	7,52	0,140	441,4	69,3	
	2	173,5		8,31		430,0	74,6	
3	191,6	9,18		421,5		80,8		
4	211,3	10,12		418,0		88,4		
5	232,4	11,13		427,6		99,4		
6	248,7	11,90		462,9		115,1		

<i>m</i> , кг	Передача	Сравниваемые параметры при условии					
		<i>N</i> _{кр} , кВт	<i>P</i> _{кр} , кН	<i>v</i> , км/ч	δ , %	<i>g</i> _{кр} , г/кВт ч	<i>G</i> _т , кг/ч
Номинальное значение при передаче							
1	0	126,1	0	1	∞	0	112,6
2	184,1	119,5	1,54	0,405	611,6		
3	225,4	105,2	2,14	0,256	499,7		
4	238,2	92,4	2,58	0,194	472,8		
5	242,5	80,9	3,00	0,155	464,4		
6	242,2	70,4	3,44	0,128	465,0		
Диапазон тяговых усилий и скоростей, соответствующих минимальному расходу топлива							
6-1	–	51,9 ... 101,6	13,25 ... 7,91	0,091 ... 0,235	418,0 (+5%) 438,9	–	

1.7. Обобщенные тягово-экономические показатели колесного сельскохозяйственного трактора производства CNH America LLC, 700 State St. Racine, WI. 53404, США Case IH Steiger 500

1. Общие сведения

1.1 Марка трактора: Case IH

1.2 Модель трактора: Steiger 500

1.3 Область применения: сельскохозяйственный

1.3 Тип ходовой системы: колесная

1.4 Назначение: Трактор Case IH Steiger 500 - мощный сельскохозяйственный трактор, который используется для выполнения широкого спектра задач на полевых работах. Основным назначением является использование на пахоте, при внесении удобрений, посеве сельскохозяйственных культур, а также для других процессов, связанных с обработкой земли и уходом за посевами. Трактор способен выполнять различные работы благодаря поддержке большого количества навесных и прицепных орудий, которые, помимо указанного, можно использовать при бороновании, окучивании и подготовке почвы к посеву разными способами.

2. Техническая характеристика

2.1. Тяговый класс по ГОСТ 27021 – 86 8,0

2.2. Тяговое усилие, кН:

- расчетное по ГОСТ 27021 – 86 99

2.3. Скорости движения, км/ч:

переднего хода:

- наименьшая 4,4

- наибольшая транспортная 34,0

заднего хода:

- наименьшая	6,7
- наибольшая	13,4
2.4. Колесная формула	4к4б
2.5. компоновка	с шарнирно-сочлененной рамой
2.6. Схема поворота	За счет складывания полурам
2.7. Число передач вперед/назад	16/2
2.8. Наличие коробки диапазонов	Сквозной передаточный ряд
2.9. Габаритные размеры трактора, мм:	
а) длина	7615
б) ширина по наружным габаритам	3048
в) высота	3963
г) база	3910
2.10. Масса трактора, кг	
а) эксплуатационная с одинарными колесами	17 913
б) максимальная эксплуатационная	25 401
2.11. Наименьший радиус поворота, м	5,7
2.12. Двигатель	
2.12.1. Тип двигателя	Дизельный, 6-цилиндровый с турбонаддувом и принудительным охлаждением двигателя после остановки
2.12.2. Марка и модель	FPT Cursor 13
2.12.3. Объем, л	12,9
2.12.4. Мощность по ГОСТ 18509-88, кВт (л.с.)	
- номинальная	373 (508) при номинальной частоте вращения
- максимальная	410 (558) при 1900 мин ⁻¹
- номинальная мощность с Power Boos	403 (548)
2.12.5. Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	2100
2.12.6. Коэффициент запаса крутящего момента	1,4 (при 1400 мин ⁻¹)
2.12.7. Номинальный крутящий момент, Н м	1696 (при 2100 мин ⁻¹)
2.12.8. Максимальный крутящий момент, Н м	2374 (при 1400 мин ⁻¹)
2.12.9. Выброс вредных веществ с отработавшими газами	Tier 2
2.12.10. Система пуска	Электростартерная
2.12.11. Система впрыска	Распределенная – Common rail
2.12.12. Цифровые системы	Вспомогательная электроника Case IH SCR, обеспечивающая экономичный расход топлива и снижение вредных выбросов.
2.13. Силовая передача	

2.13.1. Муфта сцепления

2.13.2. Коробка передач

Функциональная, многодисковая, мокрая, работающая в масляной ванне
Тип Powershift

PS4

Механическая с шестернями постоянного зацепления, с переключением передач на ходу без разрыва потока мощности в зависимости от нагрузки и скорости движения при помощи мокрых многодисковых муфт, работающих в масляной ванне.

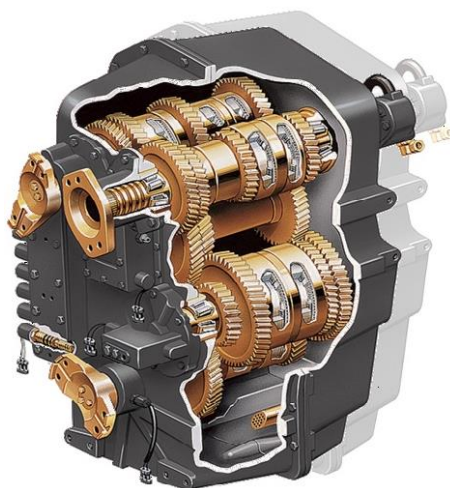
Механизм управления – электрогидравлический.

16 передач переднего хода и 2 передачи заднего хода.

Возможность включения реверса без разрыва потока мощности.

Режим работы:

- автоматический – выбор оптимального скоростного режима в зависимости от нагрузки;
- ручной – переключение скоростей последовательной вручную.

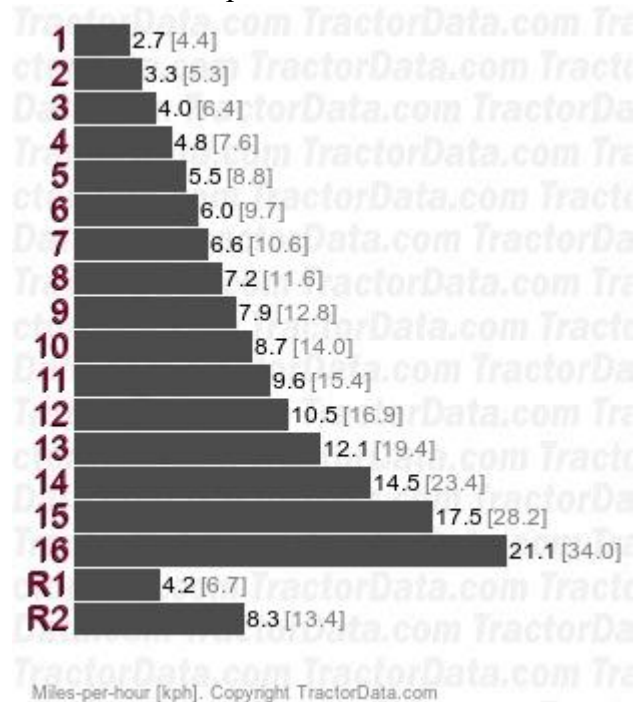


2.13.3. Теоретические скорости движения

- вперед:
4,4 – 34 км/ч

- назад:
6,7 – 13,4 км/ч

Диаграмма распределения скоростей движения по передачам и диапазонам



2.13.4. Привод переднего и заднего моста

Карданный.

2.13.5. Тип моста

Отдельная балка с коническим редуктором и межколесным дифференциалом; механизмы с принудительной смазкой; полуоси усиленные – диаметр 5 дюймов (115 мм), подходят для установки строенных колес.

2.13.6. Дифференциал заднего моста

Шестеренный, блокируемый посредством фрикционной многодисковой муфты в масляной ванне с электронным управлением и принудительной или автоматической блокировкой.

2.13.7. Дифференциал переднего моста

Шестеренный, блокируемый посредством фрикционной многодисковой муфты в масляной ванне с электронным управлением и принудительной или автоматической блокировкой.

2.13.8. Конечные передачи мостов

Двухступенчатые, планетарного типа, расположенные у дифференциала.

2.14. Ходовая система

Колесная, передние и задние колеса ведущие.

2.14.1. Шины:

- основной комплектации

710/70R42

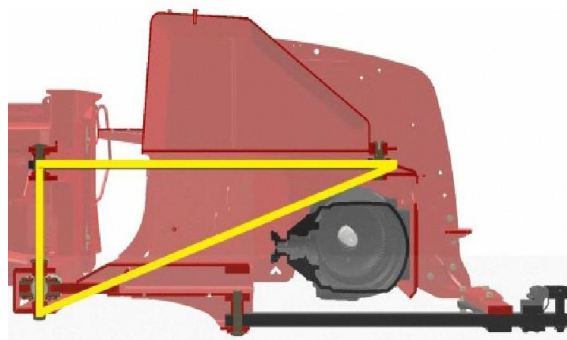
2.14.2. Тормоза

Сдвоенные дисковые с сухими суппортами

2.14.3. Рулевое управление

Ручное, гидрообъемного типа за счет управления цилиндрами полурам.

Шарнирное сочленение выполнено по трехточечной схеме. Угол осцилляции 42 градуса обеспечивает трактору непревзойденную маневренность на разворотной полосе.



2.15. Система навески

2.15.1. Давление рабочей жидкости в гидронавесной системе, МПа (кг/см²)

21,0 (207) - номинальное

2.15.2. Тип

с переменным объемом и компенсацией по давлению и потоку аксиально-поршневой (опционально) Заднее, трехточечного типа CAT IV-N с грузоподъемностью на оси подвеса 8900 кг.

2.15.3. Гидронасос

2.15.4. Навесные устройства

Электрогидравлический секционный распределитель для заднего навесного устройства, 5-и позиционный (подъем, опускание, нейтральное положение, плавающее положение и постоянный расход регулируемый по времени – расход до 114 л/мин на контур).

2.15.5. Наличие гидравлических распределителей

Количество секций:

- 4 пары гидромуфт;

- (опционально) 8 пар гидромуфт.

2.15.6. Производительность насоса, л/мин

- штатно

159

- опционально

216

- опционально

428 (при установке двух гидронасосов)

2.16. Рабочее и вспомогательное оборудование

2.16.1. Кабина

Прочная цельнометаллическая конструкция из высокопрочного сплава, многослойная тепло- и шумоизоляция. Действующий стандарт защиты от коррозии и других внешних воздействий. Конструкция кабины предусматривает наличие климатической системы, а также эргономичных органов

	<p>управления. Компактный джойстик управления размещен на правой рукоятке водительского сиденья. С его помощью можно управлять основными рабочими органами трактора. Сиденье и рулевую колонку можно отрегулировать в зависимости от комплекции оператора, подстроить под свой рост и габариты. Широкая площадь остекления, в том числе имеющийся люк на крыше, обеспечивает идеальный обзор в пределах допустимой рабочей зоны. Объем 3,7 м³. Остекление – 8,18 м².</p>
2.16.2. Сиденье водителя	Пневматическое сиденье, регулируемое.
2.16.3. Приборы	Сенсорный дисплей отображает следующие отдельные показатели: степень нагрузки, положение орудия, контроль температуры и масляного давления.
2.16.4. Дополнительные системы	Встроенная система безопасности – защищает и трактор, и самого оператора от непродуманных действий. Например, в случае превышения допустимой нагрузки срабатывает ограничитель. В крайних случаях в ситуацию может вмешаться оператор. Та или иная неполадка обнаруживается автоматически, и отображается на центральном сенсорном дисплее и дублируется звуковым сигналом.
2.16.5. Отопитель и вентиляционная установка	Климатическая система.
2.16.6. Средства управления и функции	<p>Рулевое колесо для изменения направления движения.</p> <p>Компактный джойстик управления основными рабочими органами трактора размещен на правой рукоятке водительского сиденья.</p>
2.16.7. Валы отбора мощности (опция)	<p>Задний независимый с приводом от коробки передач 1000 мин⁻¹.</p> <p>Тип хвостовика: 1 ¾" (44,45 мм) – 20 шлицев.</p>
2.16.8. Тягово-сцепные устройства	<p>Тяговый брус трактора с максимально допустимой вертикальной нагрузкой 2722 кг, диаметром сцепного пальца 51 мм и тяговым усилием 22453 кг.</p> <p>(Опция) Усиленный тяговый брус с максимально допустимой вертикальной нагрузкой 4983 кг.</p>
2.17. Электрооборудование	

2.17.1. Ток и напряжение	Постоянный, 12В
2.17.2. Генератор	Переменного тока 12В, 240А
2.17.3. Аккумуляторная батарея	2 шт., 12 В необслуживаемые, 1000 ССА (максимальный пусковой ток при холодном запуске двигателя)
2.17.4. Освещение	фары на радиаторной решетке, 2 передние, 2 задние, 2 боковые фары, установленные на крыше кабины.
2.18. Несущая система	Рамная, шарнирно-сочлененная, с возможностью складывания на угол до 42 градусов.
2.19. Топливная система и ГСМ	
2.19.1. Двигатель	
а) топливо	Дизельное топливо сорт D класс 2
б) восстановитель оксидов азота (жидкость для выхлопных газов – DEF)	32% водная раствор мочевины DEF
в) моторное масло	SAE 15W-40 API сервисной классификации CI-4
2.19.2. Трансмиссии:	
а) масла для коробки передач	Case IH Hytran Ultra
б) масла для ведущих мостов и гидросистемы навески	гидравлическая жидкость Akcela Nexplore Total.
2.19.3. Емкость топливного бака, л: - заявленная	1200
2.19.4. Наличие топливного фильтра	дополнительный топливный фильтр: сепаратор.

3. Характеристики, полученные путем анализа результатов испытаний Лаборатории испытаний тракторов Университета Небраски [35]. Характеристики носят справочный характер и указывают на корреляцию отдельных параметров теоретического расчета и результатов, полученных на реальных образцах тракторов в лабораторно-полевых условиях. Это согласуется с общими принципами и методами испытания тракторов [23-25].

3.1. Параметры двигателя при нагрузке через вал отбора мощности в зависимости от частоты вращения коленчатого вала на участке кривой от максимальной до номинальной мощности приведены на рис. 36 [26, 27]. Характеристика снята в соответствии с требованиями OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Power Take-Off and Engine Tests.

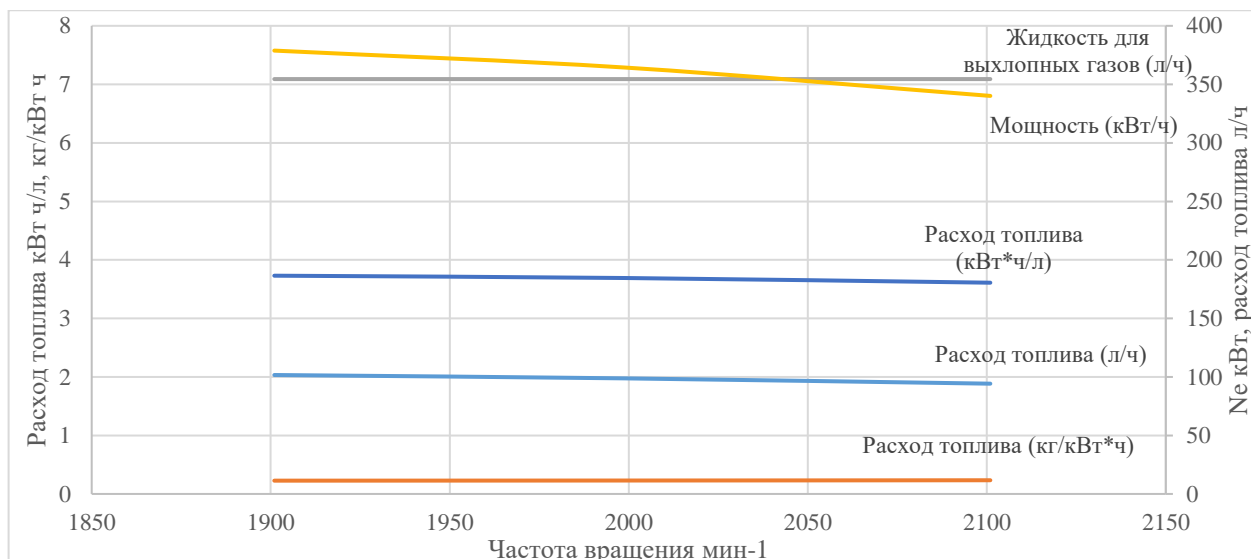


Рисунок 36 – Корректорный участок

3.2. Параметры двигателя в зависимости от частоты вращения коленчатого вала на участке кривой от номинальной мощности до максимальной частоты вращения (регуляторная характеристика) приведены на рис. 37 [28]. Характеристика аналогично снята в соответствии с требованиями OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Power Take-Off and Engine Tests.

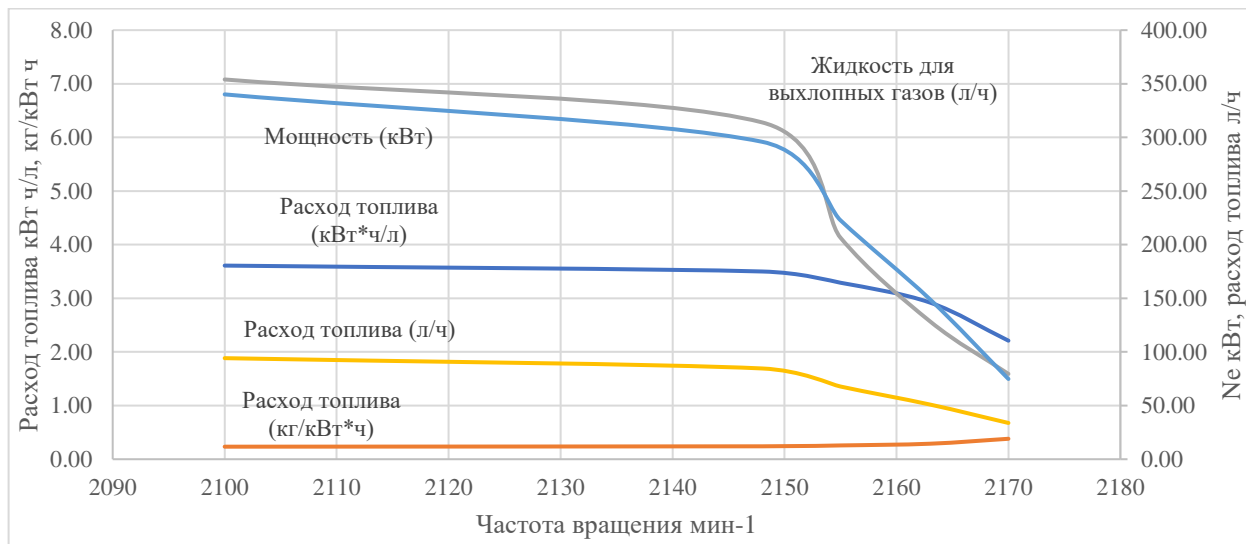


Рисунок 37 – Регуляторный участок

Результаты, полученные в пп. 3.1. и 3.2. отражают поведение внешней скоростной характеристики двигателя в соответствии с ISO 14396. При этом видно, что имеется перепад между номинальным и максимальным значением мощности величиной в 1,113 раза, что говорит об отсутствии т.н. «полки мощности» двигателя. На графике регуляторного участка фиксируется

повышение расхода топлива до 381 г/кВт ч. При помощи регуляторного участка уточнялось значение $n_{\text{хх}}$.

3.3. Тяговая характеристика трактора на частичной характеристике двигателя при частоте вращения коленчатого вала в зоне максимального момента и скорости движения 9 км/ч (9-я передача) (рисунок 38) [29]. Снята в соответствии с OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Drawbar Power and Fuel Consumption. Коррелирует с результатами полученными в пп. 4.2. на 4 передаче рабочего диапазона тяговой характеристики.

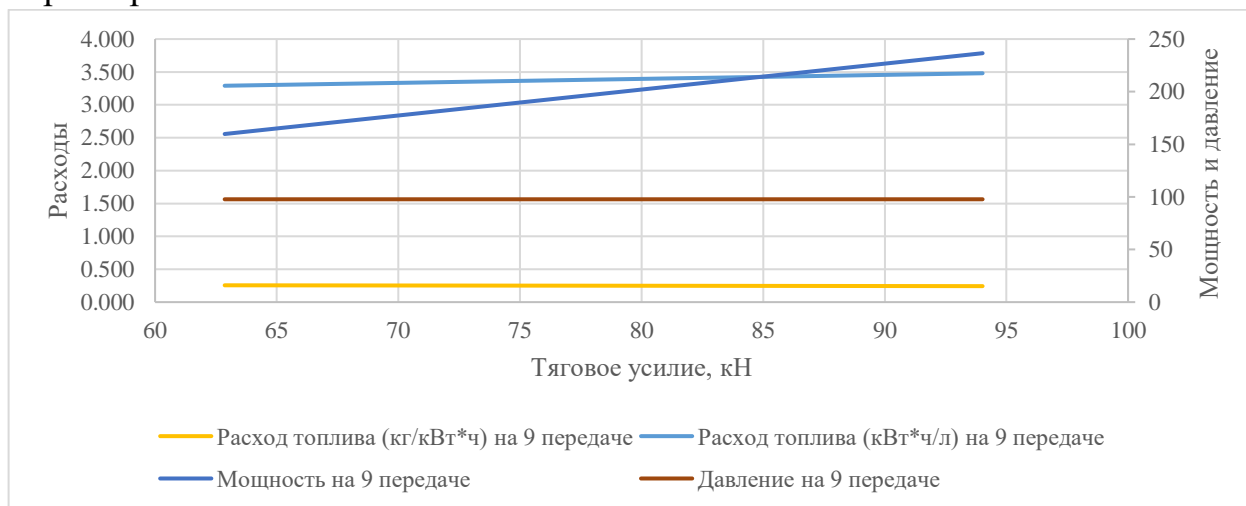


Рисунок 38 – Тяговая характеристика трактора на 9-ой передаче

3.4. Тяговая характеристика трактора на разных передачах при номинальной частоте вращения вала двигателя приведена на рис. 39. Носит справочный характер, демонстрирующий возможности трактора на бетонном основании. Снята в соответствии с OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Drawbar Power and Fuel Consumption (трактор без балласта, ровное бетонное основание или асфальт).

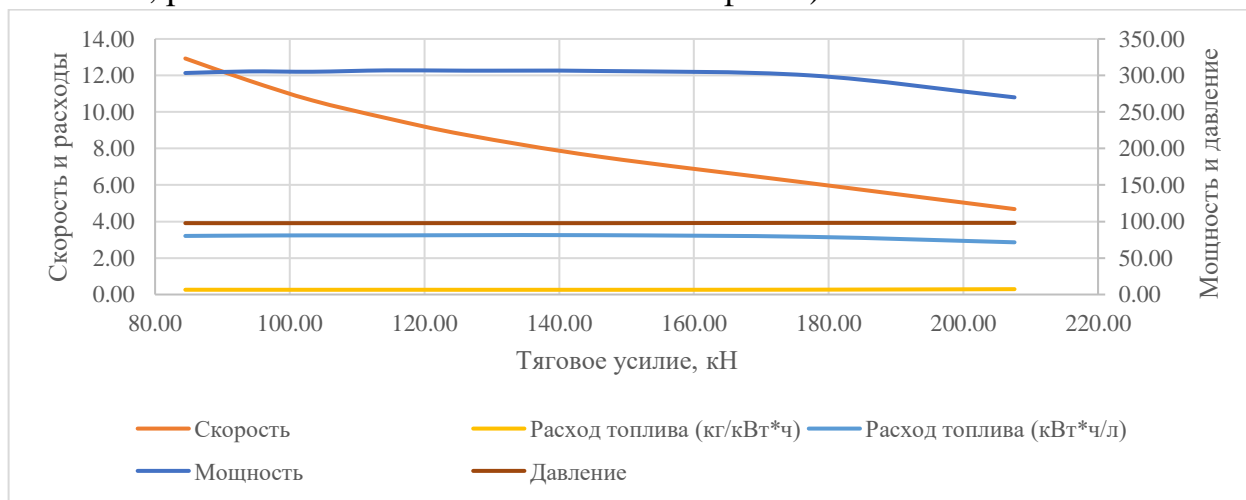


Рисунок 39 – Экспериментальная тяговая характеристика при 2100 мин⁻¹

3.5. На рисунке 40 представлена тяговая характеристика трактора на разных передачах при частоте вращения вала двигателя в зоне максимальной мощности [30]. Носит справочный характер, демонстрирующий возможности трактора на бетонном основании. Снята в соответствии с OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Drawbar Power and Fuel Consumption (трактор без балласта, ровное бетонное основание или асфальт).

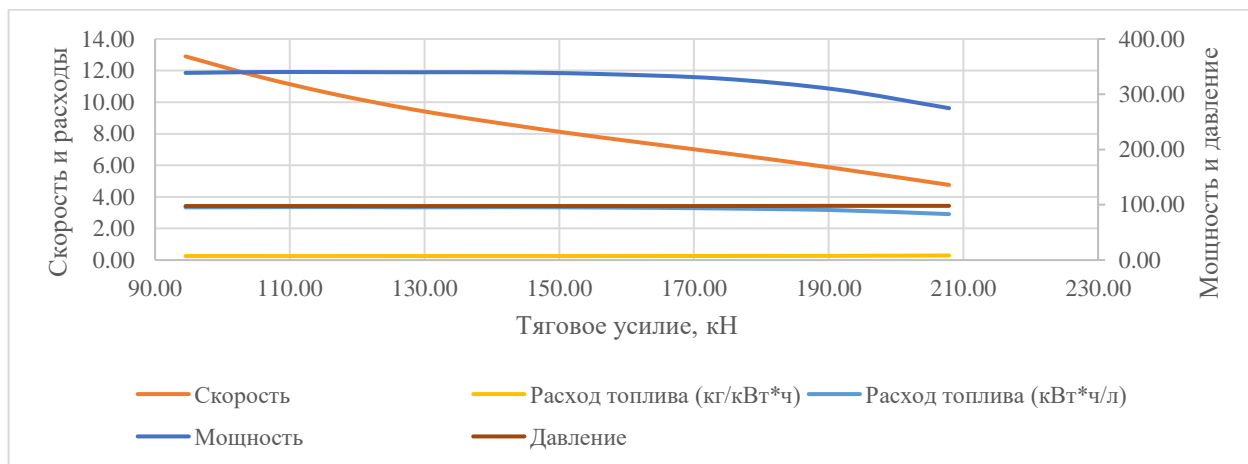


Рисунок 40 – Экспериментальная тяговая характеристика при 1900 мин⁻¹

4. Построение теоретической тяговой характеристики

Ниже приведена теоретическая тяговая характеристика, полученная в результате расчета по зависимостям, указанным в разделе 2, а также с учетом принципов снятия и построения характеристик двигателя [10-14] и общих принципов расчета тяговой динамики тракторов [15, 16].

Начальные условия взяты на основании имеющихся данных в разделе 1.7.

В качестве расчетной была принята масса трактора без грузов, замеренная при испытаниях в Небраске – 21 425 кг [35], т.к. официально имеется подтвержденная информация только о величине максимальной эксплуатационной массе.

Граничные условия следующие [17-20]:

- $\varphi_k = 0,7$ – коэффициент сцепления движителей с почвой на сухой стерне;

- $\varphi_{кр.н} = 0,4$ – коэффициент использования веса трактора;

- $f_k = 0,11$ – коэффициент сопротивления качению;

- $\delta_n = 0,14$ – допустимое буксование движителей;

- $\eta_{тр} = 0,87$ – ориентировочное значение КПД трансмиссии.

Дополнительные данные, требуемые для расчета: селективная коробка передач с фиксированным передаточным числом Full-Powershift, управляемая оператором. Номинальная скорость движения миль/ч (км/ч) по передачам:

первая 2,71 (4,36), вторая 3,27 (5,26), третья 3,95 (6,36), четвертая 4,75 (7,64), пятая 5,46 (8,79), шестая 6,00 (9,65), седьмая 6,57 (10,57), восьмая 7,22 (11,62), девятая 7,94 (12,78), десятая 8,72 (14,03), одиннадцатая 9,56 (15,38), двенадцатая 10,52 (16,93), тринадцатая 12,06 (19,41), четырнадцатая 14,53 (23,38), пятнадцатая 17,54 (28,23), шестнадцатая 21,14 (34,02), задний ход 4,18 (6,73), 8,32 (13,39).

4.1. Теоретическая внешняя скоростная характеристика двигателя, полученная расчетным путем, приведена на рис. 41.

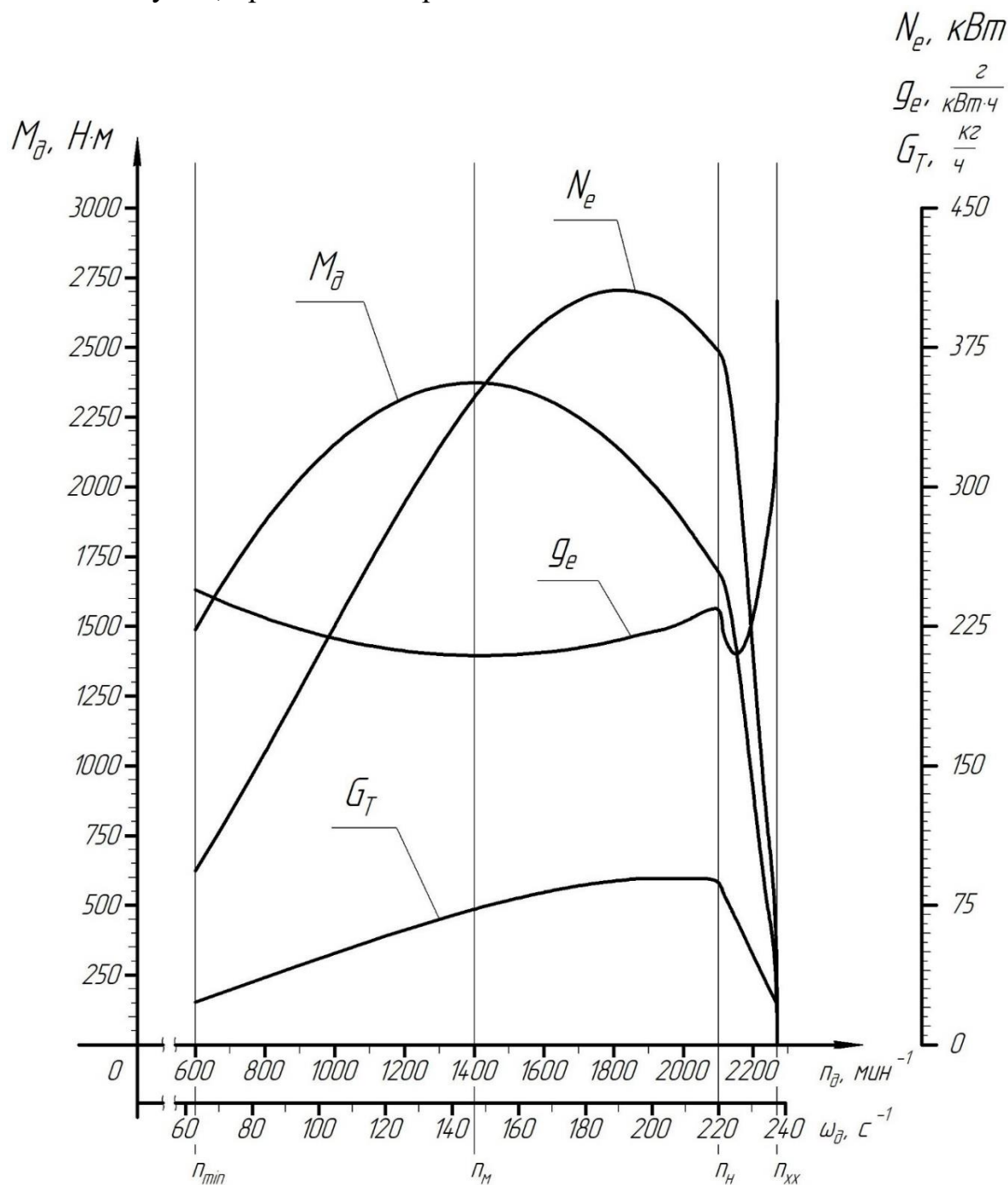


Рисунок 41 – Теоретическая ВСХ двигателя трактора Case IH Steiger 500

4.2. Теоретическая кривая буксования, полученная расчетным путем, приведена на рис. 42 [6, 7, 21].

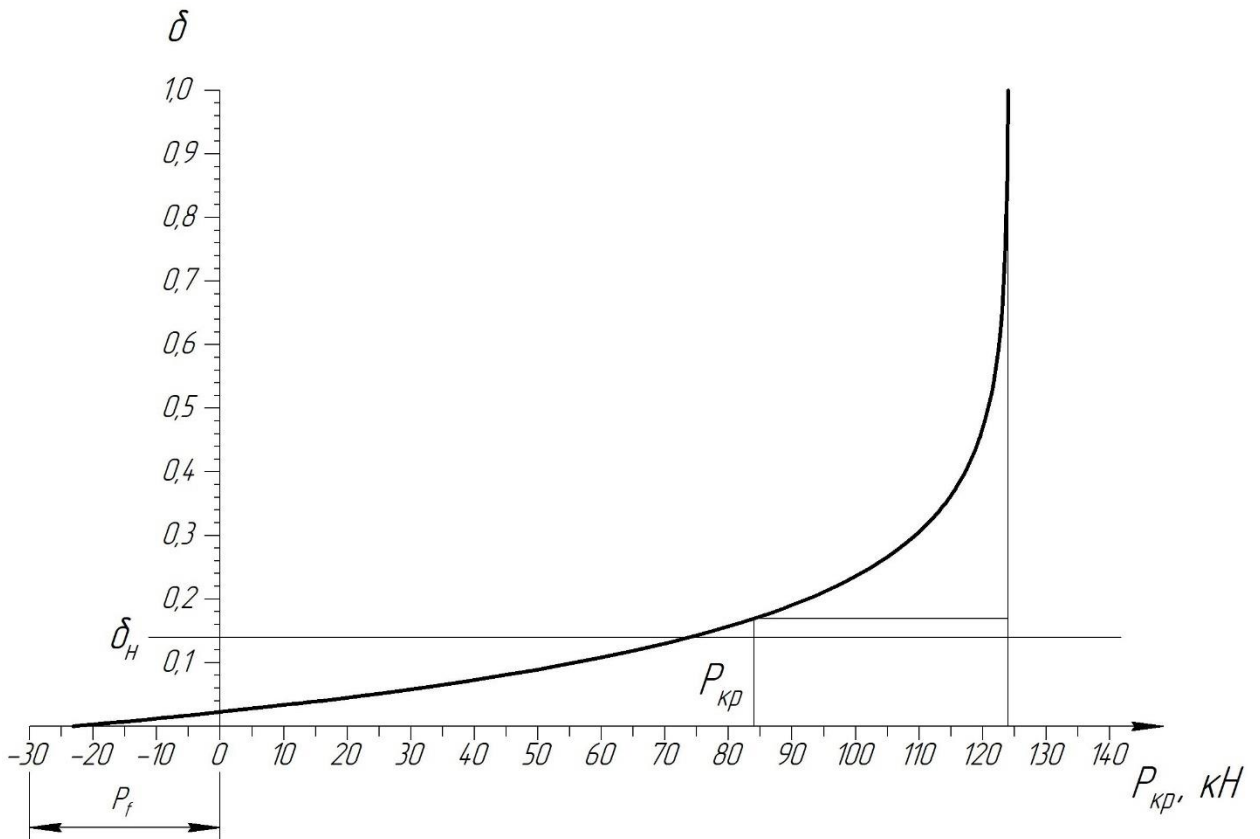


Рисунок 42 – Теоретическая кривая буксования трактора Case IH Steiger 500

4.3. Теоретическая тяговая характеристика трактора приведена на рис. 43.

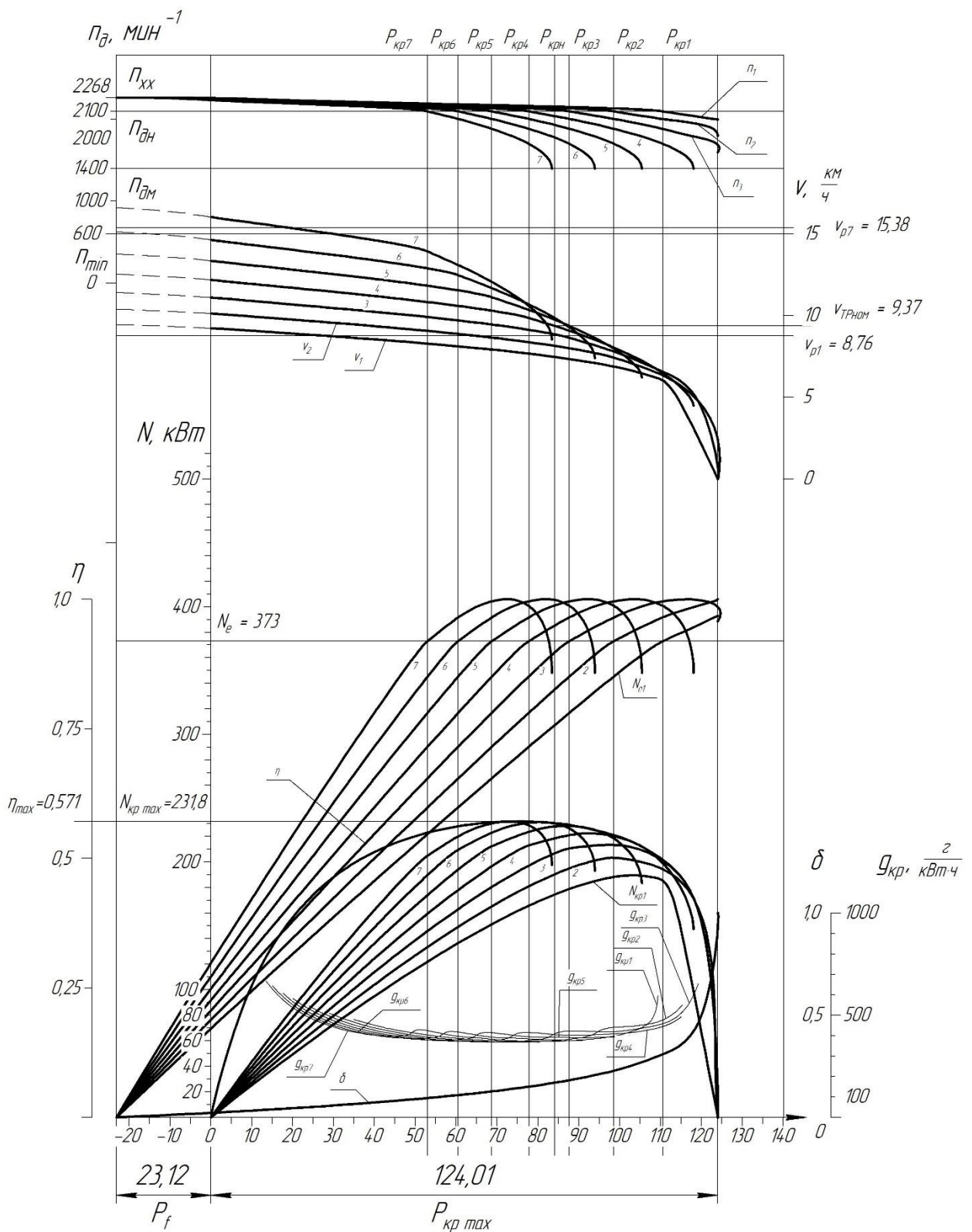


Рисунок 43 – Теоретическая тяговая характеристика трактора Case IH Steiger 500

Расчет показывает, что энергонасыщенность трактора $\mathcal{E}_{\text{тр}}$ составляет 1,77.

При заданных условиях максимально возможная касательная сила тяги составляет $P_{\text{кmax}} = 147,13$ кН, а сила сопротивления качению $P_f = 23,12$ кН.

Знаменатель геометрической прогрессии по соседним передачам и коэффициент перекрытия соответственно равны $q_i = 0,91$, $k_{\text{п}} = 1,1$.

Максимальный тяговый КПД равен 0,571.

Максимальная крюковая мощность составляет $N_{\text{кр max}} = 231,8$ кВт и реализуется между 6-ой и 7-ой передачами рабочего диапазона.

Номинальное тяговое усилие реализуется между 3-ей и 4-ой передачей рабочего диапазона (середина диапазона передач), что соответствует номерам передач 6 и 7 всего передаточного ряда из 16 и составляет $P_{\text{кр.н}} = 84,07$ кН, при этом действительная скорость движения при номинальном тяговом усилии составляет 9,37 км/ч.

Подборный анализ тяговой характеристики трактора Case IH Steiger 500 приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Результат анализа тяговой характеристики трактора Case IH Steiger 500

m_3 , кг	Передача	Сравниваемые параметры при условии						
		$N_{\text{кр}}$, кВт	$P_{\text{кр}}$, кН	v , км/ч	δ , %	$g_{\text{кр}}$, г/кВт ч	G_t , кг/ч	
Для номинального тягового усилия $P_{\text{кр.н}} = 84,07$ кН (выбрано в соответствии с ГОСТ 27021-86 по зависимости $P_{\text{кр ном}} = 3,92 \cdot 10^{-3} m_3$, что равноценно $P_{\text{кр ном}} = 9,81 m_3 \varphi_{\text{кр.н}} \cdot 10^{-3}$, где $\varphi_{\text{кр.н}} = 0,4$								
21 425	1	174,6	–	7,47	0,170	370,7	64,7	
	2	190,4		8,15		370,9	70,6	
	3	206,8		8,86		384,1	79,4	
	4	218,6		9,37		411,0	89,8	
	5	227,9		9,75		392,0	89,3	
	6	230,2		9,86		380,6	87,6	
	7	–		–		–	–	
	Для наибольшей мощности на передаче							
	1	189,7	103,2	6,62	0,255	405,0	76,8	
	2	203,4	98,1	7,46	0,226	424,4	86,3	
	3	213,5	97,6	7,88	0,224	419,1	89,5	
	4	222,6	92,7	8,78	0,202	400,8	89,2	
	5	228,3	86,7	9,47	0,178	391,8	89,4	
	6	231,3	80,5	10,35	0,158	384,3	89,0	
	7	231,8	73,0	11,43	0,138	380,8	88,3	
	Для максимальной мощности $N_{\text{кр max}} = 231,8$, кВт							
	7	231,8	73,0	11,43	0,138	376,3	87,2	
	Для допустимого буксования $\delta_{\text{н}}$							
	1	159,8	73,9	7,79	0,140	373,7	59,7	
	2	174,6		8,50		368,9	64,4	
	3	190,4		9,28		368,6	70,2	
4	206,9	10,08		380,2		78,7		

<i>m</i> , кг	Передача	Сравниваемые параметры при условии					
		<i>N</i> _{кр} , кВт	<i>P</i> _{кр} , кН	<i>v</i> , км/ч	δ , %	<i>g</i> _{кр} , г/кВт ч	<i>G</i> _т , кг/ч
	5	219,2		10,69		410,1	89,9
	6	228,7		11,14		390,3	89,3
	7	231,7		11,29		379,4	87,9
Номинальное значение при передаче							
	1	185,3	110,6	1,67	0,311	470,9	87,3
	2	203,3	98,6	2,06	0,228	429,2	
	3	210,6	87,7	2,40	0,182	414,4	
	4	213,0	77,8	2,74	0,150	409,7	
	5	212,4	68,7	3,09	0,127	410,8	
	6	209,7	60,5	3,46	0,109	416,3	
	7	205,1	53,0	3,87	0,095	425,6	
Диапазон тяговых усилий и скоростей, соответствующих минимальному расходу топлива							
	7-1	–	50,6 ... 97,7	11,91 ... 6,92	0,090 ... 0,224	368,3 (+5%) 386,7	–

1.8. Обобщенные тягово-экономические показатели колесного сельскохозяйственного трактора производства CNH America LLC, 700 State St. Racine, WI. 53404, США Case IH Steiger 550

1. Общие сведения:

1.1. Марка трактора
Case IH

1.2. Модель трактора
Steiger 550

1.3. Область применения
Сельскохозяйственный

1.4. Тип ходовой системы
Колесная

2. Обобщенная техническая характеристика трактора

2.1. Тяговый класс по ГОСТ 27021 – 86 8,0

2.2. Тяговое усилие, кН:

- расчетное по ГОСТ 27021 – 86; 78,32

2.3. Скорости движения, км/ч:

переднего хода:

- наименьшая 4,4

- наибольшая транспортная 34,0

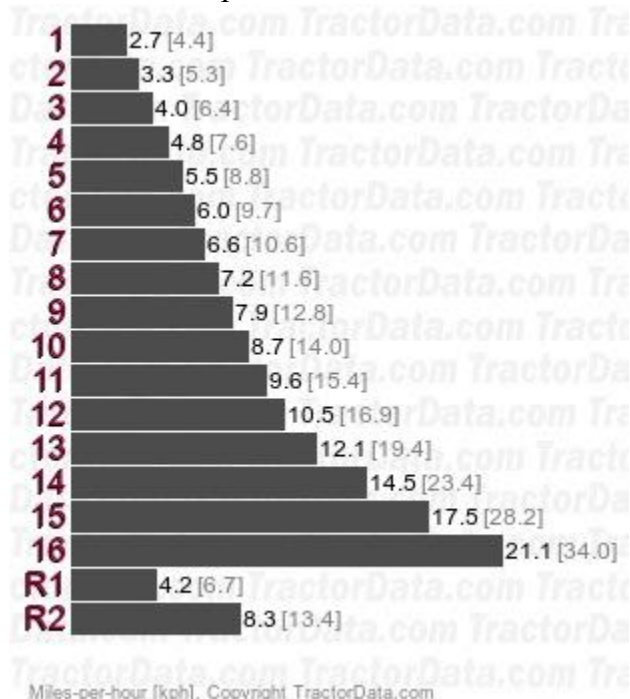
заднего хода:

- наименьшая 6,7

- наибольшая 13,4

2.4. Колесная формула	4к4
2.5. Число передач вперед/назад	16/2
2.6. Наличие коробки диапазонов	С коробкой диапазонов
2.7. Габаритные размеры трактора, мм:	
а) база	3910
2.8. Масса трактора, кг	
а) эксплуатационная	19 979
б) максимальная эксплуатационная	29 937
2.9. Двигатель	
2.9.1. Тип двигателя	двухступенчатый дизель с турбонаддувом, промежуточным и промежуточным охлаждением 6-цилиндровый 24-клапанный с жидкостным охлаждением
2.9.2. Марка	Iveco
2.9.3. Объем, л	12,9
2.9.4. Мощность по ГОСТ 18509-88, кВт (л.с.)	
- номинальная	410,1 (550) при номинальной частоте вращения
- максимальная	451,1 (605)
2.9.5. Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	2100
2.9.6. Выброс вредных веществ с отработавшими газами	Уровень 4
2.9.7. Система пуска	Электростартерная
2.9.8. Коробка передач	электрогидравлические мокрые диски
2.10. Ходовая система	Колесная
2.10.1. Шины:	
основной комплектации	710/70R42
2.11. Система навески	
2.11.1. Тип	компенсация давления/расхода
2.11.2. Производительность насоса, л/мин	
- штатно	132,5
2.12. Рабочее и вспомогательное оборудование	
2.12.1. Валы отбора мощности	Задний независимый 1000 мин ⁻¹ .
2.13. Электрооборудование	
2.13.1. Ток и напряжение	Постоянный, 12В
2.13.2. Аккумуляторная батарея	2 шт.
2.14. Емкость топливного бака, л:	
- заявленная;	1722,2

2.15. Теоретические скорости движения Диаграмма распределения скоростей движения по передачам



2.16. Требуемые ГСМ:

2.16.1. Двигатель

а) топливо

Дизельное топливо сорт D класс 2

б) восстановитель оксидов азота
(жидкость для выхлопных газов – DEF)

32% водная раствор мочевины DEF

в) моторное масло

SAE 15W40 API сервисной классификации CI-4

2.16.2. Трансмиссия:

а) масло для коробки передач

трансмиссионное масло Case IH Hytran Ultra

б) масло для гидросистемы навески и ведущих мостов

гидравлическая жидкость Аксела

3. Характеристики, полученные путем анализа результатов испытаний Лаборатории испытаний тракторов Университета Небраски [36]. Характеристики носят справочный характер и указывают на корреляцию отдельных параметров теоретического расчета и результатов, полученных на реальных образцах тракторов в лабораторно-полевых условиях. Это согласуется с общими принципами и методами испытания тракторов [23-25].

3.1. Параметры двигателя при нагрузке через вал отбора мощности в зависимости от частоты вращения коленчатого вала на участке кривой от максимальной до номинальной мощности приведены на рис. 44 [26, 27].

Характеристика снята в соответствии с требованиями OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Power Take-Off and Engine Tests.

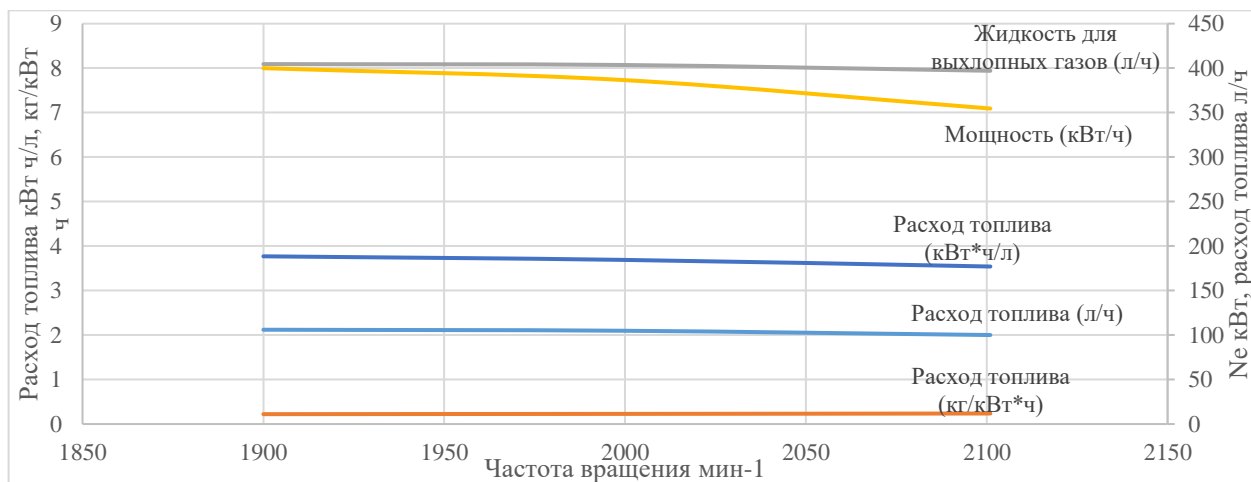


Рисунок 44 – Корректорный участок

3.2. Параметры двигателя в зависимости от частоты вращения коленчатого вала на участке кривой от номинальной мощности до максимальной частоты вращения (регуляторная характеристика) приведены на рис. 45 [28]. Характеристика аналогично снята в соответствии с требованиями OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Power Take-Off and Engine Tests.

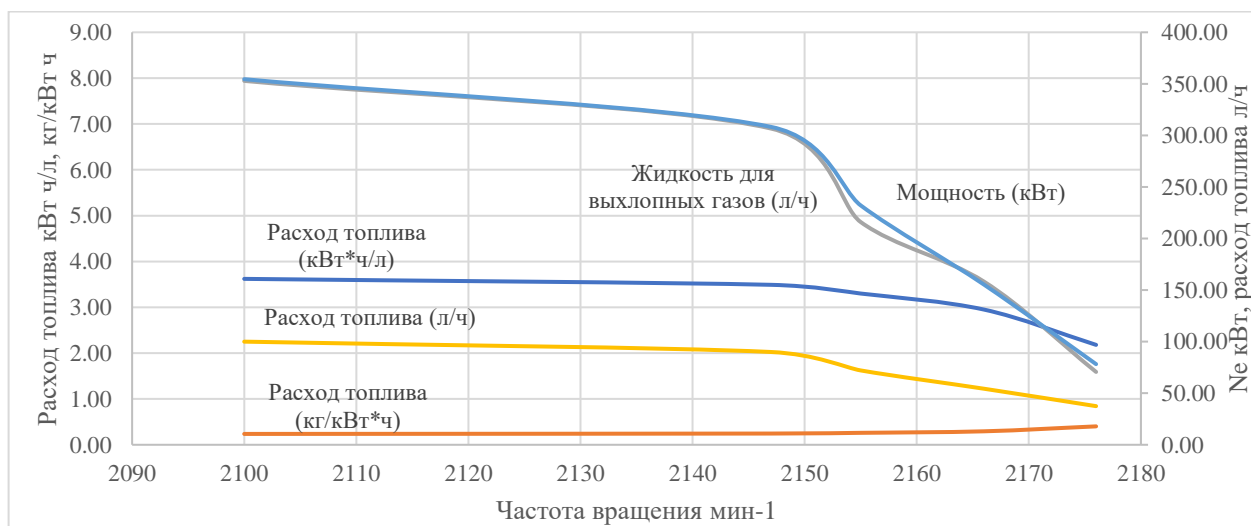


Рисунок 45 – Регуляторный участок

Результаты, полученные в пп. 3.1. и 3.2. отражают поведение внешней скоростной характеристики двигателя в соответствии с ISO 14396. При этом видно, что имеется перепад между номинальным и максимальным значением мощности величиной в 1,128 раза, что говорит об отсутствии т.н. «полки

мощности» двигателя. На графике регуляторного участка имеется повышение расхода топлива до 402 г/кВт ч.

3.3. Тяговая характеристика трактора на разных передачах при номинальной частоте вращения вала двигателя приведена на рис. 46. Носит справочный характер, демонстрирующий возможности трактора на бетонном основании. Снята в соответствии с OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Drawbar Power and Fuel Consumption (трактор без балласта, ровное бетонное основание или асфальт).

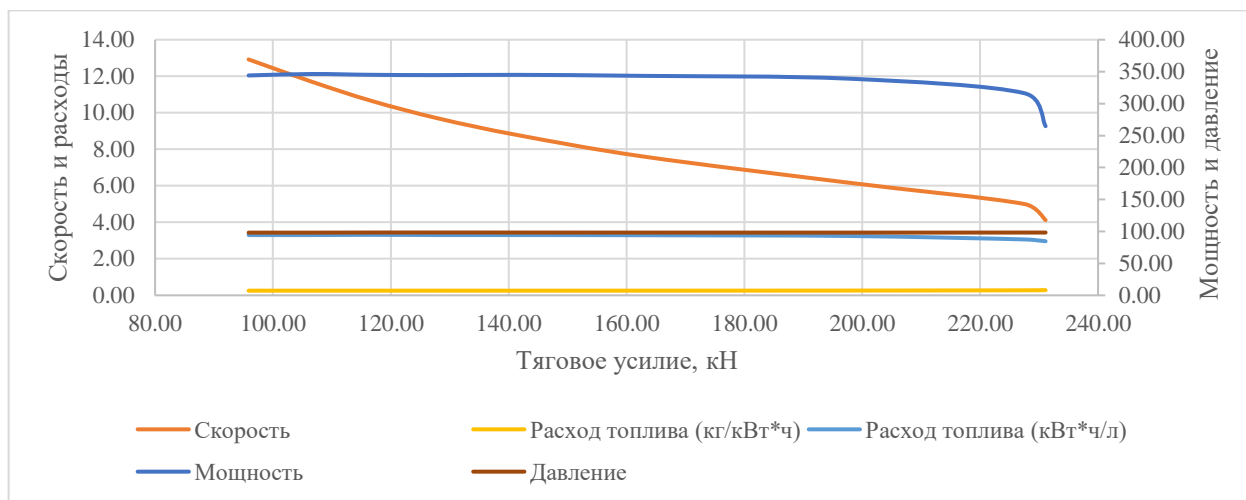


Рисунок 46 – Экспериментальная тяговая характеристика при 2100 мин⁻¹

3.4. На рисунке 47 представлена тяговая характеристика трактора на разных передачах при частоте вращения вала двигателя в зоне максимальной мощности. Носит справочный характер, демонстрирующий возможности трактора на бетонном основании. Снята в соответствии с OECD Standard code for the official testing of tractor performance - CODE 2: Drawbar Power and Fuel Consumption (трактор без балласта, ровное бетонное основание или асфальт).

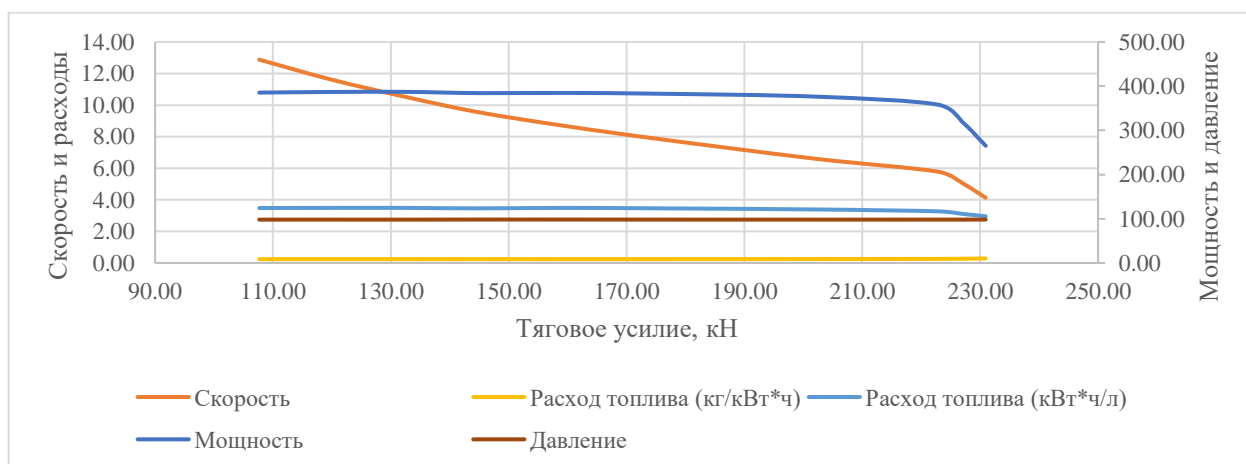


Рисунок 47 – Экспериментальная тяговая характеристика при 1900 мин⁻¹

4. Построение теоретической тяговой характеристики

Ниже приведена теоретическая тяговая характеристика, полученная в результате расчета по зависимостям, указанным в разделе 2, а также с учетом принципов снятия и построения характеристик двигателя [10-14] и общих принципов расчета тяговой динамики тракторов [15, 16].

Начальные условия взяты на основании имеющихся данных.

В качестве расчетного значения применена эксплуатационная масса – 19 979 кг, величина которой известна из официальных источников.

Граничные условия следующие [17-20]:

- $\varphi_k = 0,7$ – коэффициент сцепления движителей с почвой на сухой стерне;

- $\varphi_{кр.н} = 0,4$ – коэффициент использования веса трактора;

- $f_k = 0,11$ – коэффициент сопротивления качению;

- $\delta_n = 0,14$ – допустимое буксование движителей;

- $\eta_{тр} = 0,87$ – ориентировочное значение КПД трансмиссии.

Дополнительные данные, требуемые для расчета: селективная коробка передач с фиксированным передаточным числом Full-Powershift, управляемая оператором. Номинальная скорость движения миль/ч (км/ч) по передачам: первая 2,71 (4,36), вторая 3,27 (5,26), третья 3,95 (6,36), четвертая 4,75 (7,64), пятая 5,46 (8,79), шестая 6,00 (9,65), седьмая 6,57 (10,57), восьмая 7,22 (11,62), девятая 7,94 (12,78), десятая 8,72 (14,03), одиннадцатая 9,56 (15,38), двенадцатая 10,52 (16,93), тринадцатая 12,06 (19,41), четырнадцатая 14,53 (23,38), пятнадцатая 17,54 (28,23), шестнадцатая 21,14 (34,02), задний ход 4,18 (6,73), 8,32 (13,39).

4.1. Теоретическая внешняя скоростная характеристика двигателя, полученная расчетным путем, приведена на рис. 48.

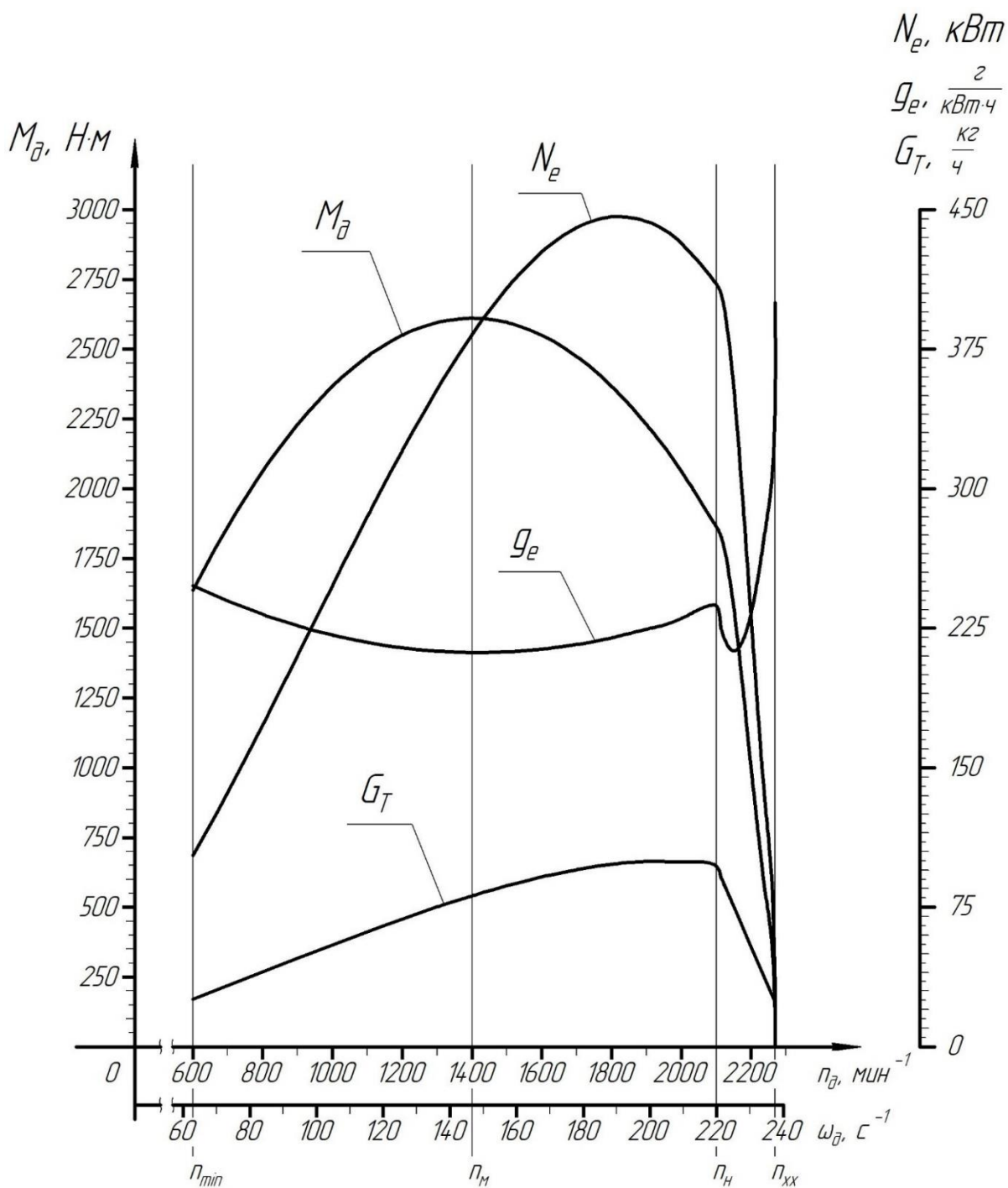


Рисунок 48 – Теоретическая ВСХ двигателя трактора Case IH Steiger 550

4.2. Теоретическая кривая буксования, полученная расчетным путем, приведена на рис. 49 [6, 7, 21].

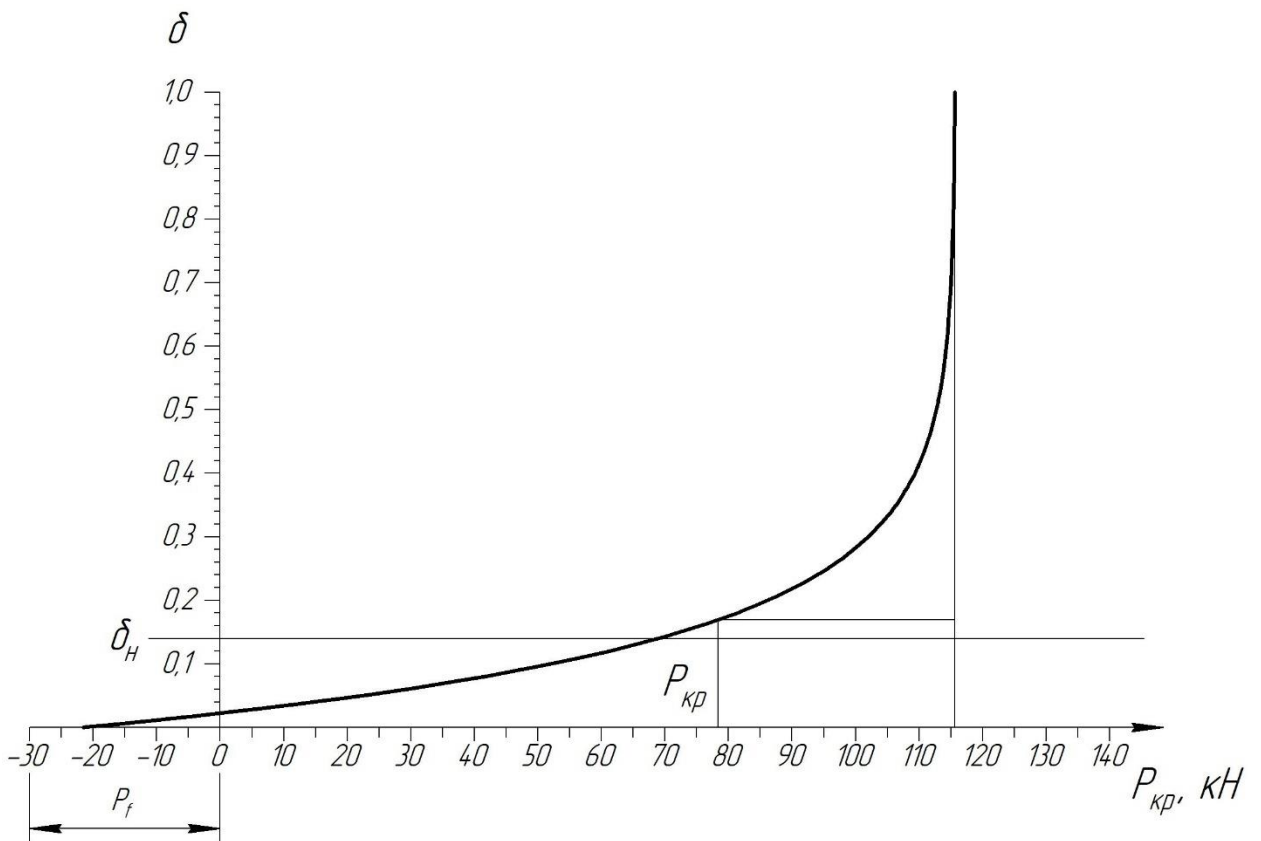


Рисунок 49 – Теоретическая кривая буксования трактора Case IH Steiger 550

5.3. Теоретическая тяговая характеристика трактора приведена на рис. 50.

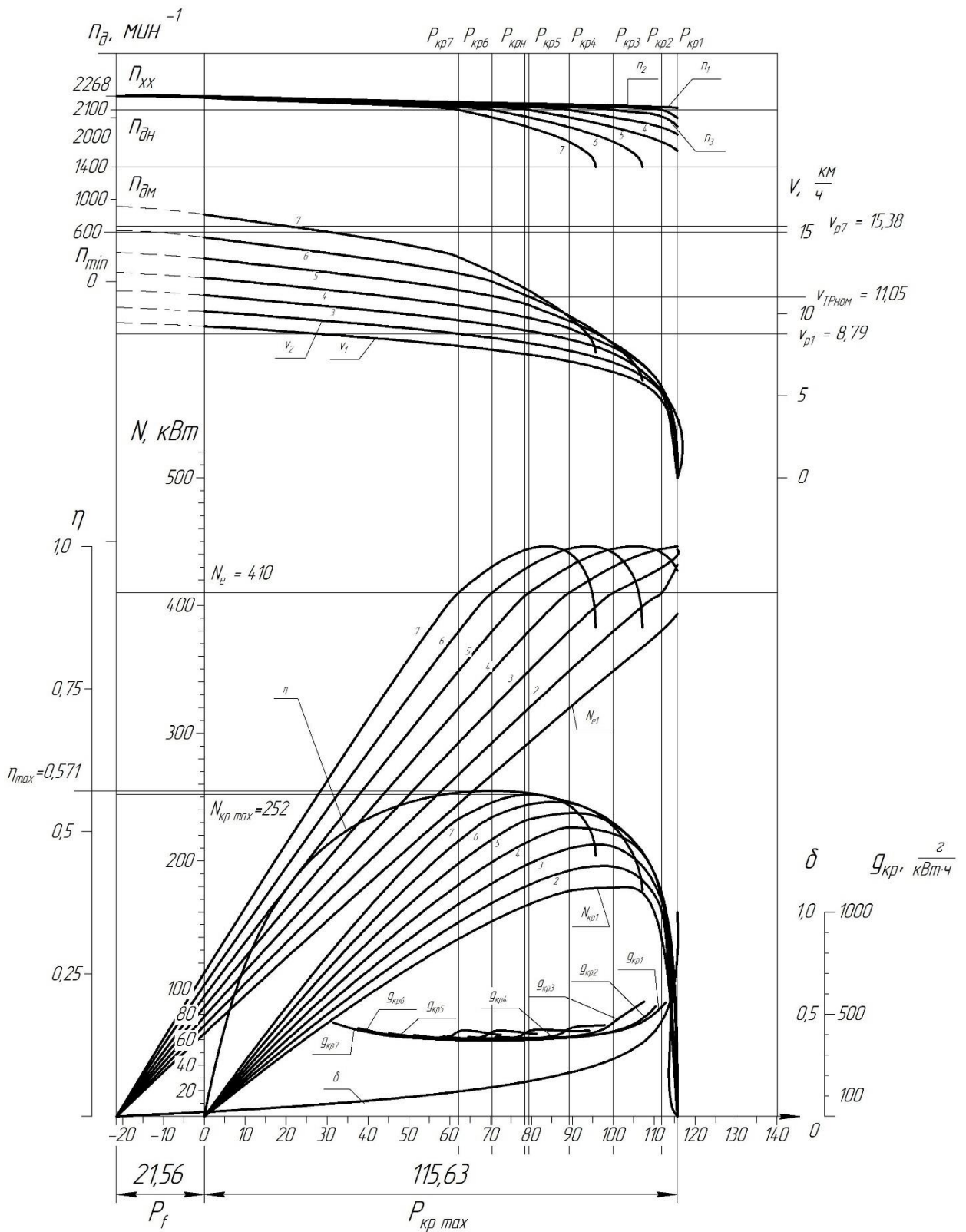


Рисунок 50 – Теоретическая тяговая характеристика трактора Case IH Steiger 550

Расчет показывает, что энергонасыщенность трактора $\mathcal{E}_{тр}$ составляет 2,09.

При заданных условиях максимально возможная касательная сила тяги составляет $P_{\text{кmax}} = 137,19$ кН, а сила сопротивления качению $P_f = 21,56$ кН.

Знаменатель геометрической прогрессии по соседним передачам и коэффициент перекрытия соответственно равны $q_i = 0,91$, $k_{\text{п}} = 1,1$.

Максимальный тяговый КПД равен 0,571.

Максимальная крюковая мощность составляет $N_{\text{кр max}} = 252$ кВт и реализуется на 7-ой передаче рабочего диапазона.

Номинальное тяговое усилие реализуется в районе 5-ой передачи рабочего диапазона (верхняя треть диапазона передач), что соответствует номеру передачи 8 из 16 всего передаточного ряда и составляет $P_{\text{кр.н}} = 78,39$ кН, при этом действительная скорость движения при номинальном тяговом усилии составляет 11,05 км/ч.

Подборный анализ тяговой характеристики трактора Case IH Steiger 550 приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Результат анализа тяговой характеристики трактора Case IH Steiger 550

m_3 , кг	Передача	Сравниваемые параметры при условии						
		$N_{\text{кр}}$, кВт	$P_{\text{кр}}$, кН	v , км/ч	δ , %	$g_{\text{кр}}$, г/кВт ч	G_t , кг/ч	
Для номинального тягового усилия $P_{\text{кр.н}} = 78,39$ кН (выбрано в соответствии с ГОСТ 27021-86 по зависимости $P_{\text{кр ном}} = 3,92 \cdot 10^{-3} m_3$, что равноценно $P_{\text{кр ном}} = 9,81 m_3 \varphi_{\text{кр.н}} \cdot 10^{-3}$, где $\varphi_{\text{кр.н}} = 0,4$)								
19 979	1	164,8	–	7,57	0,169	385,3	63,5	
	2	180,0		8,27		378,6	68,2	
	3	196,5		9,02		374,9	73,7	
	4	214,1		9,83		377,5	80,8	
	5	231,7		10,64		408,1	94,6	
	6	243,5		11,18		409,7	99,8	
	7	252,0		11,57		395,3	99,6	
	Для наибольшей мощности на передаче							
	1	179,7	102,9	6,22	0,310	428,2	76,9	
	2	196,2	97,2	7,27	0,260	405,4	79,6	
	3	213,1	96,1	7,98	0,253	416,9	88,8	
	4	226,4	89,5	9,11	0,215	431,8	97,7	
	5	237,6	90,4	9,46	0,220	418,3	99,4	
	6	246,4	85,3	10,40	0,197	403,3	99,4	
	7	252,1	79,7	11,39	0,174	394,8	99,5	
	Для максимальной мощности $N_{\text{кр max}} = 252$, кВт							
	7	252	79,67	11,37	0,174	394,8	99,5	
	Для допустимого буксования $\delta_{\text{н}}$							
	1	150,8	69,0	7,87	0,140	392,3	59,2	
	2	164,9		8,60		383,6	63,2	
	3	180,1		9,40		376,7	67,9	
4	164,6	10,26		372,9		61,4		

$m_э, кг$	Передача	Сравниваемые параметры при условии					
		$N_{кр}, кВт$	$P_{кр}, кН$	$v, км/ч$	$\delta, \%$	$g_{кр}, г/кВт ч$	$G_T, кг/ч$
	5	214,2		11,18		374,8	80,3
	6	232,0		12,11		398,8	92,5
	7	244,1		12,74		408,8	99,8
Номинальное значение при передаче							
	1	0	115,6	0	1	∞	0
	2	159,9	111,8	1,43	0,467	607,8	97,17
	3	211,1	100,0	2,11	0,282	460,2	
	4	226,4	89,1	2,54	0,214	429,3	
	5	232,6	79,3	2,94	0,173	417,8	
	6	234,3	70,3	3,33	0,144	414,8	
	7	233,0	62,1	3,75	0,122	417,1	
Диапазон тяговых усилий и скоростей, соответствующих минимальному расходу топлива							
	7-1	–	47,1 ... 92,2	14,35 ... 7,60	0,09 ... 0,229	372,6 (+5%) 391,3	–

1.9. Обобщенные выводы

В таблице 9 представлены сводные данные основных результатов расчетов по рассмотренным моделям тракторов.

Таблица 9 – Основные тягово-экономические показатели тракторов

Трактор	$N_e, кВт$	$\mathcal{E}_{тр}$	$P_{кmax}, кН$	$P_f, кН$	q_i	$k_{п}$	$N_{кр max}, кВт$	$P_{кр.п.}, кН (пер.)$	$V_{тр.п.}, км/ч$
PCM 3535	399	1,7	166,22	26,13	0,88	1,14	241,6	95 (4-5)	9,4
PCM 3575	429	1,64	182,98	28,75	0,88	1,14	254,4	104,56 (4)	8,67
New Holland T9.615	451	1,77	177,81	27,94	0,90	1,11	260,9	101,60 (4)	9,38
New Holland T9.645	432,5	2,2	137,19	21,56	0,91	1,09	262,9	78,4 (5-6)	11,65
John Deere 9R 540	397	1,94	143,22	22,51	0,90	1,11	241,7	81,84 (4-5)	10,25
John Deere 9570R	425	1,99	149,63	23,51	0,90	1,11	254,9	85,50 (4-5)	10,5
Case IH Steiger 500	373	1,77	147,13	23,12	0,91	1,1	231,8	84,07 (3-4)	9,37
Case IH Steiger 550	410,1	2,09	137,19	21,56	0,91	1,1	252	78,39 (5)	11,05

Анализ данных позволил выявить следующее.

- подавляющее большинство производителей выпускают тракторы с высокими значениями энергонасыщенности - от 1,7 до 2,2;
- чем выше мощность двигателя, тем выше коэффициент энергонасыщенности;
- тракторы зарубежного производства стараются удерживаться коэффициент перекрытия между соседними передачами в пределах 1,1
- в зависимости от числа передач, входящих в рабочий диапазон, первые две-три передачи недогружены по тяговому усилию что обеспечивает запас эффективной мощности при работе на низких передачах для питания внешних потребителей;
- анализ экспериментальных тяговых характеристик показывает, что подавляющее большинство тракторов не имеют как таковой полки мощности в характеристики двигателя; наиболее сглаженные характеристики мощности присущи тракторам John Deere, что видно на рис. 22, 23, 28; наиболее ярко выраженный горб мощности просматривается на нагрузочных характеристиках двигателей тракторов New Holland, что видно из рис. 7, 15, 16.

2. Тяговый расчет трактора мощностью 500 и 600 л.с.

Исходные данные:

Параметр	Значение
Назначение трактора	Сельскохозяйственный
Тип трактора	Общего назначения
Тип движителя	колесный
Колесная формула	4к4б
Скорость рабочего диапазона V_{min} , км/ч	7
Скорость рабочего диапазона V_{max} , км/ч	15
Максимальная скорость движения V , км/ч	40
Коэффициент нагрузки заднего моста, $\lambda_{кз}$	0,45
Параметры выбранного двигателя: а) для трактора 500 л.с. – марка, модель: - номинальная мощность $N_{ен}$, л.с. (кВт) - номинальная частота вращения n_n , мин ⁻¹ - максимальный крутящий момент M_m , Нм - частота вращения n_m при M_m , мин ⁻¹ - коэффициент запаса по моменту k_m - коэффициент запаса по частоте k_n б) для трактора 600 л.с. – марка, модель: - номинальная мощность $N_{ен}$, л.с. (кВт) - номинальная частота вращения n_n , мин ⁻¹ - максимальный крутящий момент M_m , Нм - частота вращения n_m при M_m , мин ⁻¹	Weichai WP14TG492E304 491,82 (361,73) 2100 2221 1400 1,35 1,5 Weichai WP17G600E302 599,86 (441,2) 2100 2850 1400

Параметр	Значение
- коэффициент запаса по моменту k_M	1,42
- коэффициент запаса по частоте k_n	1,5

Исходные данные и основные параметры внешней скоростной характеристики выбираются с учетом особенностей подбора тракторных ДВС [37, 38]. Внешняя скоростная характеристика выбранных двигателей приведена на рис. 51, 52.

Таблицированные значения параметров внешней скоростной характеристики приведены в таблицах 10, 11.

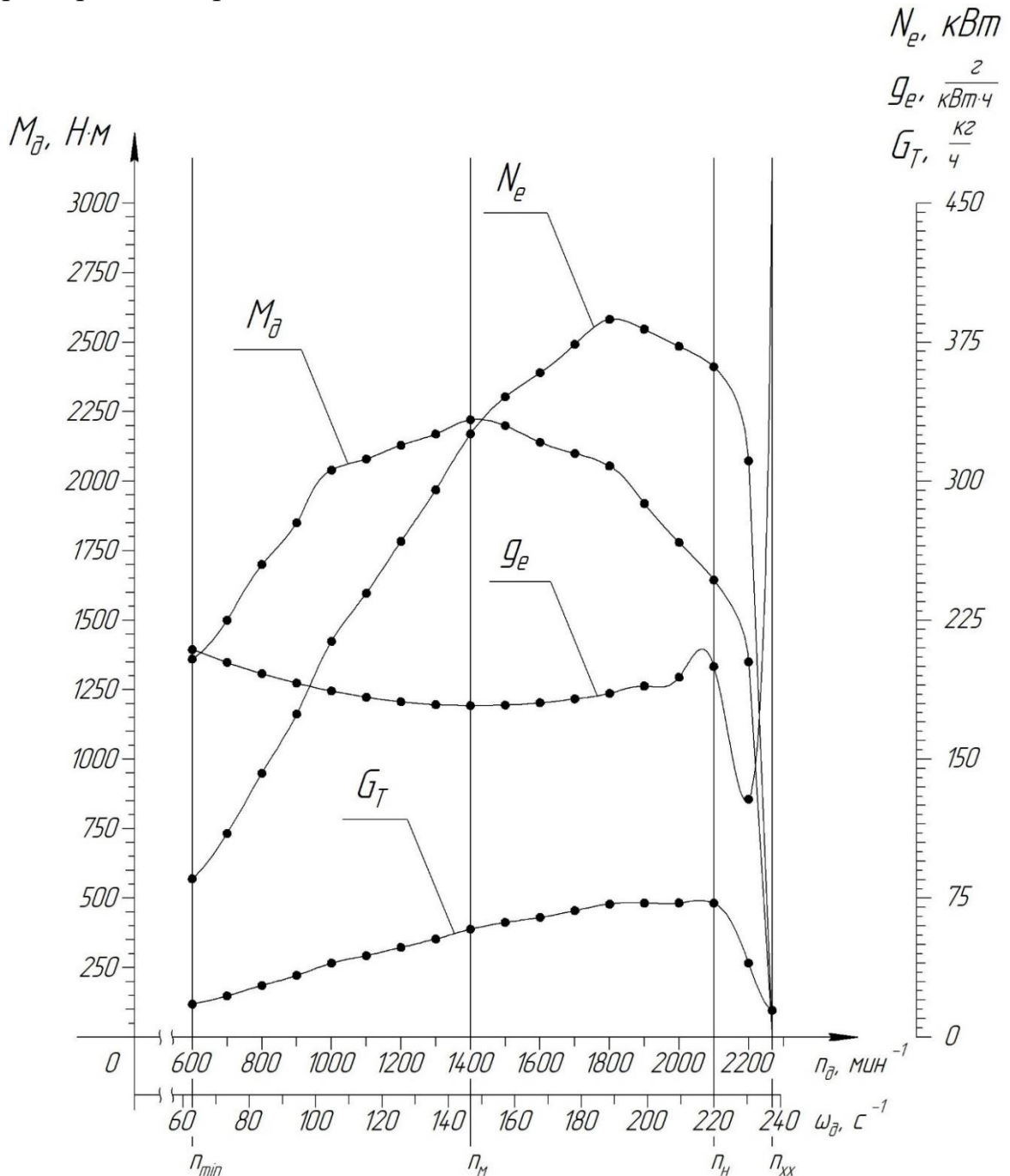


Рисунок 51 – ВСХ двигателя Weichai WP14TG492E304 мощностью 491,82

л.с.

Таблица 10 – Точки ВСХ двигателя мощностью 491,82 л.с.

№ точки	$n_d, \text{мин}^{-1}$	$M_d, \text{Н}\cdot\text{м}$	$N_e, \text{кВт}$	$G_T, \text{кг/ч}$	$g_e, \text{г/кВт}\cdot\text{ч}$
n_{\min}	600	1360	85,45132	17,87502	209,1837
2	700	1500	109,9557	22,23549	202,2222
3	800	1700	142,4189	27,938	196,1678
4	900	1850	174,3584	33,30601	191,0204
5	1000	2040	213,6283	39,9015	186,78
6	1100	2080	239,5988	43,95361	183,4467
7	1200	2130	267,6637	48,45259	181,0204
8	1300	2170	295,4144	53,02722	179,5011
M_M	1400	2221	325,6156	58,24901	178,8889
10	1500	2200	345,5752	61,92143	179,1837
11	1600	2140	358,5604	64,6791	180,3855
12	1700	2100	373,8495	68,22542	182,4943
N_{\max}	1800	2055	387,3584	71,85893	185,5102
14	1900	1920	382,0177	72,36679	189,4331
15	2000	1780	372,8023	72,42171	194,263
НОМ	2100	1645	361,73	72,346	200
17	2112,5	1625,33	359,5563	68,293	189,9369
18	2125	1604,3	357,004	64,24001	179,942
19	2137,5	1581,49	353,9983	60,18701	170,0206
20	2150	1556,23	350,3813	56,13401	160,2084
21	2162,5	1527,42	345,8941	52,08101	150,5692
22	2175	1492,93	340,0379	48,02802	141,2431
23	2187,5	1447,34	331,5486	43,97502	132,6352
24	2200	1350	311,0177	39,92202	128,3593
25	2212,5	1101,84	255,288	35,86903	140,5041
26	2225	853,68	198,9087	31,81603	159,9529
27	2237,5	605,51	141,8773	27,76303	195,6834
28	2250	357,3529	84,19929	23,71003	281,5942
n_{xx}	2268	0	0	14,4692	∞

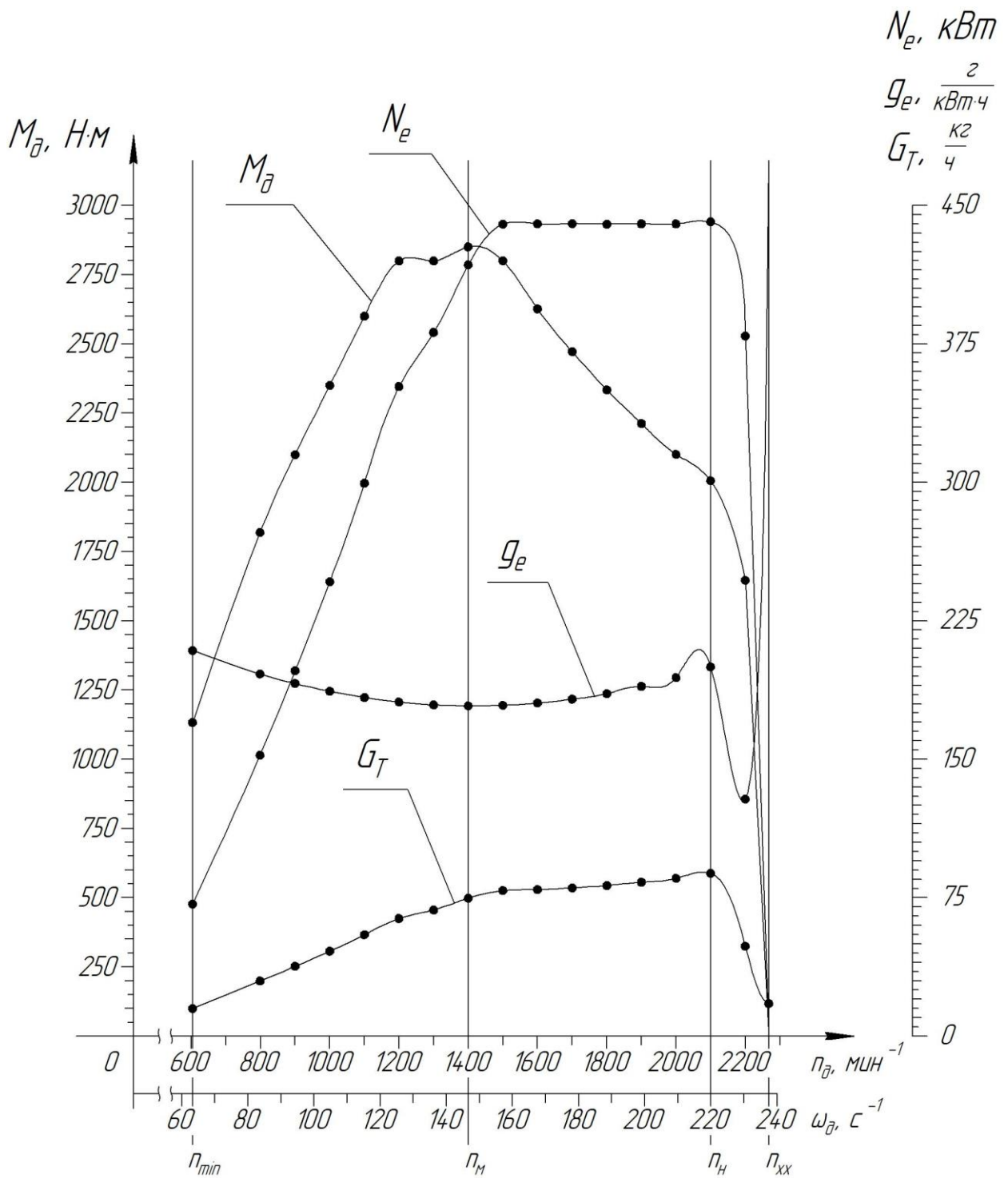


Рисунок 52 – ВСХ двигателя Weichai WP17G600E302 мощностью 599,86 л.с.

Таблица 11 – Точки ВСХ двигателя мощностью 599,86 л.с.

№ точки	$n_d, \text{мин}^{-1}$	$M_d, \text{Н}\cdot\text{м}$	$N_e, \text{кВт}$	$G_T, \text{кг/ч}$	$g_e, \text{г/кВт}\cdot\text{ч}$
n_{\min}	604	1132	71,59983	14,95633	208,8878
2	700	1482,47	108,6707	21,97564	202,2222
3	799	1819	152,1977	29,86482	196,2239
4	900	2100	197,9203	37,80682	191,0204
5	1000	2350	246,0914	45,96497	186,78
6	1100	2600	299,4985	54,94202	183,4467
7	1200	2800	351,8584	63,69355	181,0204
8	1300	2800	381,1799	68,42223	179,5011
M_M	1400	2850	417,8318	74,74547	178,8889
10	1500	2800	439,823	78,8091	179,1837
11	1600	2626	439,9905	79,36791	180,3855
12	1700	2472	440,0743	80,31106	182,4943
13	1800	2334	439,9486	81,61496	185,5102
14	1900	2212	440,1162	83,37258	189,4331
15	2000	2101	440,0324	85,48203	194,263
НОМ	2100	2006	441,2	88,24	200
17	2112,5	1982,848	438,6466	83,29658	189,8945
18	2125	1954,856	435,0131	78,35317	180,1168
19	2137,5	1921,321	430,0656	73,40975	170,6943
20	2150	1881,544	423,6249	68,46633	161,6202
21	2162,5	1834,824	415,5078	63,52291	152,8802
22	2175	1780,461	405,5275	58,5795	144,4526
23	2187,5	1717,753	393,4933	53,63608	136,3075
24	2200	1646	379,2112	48,69266	128,4051
25	2212,5	1343,426	311,2617	43,74924	140,5545
26	2225	1040,853	242,5203	38,80583	160,0107
27	2237,5	738,279	172,9865	33,86241	195,7518
28	2250	435,706	102,6608	28,91899	281,6946
n_{xx}	2268	0	0	17,648	∞

2.1. Расчет веса трактора (диапазона весов трактора) исходя из требуемой энергонасыщенности с учетом диапазонов номинальной мощности

Технический уровень трактора и его соответствие своему назначению по тягово-скоростным свойствам определяют по величине коэффициента энергонасыщенности:

$$\mathcal{E}_{\text{тр}} = \frac{N_{\text{н.э.}}}{G_{\text{тр}}}$$

Чтобы колесный трактор развивал достаточную производительность и работал в зоне максимального КПД значение $\mathcal{E}_{\text{тр}}$ должно находиться в пределах 1,5-1,7 кВт/кН [6, 7, 21].

Исходя из того, что в рассчитываемый трактор вкладывается наибольшая эффективная энергоемкость, а фактическая мощность трактора варьируется от 491,82 до 599,86 л.с. (361,73-441,2 кВт) необходимо выбрать коэффициент $\mathcal{E}_{\text{тр}} = 1,7$, соответствующий наибольшей энергонасыщенности, и определить диапазон эксплуатационного веса трактора для указанного диапазона мощностей:

$$G_{\text{тр}} = \frac{N_{\text{н.э.}}}{\mathcal{E}_{\text{тр}}} = \frac{361,73 \dots 441,2}{1,7} = 212,782 \dots 259,529 \text{ кН (21690 \dots 26455 кг)}$$

2.2. Определение величины номинального тягового усилия исходя из веса трактора

Расчет эксплуатационного веса трактора ведут по выражению [14, 15]:

$$G_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{кр.н}}}{\varphi_{\text{кн}}\lambda_{\text{к}} - f_{\text{к}}}$$

Однако в нашем случае эксплуатационный вес трактора известен и требуется найти номинальное тяговое усилие (диапазон тяговых усилий для различных весов трактора), развиваемое при этом весе, что осуществляется по формуле [6, 17, 18, 39-41]

$$P_{\text{кр.н}} = G_{\text{тр}}(\varphi_{\text{кн}}\lambda_{\text{к}} - f_{\text{к}})$$

При этом принимается, что для тракторов колесной формулы 4К4 $\lambda_{\text{к}}=1$, так как в создании силы тяги всегда участвует весь вес трактора. При этом для стерни [19] принимается $\varphi_{\text{кн}} = 0,51$, а $f_{\text{к}} = 0,11$. Отсюда:

$$P_{\text{кр.н}} = 212,782 \dots 259,529(0,51 - 0,11) = 85,1128 \dots 103,8116 \text{ кН}$$

где $\varphi_{\text{кн}}\lambda_{\text{к}} - f_{\text{к}} = 0,51 - 0,11 = 0,4 = \varphi_{\text{кр.н}}$ – коэффициент использования веса трактора

2.3. Определение конструктивного веса трактора

Конструкционный вес трактора меньше эксплуатационного на 7...10 %. Его рассчитывают с помощью коэффициента $k_G = 1,07 \dots 1,10$ по формуле:

$$G_{\text{тр.к}} = \frac{G_{\text{тр}}}{k_G}$$

Принимая $k_G = 1,07$ получаем диапазон конструкционных весов 198,862...242,550 кН.

2.4. Определение нагрузок на оси трактора

Нагрузка на заднюю ось с учетом коэффициента нагрузки заднего моста:

$$G_{\text{тз}} = \lambda_{\text{кз}} G_{\text{тр}} = 0,45 \cdot 212,782 \dots 259,529 = 95,752 \dots 116,788 \text{ кН}$$

Нагрузка на переднюю ось:

$$G_{\text{тп}} = (1 - \lambda_{\text{кз}}) G_{\text{тр}} = 0,55 \cdot 212,782 \dots 259,529 = 117,03 \dots 142,741 \text{ кН}$$

2.5. Определение механического КПД трактора

Механический КПД определяется исходя из предполагаемой схемы трансмиссии, структуры трансмиссии выбранного трактора-аналога или исходя из опыта разработки тракторных трансмиссий [42-45].

В настоящей работе приведены данные, определенные на основании имеющихся в стране текущих производственных возможностей (табл. 12) [46].

Таблица 12 – КПД трансмиссии

Ветвь трансмиссии	m	n	p	$\eta_{\text{ц}}$	$\eta_{\text{к}}$	$\eta_{\text{п}}$	ζ	k_N	$\eta_{\text{тр}}$
Передний мост	3	1	1	0,985	0,97	0,98	0,04	0,5	0,87
Задний мост	3	1	1	0,985	0,97	0,98	0,04	0,5	0,87
Полный									0,87

где m – число цилиндрических пар шестерен; n – число конических пар шестерен; p – число планетарных рядов; $\eta_{\text{ц}}$ – принятое КПД цилиндрической пары шестерен; $\eta_{\text{к}}$ – принятое КПД конической пары шестерен; $\eta_{\text{п}}$ – принятое КПД планетарного ряда; $\eta_{\text{тр}}$ – значение полного механического КПД трансмиссии; ζ – коэффициент, учитывающий потери энергии в трансмиссии на холостом ходу [7]; k_N – коэффициент передачи мощности на ветвь трансмиссии.

При передаче энергии от двигателя к ведущим колесам часть ее теряется в зацеплении зубчатых передач, преодолении вязкости смазки и т.д. Эффективность работы механической трансмиссии трактора оценивается КПД трансмиссии $\eta_{тр}$, величина которого зависит от количества и вида зубчатых зацеплений КПП, главной передачи, раздаточной коробки и конечной передачи:

$$\eta_{тр} = \eta_{ц}^m \eta_{к}^n \eta_{п}^p (1 - \zeta).$$

Подставляя данные из таблицы 12 получаем: $\eta_{трп} = 0,87$, $\eta_{трз} = 0,87$.

Для тракторов 4К4 вычисляют отдельно КПД ветвей трансмиссии, соединяющих двигатель с передними $\eta_{трп}$ и задними $\eta_{трз}$ ведущими колесами. Полное значение механического КПД трансмиссии находят по выражению:

$$\eta_{тр} = \eta_{трп} \cdot k_{N1} + \eta_{трз} \cdot (1 - k_{N1})$$

где k_{N1} – коэффициент передачи мощности на привод передних колес.

Итоговое полное значение механического КПД составляет $\eta_{тр} = 0,87$.

2.6. Определение значения номинальной действительной скорости исходя из номинальной мощности двигателя

Так как номинальная мощность двигателя известна, то номинальная действительная скорость, реализуемая с номинальным тяговым усилием, выводится из выражения для определения номинальной мощности двигателя [7, 17, 47-50]:

$$N_{н.э} = \frac{(P_{кр.н} + G_{тр} f_k) v_{тр.н}}{n_{тр} (1 - \delta_n)} \rightarrow v_{тр.н} = \frac{N_{н.э} n_{тр} (1 - \delta_n)}{P_{кр.н} + G_{тр} f_k}$$

где $\delta_n = 0,14$ % [7] – допустимое буксование движителей при номинальном тяговом усилии. Величина допустимого буксования движителей при номинальном тяговом усилии выбрана в соответствии с методикой тягового расчета для колесных тракторов тяговой концепции Г.М. Кутькова [7]. Соответствующая выдержка с принципом выбора величины представлена в таблице 13.

Таблица 13 – Скорость движения трактора $v_{тр}$ и допустимое буксование движителей δ_n при номинальном тяговом усилии $P_{кр.н}$ [7]

Тип движителя	Колесная формула	Значения скорости $v_{тр}$, км/ч	Допустимое буксование δ_n , %
Колесный	4К2	8...10	16
	4К4	8...10	14
Гусеничный	–	7...9	3

Отсюда находим и для трактора 500 л.с. и для трактора 600 л.с.:

$$v_{\text{тр.н}} = \frac{361,73 \dots 441,2 \cdot 0,87 (1 - 0,14)}{85,1128 \dots 103,8116 + 212,782 \dots 259,529 \cdot 0,11} = 2,49 \text{ м/с}$$

Таким образом номинальная действительная скорость для тракторов обеих мощностей равна $v_{\text{тр.н}} = 2,49 \text{ м/с}$ ($8,98 \text{ км/ч}$).

Так как выбранные минимальная $v_{\text{min}} = 7,0 \text{ км/ч}$ ($1,94 \text{ м/с}$) и максимальная $v_{\text{max}} = 15,0 \text{ км/ч}$ ($4,17 \text{ м/с}$) скорости движения рабочего диапазона охватывают расчетное значение номинальной действительной скорости и ее значение находится в первой трети указанного скоростного диапазона, то уточнение потребной мощности двигателя производить не требуется [51].

2.7. Выбор и обоснование типоразмера колес

Для определения передаточных чисел трансмиссии необходимо выбрать размеры ведущего колеса (r_k).

Тип и параметры шин тракторных колес, включая диаметр, выбирают по ГОСТ 7463-2003 Шины пневматические для тракторов и сельскохозяйственных машин. Технические условия. в соответствии с нормальной нагрузкой на них.

Полученная расчетом нормальная нагрузка на шину не должна превышать максимально допустимую по стандарту при минимальном давлении воздуха, регламентируемого стандартом. Нормальную нагрузку на ведущее колесо следует принимать из расчета, что на ведущую ось она может достигать 80...100 % эксплуатационного веса трактора [51].

Из полученных в п. 2.3. значений расчетных нагрузок для осей трактора выбираем самый нагруженный вариант – нагрузку на переднюю ось: $G_{\text{тп}} = 117,03 \dots 142,741 \text{ кН}$.

Расчетное значение нагрузки на шину таким образом составляет половину указанной нагрузки: $G_{\text{п}} = 58,515 \dots 71,37 \text{ кН}$.

На основании величины полученное нагрузки были подобраны следующие типоразмеры шин под данную нагрузку, в зависимости от мощности трактора (табл. 14):

Таблица 14 – Параметр выбранных шин

Мощность трактора, л.с.	Типоразмер шины	Внешний диаметр, мм	Ширина профиля, мм	Статический радиус, мм	Допускаемая нагрузка, кг	Давление, бар
500 л.с.	710/70R42 176 A8	2062	745	929	7940	2,4
600 л.с.	800/70R38 181 A8	2085	820	926	9000	2,4

2.8. Расчет передаточных чисел трансмиссии трактора

Основой тягового расчета является определение тяговых показателей в рабочем диапазоне передач трактора, выбираемом в соответствие с назначением и комплексом выполняемых технологических операций. Исходя из этого выбирается наибольшая и наименьшая теоретическая скорость движения, скоростной ряд, разделяющий которые, впоследствии делится на отдельные передачи. Теоретическую скорость 1 передачи рабочего диапазона ($v_{\min} = v_{p1}$) обычно принимают равной 8...10 км/ч для колесных тракторов общего назначения. Это несколько выше нижнего предела современных технологических скоростей, поэтому при расчете принято добавить еще одну-две более низких передач. Наивысшую теоретическую скорость ($v_{\max} = v_{pz}$) рабочего диапазона скоростей принимают равной 15...17 км/ч для колесных тракторов [43, 44, 49, 52-54].

На основании рациональных представлений о вписывании скоростного диапазона в необходимые охват технологических потребностей агрегируемых машин выбран следующий диапазон рабочих скоростей движения [1, 3]:

- $v_{p1} = 7,0$ км/ч (1,94 м/с);
- $v_{pz} = 15,0$ км/ч (4,17 м/с).

Передаточные числа в пределах рабочего диапазона разбивают по передачам согласно закону геометрической прогрессии, знаменатель которой вычисляют по формуле:

$$q_i = \sqrt[z-1]{\frac{v_{p1}}{v_{pz}}}$$

где z – число передач, входящих в диапазон.

Полученное значение q_i проверяют на соответствие условию

$$q_i \geq 1/k_{\pi}$$

где k_{π} – коэффициент допустимого перекрытия при переключении передач без разрыва потока мощности [55].

Анализ предыдущего выражения и неравенства позволяет выполнять следующее преобразование:

$$z \geq \frac{\ln\left(\frac{v_{p1}}{v_{pz}}\right)}{\ln\left(\frac{1}{k_{\pi}}\right)} + 1$$

Учитывая, что $k_{\pi} \approx 1,2$ – по рекомендациям ПРУП Молодечненский завод порошковой металлургии и подставляя значения скоростей получим:

$$\frac{\ln\left(\frac{7,0}{15,0}\right)}{\ln\left(\frac{1}{1,2}\right)} + 1 = 5,18$$

Полученное значение необходимо округлить в большую сторону. Таким образом, число выбранных передач $z=6$.

Проверка по выражениям выше показывает, что в этом случае:

$$q_i = 0,8586 \geq 1 / k_{\pi} = 0,8333$$

Далее рассчитывают передаточные числа трансмиссии на низшей и высшей передачах, исходя из принятого диапазона теоретических рабочих скоростей трактора:

$$i_{p1} = \frac{\omega_{дн} \cdot r_k}{v_{p1}} = \frac{219,91 \cdot 0,929 \dots 0,926}{1,94} = 105,307 \dots 104,967$$

$$i_{pz} = \frac{\omega_{дн} \cdot r_k}{v_{pz}} = \frac{219,91 \cdot 0,929 \dots 0,926}{4,17} = 48,992 \dots 48,834$$

где $\omega_{дн} = \frac{\pi n_n}{30}$ - угловая частота коленчатого вала двигателя в c^{-1} ; v_{p1} , v_{pz} - скорости движения трактора в м/с.

Для любой другой j -ой передачи внутри диапазона справедливо выражение

$$i_j = i_1 q_i^{(j-1)}$$

Результаты расчета по всем передачам сведены в таблицу 15.

Таблица 15 – Расчет передаточных отношений по всем передачам рабочего диапазона

№ передачи	1	2	3	4	5	6
Передаточное отношение	i_{p1}	i_{p2}	i_{p3}	i_{p4}	i_{p5}	i_{p6}
для 500 л.с.	105,307	90,416	77,632	66,655	57,230	48,992
для 600 л.с.	104,967	90,125	77,381	66,439	57,045	48,834

2.9. Определение касательной силы тяги

Касательная сила тяги P_k зависит от величины крутящего момента двигателя M_d , передаточного отношения $i_{тр}$ и КПД $\eta_{тр}$ трансмиссии, динамического радиуса колеса r_d , и сцепных качеств с опорной поверхностью φ_k .

Расчет ведется исходя из следующего неравенства [6, 7, 39-41, 47]

$$P_k = \frac{M_d i_{тр} \eta_{тр}}{r_d} \leq P_{k \max} = \varphi_k G_{трв}$$

где $\varphi_k = 0,7$ – коэффициент сцепления движителей с почвой для сухой стерни [19]; $G_{\text{трв}}$ – нагрузка ведущих колес от веса трактора, $r_d \approx r_k$ – динамический радиус колеса

При этом $P_{k \max} = 0,7 \cdot 212,782 \dots 259,529 = 148,947 \dots 181,670$ кН.

Теоретическая максимальная касательная сила тяги, которая может быть создана на ведущих колесах на каждой передаче обеспечивается на режиме максимального крутящего момента и без учета условий взаимодействия с почвой приведена в таблице 16.

Таблица 16 – Максимальная касательная сила тяги по передачам

№ передачи	1	2	3	4	5	6
Максимальная касательная сила, кН	$P_{\text{км1}}$	$P_{\text{км2}}$	$P_{\text{км3}}$	$P_{\text{км4}}$	$P_{\text{км5}}$	$P_{\text{км6}}$
для 500 л.с.	219,033	188,060	161,470	138,639	119,035	101,901
для 600 л.с.	281,064	241,323	207,199	177,900	152,746	130,760

2.10. Определение силы сопротивления качению и силы на крюке

Сила сопротивления качению трактора – доля веса, которую необходимо преодолевать для обеспечения движения. Она зависит от коэффициента сопротивления качению движителей по опорной поверхности [6, 7, 21, 56]:

$$P_f = f_k G_{\text{трв}} = 0,11 \cdot 212,782 \dots 259,529 = 23,41 \dots 28,55 \text{ кН}$$

Сила сопротивления качению трактора может быть разложена на силу сопротивления качению заднего P_{f3} и переднего мостов $P_{fп}$:

Сила сопротивления качению заднего P_{f3} моста:

$$P_{f3} = f_k G_{\text{тз}} = 0,11 \cdot 95,752 \dots 116,788 = 10,53 \dots 12,85 \text{ кН}$$

Сила сопротивления качению переднего $P_{fп}$ моста:

$$P_{fп} = f_k G_{\text{тп}} = 0,11 \cdot 117,03 \dots 142,741 = 12,87 \dots 15,70 \text{ кН}$$

Сила тяги на крюке трактора $P_{кр}$ является результатом снижения касательной силы тяги из-за сопротивления качению P_f :

$$P_{кр} = P_k - P_f$$

Соответственно составляющая крюковой силы от заднего моста:

$$P_{кр3} = P_{к3} - P_{f3}$$

Составляющая крюковой силы от переднего моста:

$$P_{крп} = P_{кп} - P_{fп}$$

Отсюда:

$$P_{кн} = P_{кр.н} + P_f = 85,1128 \dots 103,8116 + 23,41 \dots 28,55 = 108,523 \dots 132,362 \text{ кН}$$

2.11. Расчет параметров буксования

Величина буксования ведущего колеса зависит от передаваемого усилия, свойств почвы и движителя, а также от степени ее уплотнения движителем. Для практических расчетов удобно пользоваться эмпирической зависимостью коэффициента буксования от влияющих факторов следующего вида:

$$\delta = -k_\varphi \ln \left(1 - \frac{P_k}{P_{k \text{ max}}} \right)$$

то есть

$$\delta = -k_\varphi \ln \left(1 - \frac{P_k}{G_{трв} \varphi_k} \right)$$

где $k_\varphi = 0,13$ – коэффициент податливости опорной поверхности для стерни.

Построенная по указанным зависимостям теоретическая кривая буксования приведена на рис. 53

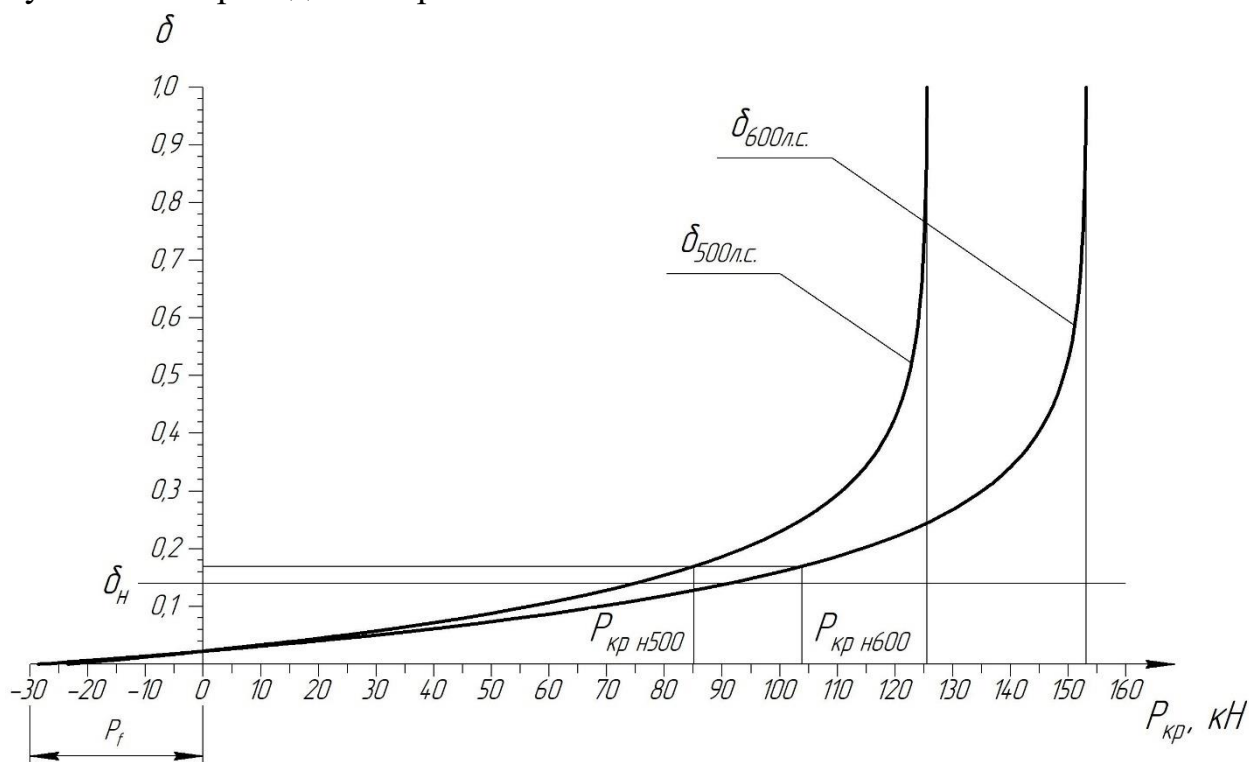


Рисунок 53 – Теоретическая кривая буксования в сравнении для двух тракторов

2.12. Расчет и построение теоретической тяговой характеристики трактора

Показатели тяговой характеристики для построения функциональных зависимостей рассчитывают по следующим выражениям:

- для величины крюкового усилия:

$$P_{кр} = P_k - P_f$$

- для действительной скорости движения:

$$v_{тр} = v_t(1 - \delta)$$

- для крюковой мощности:

$$N_{кр} = P_{кр} v_{тр}$$

- для крюкового удельного расхода топлива [57-59]:

$$g_{кр} = \frac{G_t}{N_{кр}}$$

На каждой передаче вычисляют ряд точек для построения функциональных зависимостей тяговой характеристики [6, 7, 21]

$$N_{кр}, g_{кр}, v_{тр}, \eta_t = f(P_{кр})$$

Цикл расчетов по приведенным формулам повторяют для каждой передачи рабочего диапазона.

Тяговый КПД определяют по формуле: $\eta_t = N_{кр} / N_e$.

Результаты расчетов тяговой характеристики для трактора мощностью 500 л.с. характеристики приведены в таблицах 17-22.

Итоговая тяговая характеристика для трактора мощностью 500 л.с. приведена на рис. 54.

Подборный анализ тяговой характеристики рассчитываемого трактора мощностью 500 л.с. приведен в таблице 23.

Результаты расчетов тяговой характеристики для трактора мощностью 600 л.с. характеристики приведены в таблицах 24-29.

Тяговая характеристика для трактора мощностью 600 л.с. приведена на рис. 55.

Подборный анализ тяговой характеристики рассчитываемого трактора мощностью 600 л.с. приведен в таблице 30.

Таблица 17 – Результат расчета на 1-ой передаче рабочего диапазона

Направление движения – передний ход; Передача – P1; $i_{тр} = 105,307$; КПД = 0,87; $r_k = 0,929$ м; $G_{тр} = 212,78$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	$v_{тр}$, м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
0	-23,406	2,095214	0	0	∞	0	0	2268
35,32794	11,92192	2,005428	23,90854	0,03519 6	991,69 71	0,28395 2	84,19929	2250
59,86077	36,45475	1,928923	70,31839	0,06681 8	394,81 89	0,49562 8	141,8773	2237,5
84,39488	60,98886	1,832069	111,7358	0,10869 5	284,74 34	0,56174 4	198,9087	2225
108,928	85,52198	1,694735	144,9371	0,17085	247,47 99	0,56774	255,288	2212,5
133,4611	110,0551	1,434316	157,8538	0,29427 3	252,90 51	0,50754	311,0177	2200
143,0842	119,6781	1,171009	140,1441	0,42053 6	313,78 42	0,42269 6	331,5486	2187,5
147,5912	124,1852	0,781905	97,10105	0,61085 7	494,61 89	0,28555 9	340,0379	2175
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	345,8941	2162,5
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	350,3813	2150
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	353,9983	2137,5
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	357,004	2125
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	359,5563	2112,5
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	361,73	2100
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	372,8023	2000
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	382,0177	1900
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	387,3584	1800
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	373,8495	1700
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	358,5604	1600
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	345,5752	1500
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	325,6156	1400
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	295,4144	1300
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	267,6637	1200
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	239,5988	1100
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	213,6283	1000
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	174,3584	900
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	142,4189	800
148,2901	124,8841	0,190753	23,82205	0,70502 3	933,39 97	0,21665 1	109,9557	700
134,4497	111,0437	0,386424	42,90992	0,30284 9	416,57 09	0,50215 6	85,45132	600

Таблица 18 – Результат расчета на 2-ой передаче рабочего диапазона

Направление движения – передний ход; Передача – P2; $i_{тр} = 90,416$; КПД = 0,87; $r_k = 0,929$ м; $G_{тр} = 212,78$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	$v_{тр}$, м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
0	-23,406	2,440268	0	0	∞	0	0	2268
30,33257	6,926548	2,349236	16,2721	0,029603	1457,0 98	0,1932 57	84,19929	2250
51,39646	27,99044	2,274997	63,67817	0,055018	435,98 98	0,4488 26	141,8773	2237,5
72,46144	49,05542	2,186578	107,2635	0,086643	296,61 56	0,5392 6	198,9087	2225
93,52558	70,11956	2,074603	145,4702	0,128521	246,57 3	0,5698 28	255,288	2212,5
114,5897	91,18369	1,915744	174,6846	0,19068	228,53 77	0,5616 55	311,0177	2200
122,8521	99,44604	1,820695	181,0609	0,226439	242,87 42	0,5461 07	331,5486	2187,5
126,7218	103,3158	1,761459	181,9865	0,247305	263,90 97	0,5351 95	340,0379	2175
129,6493	106,2433	1,708614	181,5288	0,265667	286,90 22	0,5248 1	345,8941	2162,5
132,0948	108,6888	1,657989	180,2048	0,283281	311,50 12	0,5143 11	350,3813	2150
134,2389	110,8329	1,607664	178,1821	0,300972	337,78 38	0,5033 42	353,9983	2137,5
136,175	112,769	1,556311	175,5036	0,31932	366,03 24	0,4916 01	357,004	2125
137,9601	114,5541	1,502673	172,1373	0,338891	396,73 56	0,4787 49	359,5563	2112,5
139,6297	116,2237	1,445366	167,9858	0,360318	430,66 74	0,4643 96	361,73	2100
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	372,8023	2000
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	382,0177	1900
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	387,3584	1800
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	373,8495	1700
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	358,5604	1600
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	345,5752	1500
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	325,6156	1400
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	295,4144	1300
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	267,6637	1200
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	239,5988	1100
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	213,6283	1000
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	174,3584	900
144,2982	120,8921	0,472822	57,16045	0,450696	488,76 45	0,4013 54	142,4189	800
127,3219	103,9159	0,564226	58,63209	0,250864	379,23 77	0,5332 34	109,9557	700

Направление движения – передний ход; Передача – Р2; $i_{тр} = 90,416$; КПД = 0,87; $r_k = 0,929$ м; $G_{тр} = 212,78$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	$v_{тр}$, м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
115,4385	92,03251	0,520376	47,89154	0,193932	373,23 97	0,5604 54	85,45132	600

Таблица 19 – Результат расчета на 3-ей передаче рабочего диапазона

Направление движения – передний ход; Передача – Р3; $i_{тр} = 77,632$; КПД = 0,87; $r_k = 0,929$ м; $G_{тр} = 212,78$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	$v_{тр}$, м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
0	-23,406	2,842148	0	0	∞	0	0	2268
26,04354	2,637523	2,749144	7,25093	0,0249 85	3269,9 3	0,08 6116	84,19929	2250
44,129	20,72298	2,675851	55,4516	0,0456 77	500,67 14	0,39 0842	141,8773	2237,5
62,21539	38,80937	2,592247	100,6035	0,0703	316,25 17	0,50 5777	198,9087	2225
80,30106	56,89504	2,493394	141,8617	0,1007 01	252,84 5	0,55 5693	255,288	2212,5
98,38673	74,98071	2,36971	177,6825	0,1404 54	224,68 18	0,57 1294	311,0177	2200
105,4808	82,07476	2,30237	188,9665	0,1601 08	232,71 34	0,56 9951	331,5486	2187,5
108,8033	85,39731	2,261038	193,0866	0,1704 45	248,73 83	0,56 7838	340,0379	2175
111,3169	87,91091	2,225264	195,625	0,1788 51	266,22 89	0,56 5563	345,8941	2162,5
113,4166	90,01056	2,192292	197,3294	0,1863 15	284,46 86	0,56 3185	350,3813	2150
115,2575	91,85148	2,16102	198,4929	0,1932 31	303,22	0,56 0717	353,9983	2137,5
116,9199	93,51385	2,130864	199,2653	0,1998 1	322,38 42	0,55 816	357,004	2125
118,4525	95,0465	2,101454	199,7359	0,2061 84	341,91 66	0,55 5507	359,5563	2112,5
119,8861	96,48003	2,072547	199,9594	0,2124 44	361,80 35	0,55 2786	361,73	2100
129,7247	106,3187	1,839187	195,54	0,2661 75	370,36 78	0,52 4514	372,8023	2000
139,9278	116,5218	1,513011	176,2987	0,3645 45	410,47 83	0,46 1494	382,0177	1900
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	387,3584	1800
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	373,8495	1700
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	358,5604	1600
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	345,5752	1500
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	325,6156	1400

Направление движения – передний ход; Передача – Р3; $i_{тр} = 77,632$; КПД = 0,87; $r_k = 0,929$ м; $G_{тр} = 212,78$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	$v_{тр}$, м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, Г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	295,4144	1300
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	267,6637	1200
148,9474	125,5414	0	0	1	∞	0	239,5988	1100
148,6733	125,2673	0,227182	28,45853	0,8187 11	1402,0 93	0,13 3215	213,6283	1000
134,8263	111,4202	0,782414	87,1768	0,3062 7	382,05 13	0,49 9986	174,3584	900
123,8944	100,4884	0,770199	77,39605	0,2317 38	360,97 44	0,54 344	142,4189	800
109,3186	85,91257	0,726217	62,39118	0,1721 25	356,38 84	0,56 7421	109,9557	700
99,11552	75,7095	0,644865	48,82243	0,1423 42	366,12 31	0,57 1348	85,45132	600

Таблица 20 – Результат расчета на 4-ой передаче рабочего диапазона

Направление движения – передний ход; Передача – Р4; $i_{тр} = 66,655$; КПД = 0,87; $r_k = 0,929$ м; $G_{тр} = 212,78$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	$v_{тр}$, м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, Г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
0	-23,406	3,310212	0	0	∞	0	0	2268
22,36099	-1,04503	3,214495	0	0,02 1147	∞	0	84,19929	2250
37,88916	14,48314	3,141077	45,49265	0,03 816	610,27 5	0,32 0648	141,8773	2237,5
53,41814	30,01212	3,059941	91,83532	0,05 7741	346,44 65	0,46 1696	198,9087	2225
68,94649	45,54047	2,968281	135,1769	0,08 0802	265,34 88	0,52 9507	255,288	2212,5
84,47485	61,06883	2,861431	174,7442	0,10 8856	228,45 97	0,56 1847	311,0177	2200
90,56579	67,15977	2,803984	188,3149	0,12 1757	233,51 85	0,56 7986	331,5486	2187,5
93,41854	70,01252	2,767286	193,7447	0,12 827	247,89 33	0,56 9774	340,0379	2175
95,57672	72,1707	2,735117	197,3953	0,13 3423	263,84 12	0,57 0681	345,8941	2162,5
97,37947	73,97345	2,70529	200,1196	0,13 789	280,50 23	0,57 1148	350,3813	2150
98,96009	75,55407	2,676936	202,2534	0,14 1937	297,58 22	0,57 134	353,9983	2137,5
100,3874	76,98138	2,649601	203,9699	0,14 5703	314,94 84	0,57 1338	357,004	2125
101,7033	78,29731	2,623003	205,3741	0,14 9275	332,52 98	0,57 1188	359,5563	2112,5

Направление движения – передний ход; Передача – Р4; $i_{тр} = 66,655$; КПД = 0,87; $r_k = 0,929$ м; $G_{тр} = 212,78$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	$v_{тр}$, м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, Г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
102,9342	79,52814	2,596964	206,5317	0,15 2706	350,29	0,57 0956	361,73	2100
111,3816	87,97563	2,396327	210,8184	0,17 9075	343,52 65	0,56 5497	372,8023	2000
120,142	96,73598	2,180787	210,9605	0,21 3594	343,03 48	0,55 2227	382,0177	1900
128,5895	105,1835	1,947466	204,8412	0,25 8716	350,80 31	0,52 8816	387,3584	1800
131,4053	107,9993	1,791255	193,4543	0,27 8069	352,66 94	0,51 7466	373,8495	1700
133,9083	110,5023	1,639152	181,1299	0,29 8082	357,08 67	0,50 5159	358,5604	1600
137,6627	114,2567	1,454963	166,2392	0,33 5419	372,48 39	0,48 1051	345,5752	1500
138,9768	115,5707	1,325079	153,1404	0,35 1513	380,36 35	0,47 031	325,6156	1400
135,7855	112,3795	1,298924	145,9724	0,31 5415	363,26 89	0,49 4127	295,4144	1300
133,2825	109,8765	1,238645	136,098	0,29 2782	356,01 24	0,50 8467	267,6637	1200
130,1538	106,7478	1,17343	125,2611	0,26 911	350,89 59	0,52 2795	239,5988	1100
127,6509	104,2449	1,090478	113,6767	0,25 2856	351,00 87	0,53 2124	213,6283	1000
115,7618	92,3558	1,057176	97,63637	0,19 5192	341,12 3	0,55 9975	174,3584	900
106,3757	82,96971	0,977519	81,10451	0,16 2813	344,46 91	0,56 9479	142,4189	800
93,86094	70,45492	0,889558	62,67377	0,12 931	354,78 15	0,56 9991	109,9557	700
85,10058	61,69456	0,77928	48,07734	0,11 0124	371,79 72	0,56 2628	85,45132	600

Таблица 21 – Результат расчета на 5-ой передаче рабочего диапазона

Направление движения – передний ход; Передача – Р5; $i_{тр} = 57,230$; КПД = 0,87; $r_k = 0,929$ м; $G_{тр} = 212,78$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	$v_{тр}$, м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, Г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
0	-23,406	3,85536	0	0	∞	0	0	2268
19,19914	-4,20688	3,756147	0	0,01 794	∞	0	84,19929	2250
32,53163	9,125611	3,681666	33,59745	0,03 2035	826,34 33	0,23 6806	141,8773	2237,5
45,86481	22,45879	3,60129	80,88062	0,04 7848	393,37 02	0,40 6622	198,9087	2225

Направление движения – передний ход; Передача – P5; $i_{TP} = 57,230$; КПД = 0,87; $r_k = 0,929$ м; $G_{TP} = 212,78$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	v_{TP} , м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, Г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
59,19746	35,79144	3,513339	125,7475	0,06 5854	285,24 65	0,49 2571	255,288	2212,5
72,5301	49,12408	3,415305	167,7737	0,08 676	237,95 16	0,53 9435	311,0177	2200
77,75979	54,35377	3,361631	182,7173	0,09 5976	240,67 24	0,55 1103	331,5486	2187,5
80,20916	56,80314	3,325593	188,9041	0,10 0527	254,24 55	0,55 5538	340,0379	2175
82,06217	58,65615	3,293421	193,1794	0,10 408	269,59 93	0,55 8493	345,8941	2162,5
83,61002	60,204	3,263259	196,4612	0,10 7124	285,72 56	0,56 0707	350,3813	2150
84,96713	61,56111	3,234372	199,1115	0,10 9852	302,27 78	0,56 2465	353,9983	2137,5
86,19262	62,7866	3,206376	201,3174	0,11 2367	319,09 81	0,56 3908	357,004	2125
87,32248	63,91646	3,179033	203,1925	0,11 4728	336,1	0,56 512	359,5563	2112,5
88,37927	64,97325	3,152195	204,8084	0,11 6977	353,23 75	0,56 6191	361,73	2100
95,63228	72,22626	2,945717	212,7581	0,13 3559	340,39 45	0,57 07	372,8023	2000
103,1539	79,7479	2,734578	218,0768	0,15 3329	331,84 08	0,57 0855	382,0177	1900
110,4069	87,00091	2,522063	219,4218	0,17 5745	327,49 22	0,56 6457	387,3584	1800
112,8246	89,41858	2,35761	210,8142	0,18 4167	323,62 82	0,56 3901	373,8495	1700
114,9736	91,56762	2,19724	201,1961	0,19 2141	321,47 3	0,56 1122	358,5604	1600
118,1972	94,79118	2,026867	192,1291	0,20 5101	322,29 07	0,55 5969	345,5752	1500
119,3254	95,91943	1,880178	180,3456	0,20 996	322,98 55	0,55 386	325,6156	1400
116,5854	93,1794	1,771295	165,0482	0,19 8459	321,28 33	0,55 87	295,4144	1300
114,4364	91,03036	1,652091	150,3905	0,19 0101	322,17 86	0,56 1863	267,6637	1200
111,7501	88,34406	1,532638	135,3995	0,18 0356	324,62 17	0,56 5109	239,5988	1100
109,601	86,19502	1,405719	121,166	0,17 3055	329,31 27	0,56 7181	213,6283	1000
99,3931	75,98708	1,311024	99,62089	0,14 3068	334,32 76	0,57 1357	174,3584	900
91,3342	67,92818	1,191994	80,96996	0,12 3479	345,04 15	0,56 8534	142,4189	800
80,589	57,18298	1,069448	61,15425	0,10 1248	363,59 69	0,55 6172	109,9557	700

Направление движения – передний ход; Передача – Р5; $i_{TP} = 57,230$; КПД = 0,87; $r_k = 0,929$ м; $G_{TP} = 212,78$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	v_{TP} , м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, Г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
73,06736	49,66134	0,930511	46,21044	0,08 7677	386,81 78	0,54 0781	85,45132	600

Таблица 22 – Результат расчета на 6-ой передаче рабочего диапазона

Направление движения – передний ход; Передача – Р6; $i_{TP} = 48,992$; КПД = 0,87; $r_k = 0,929$ м; $G_{TP} = 212,78$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	v_{TP} , м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, Г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
0	-23,406	4,50363	0	0	∞	0	0	2268
16,43554	-6,97048	4,399977	0	0,01 52	∞	0	84,19929	2250
27,8489	4,442876	4,323509	19,20881	0,02 6909	1445,3 28	0,13 539	141,8773	2237,5
39,26284	15,85682	4,242495	67,2725	0,03 9778	472,94 25	0,33 8208	198,9087	2225
50,67633	27,27031	4,155904	113,3328	0,05 4062	316,49 29	0,44 3941	255,288	2212,5
62,08982	38,6838	4,062309	157,1456	0,07 0112	254,04 48	0,50 5263	311,0177	2200
66,56673	43,16071	4,009345	173,0462	0,07 6992	254,12 3	0,52 1933	331,5486	2187,5
68,66353	45,25751	3,971959	179,761	0,08 0343	267,17 71	0,52 865	340,0379	2175
70,24981	46,84379	3,937991	184,4704	0,08 2937	282,32 72	0,53 3315	345,8941	2162,5
71,57485	48,16883	3,905804	188,138	0,08 5145	298,36 61	0,53 6952	350,3813	2150
72,73662	49,3306	3,874748	191,1436	0,08 7112	314,87 84	0,53 9956	353,9983	2137,5
73,78571	50,37969	3,844485	193,6839	0,08 8914	331,67 44	0,54 2526	357,004	2125
74,75293	51,34691	3,814807	195,8785	0,09 0597	348,64 97	0,54 4779	359,5563	2112,5
75,6576	52,25158	3,785584	197,8027	0,09 2192	365,74 83	0,54 6824	361,73	2100
81,86658	58,46056	3,559614	208,097	0,10 37	348,01 9	0,55 8197	372,8023	2000
88,30553	64,89951	3,332138	216,2541	0,11 6819	334,63 77	0,56 6084	382,0177	1900
94,51451	71,10849	3,106571	220,9036	0,13 0861	325,29 54	0,57 0282	387,3584	1800
96,58417	73,17815	2,916973	213,4587	0,13 5901	319,61 89	0,57 0975	373,8495	1700
98,42387	75,01785	2,730614	204,8448	0,14 055	315,74 69	0,57 1298	358,5604	1600

Направление движения – передний ход; Передача – Р6; $i_{TP} = 48,992$; КПД = 0,87; $r_k = 0,929$ м; $G_{TP} = 212,78$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	v_{TP} , м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, Г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
101,1834	77,7774	2,538202	197,4147	0,14 7852	313,66 17	0,57 1264	345,5752	1500
102,1493	78,74324	2,361605	185,9604	0,15 0507	313,23 34	0,57 1104	325,6156	1400
99,80364	76,39762	2,209331	168,7877	0,14 415	314,16 53	0,57 1359	295,4144	1300
97,96394	74,55792	2,050768	152,901	0,13 9372	316,88 87	0,57 1243	267,6637	1200
95,66432	72,2583	1,892398	136,7415	0,13 3637	321,43 59	0,57 071	239,5988	1100
93,82462	70,4186	1,729124	121,7625	0,12 9224	327,69 94	0,56 9974	213,6283	1000
85,08605	61,68003	1,590399	98,09589	0,11 0094	339,52 5	0,56 2611	174,3584	900
78,18719	54,78117	1,434873	78,60403	0,09 6759	355,42 7	0,55 1921	142,4189	800
68,98869	45,58267	1,277598	58,23634	0,08 0871	381,81 47	0,52 9634	109,9557	700
62,54975	39,14373	1,10708	43,33525	0,07 0802	412,48 23	0,50 7134	85,45132	600

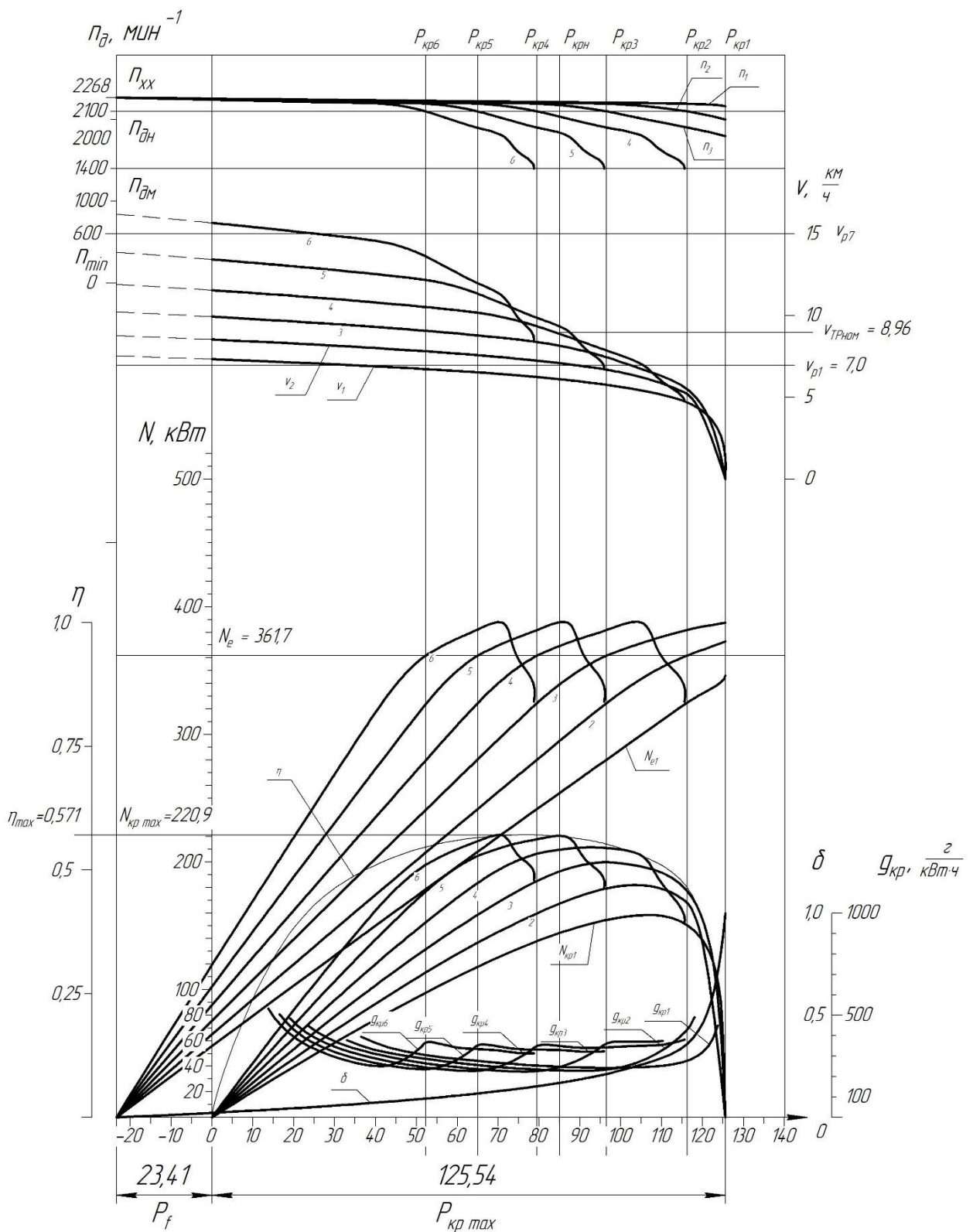


Рисунок 54 – Тяговая характеристика трактора 500 л.с.

Таблица 23 – Результат анализа тяговой характеристики трактора мощностью 500 л.с.

$m_э$, кг	Передача	Сравниваемые параметры при условии						
		$N_{кр}$, кВт	$P_{кр}$, кН	v , км/ч	δ , %	$g_{кр}$, г/кВт ч	G_T , кг/ч	
Для номинального тягового усилия $P_{кр.н} = 85,11$ кН (выбрано в соответствие с ГОСТ 27021-86 по зависимости $P_{кр.ном} = 3,92 \cdot 10^{-3} m_э$, что равноценно $P_{кр.ном} = 9,81 m_э \varphi_{кр.н} \cdot 10^{-3}$, где $\varphi_{кр.н} = 0,4$								
21 690	1	144,5	–	6,11	0,169	247,8	35,8	
	2	167,5		7,09		229,5	38,4	
	3	192,8		8,15		247,0	47,6	
	4	209,7		8,88		349,6	73,3	
	5	220,5		9,34		329,4	72,6	
	6	–		–		–	–	
	Для наибольшей мощности на передаче							
	1	158,7	106,5	5,35	0,267	247,5	39,2	
	2	182,0	103,5	6,33	0,250	265,2	48,2	
	3	200,0	96,3	7,47	0,212	361,8	72,4	
	4	211,6	92,6	8,23	0,195	339,9	71,9	
	5	220,5	85,0	9,35	0,169	329,4	72,6	
	6	221,4	70,2	11,35	0,129	327,2	72,42829	
	Для максимальной мощности $N_{кр.макс} = 220,9$, кВт							
	6	220,9	70,16	11,36	0,129	327,3	72,3	
	Для допустимого буксования δ_n							
	1	132,3	74,98	6,35	0,140	259,8	34,4	
	2	153,1		7,35		239,3	36,6	
	3	177,7		8,53		224,7	39,9	
	4	201,5		9,67		291,1	58,6	
	5	215,0		10,31		334,4	71,9	
	6	205,0		9,84		315,8	64,7	
	Номинальное значение при передаче							
	1	0	125,5	0	1	∞	0	
2	168,0	116,2	1,44	0,360	430,7	72,3		
3	200,0	96,5	2,07	0,212	361,8			
4	206,5	79,5	2,60	0,153	350,3			
5	204,8	65,0	3,15	0,117	353,2			
6	197,8	52,2	3,78	0,092	365,7			
Диапазон тяговых усилий и скоростей, соответствующих минимальному расходу топлива								
4-1	–	56,2 ... 101,0	10,43 ... 5,59	0,099 ... 0,236	224,5 (+5%) 235,8	–		

Таблица 24 – Результат расчета на 1-ой передаче рабочего диапазона

Направление движения – передний ход; Передача – P1; $i_{тр} = 104,967$; КПД = 0,87; $r_k = 0,926$ м; $G_{тр} = 259,53$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	$v_{тр}$, м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
0	-28,5482	2,095214	0	0	∞	0	0	2268

Направление движения – передний ход; Передача – P1; $i_{TP} = 104,967$; КПД = 0,87; $r_k = 0,926$ м; $G_{TP} = 259,53$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	v_{TP} , м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, Г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
43,07393	14,52574	2,005458	29,13076	0,03 5182	992,73 04	0,28 3757	102,6608	2250
72,98633	44,43814	1,928986	85,72053	0,06 6787	395,03 27	0,49 5533	172,9865	2237,5
102,8988	74,35063	1,832195	136,2248	0,10 8634	284,86 6	0,56 1705	242,5203	2225
132,8112	104,263	1,694995	176,7253	0,17 0723	247,55 51	0,56 7771	311,2617	2212,5
162,7237	134,1755	1,435127	192,5589	0,29 3874	252,87 16	0,50 7788	379,2112	2200
169,8172	141,269	1,303752	184,1798	0,35 4849	291,21 59	0,46 8063	393,4933	2187,5
176,0165	147,4683	1,102938	162,6485	0,45 1083	360,16 01	0,40 1079	405,5275	2175
181,3909	152,8427	0,315585	48,23481	0,84 203	1316,9 52	0,11 6086	415,5078	2162,5
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	423,6249	2150
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	430,0656	2137,5
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	435,0131	2125
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	438,6466	2112,5
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	441,2	2100
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	440,0324	2000
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	440,1162	1900
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	439,9486	1800
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	440,0743	1700
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	439,9905	1600
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	439,823	1500
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	417,8318	1400
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	381,1799	1300
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	351,8584	1200
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	299,4985	1100
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	246,0914	1000
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	197,9203	900
179,8265	151,2783	0,297653	45,02837	0,59 6747	663,24 45	0,29 5854	152,1977	799
146,5571	118,0089	0,508497	60,00715	0,21 367	366,21 7	0,55 2192	108,6707	700
111,9096	83,36143	0,488557	40,7268	0,12 4426	367,23 56	0,56 8811	71,59983	604

Таблица 25 – Результат расчета на 2-ой передаче рабочего диапазона

Направление движения – передний ход; Передача – P2; $i_{тр} = 90,125$; КПД = 0,87; $r_k = 0,926$ м; $G_{тр} = 259,53$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	$v_{тр}$, м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, Г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
0	-28,5482	2,440268	0	0	∞	0	0	2268
36,98328	8,435088	2,349265	19,81626	0,02 9591	1459,3 57	0,19 3026	102,6608	2250
62,66606	34,11787	2,275055	77,62002	0,05 4994	436,25 87	0,44 8706	172,9865	2237,5
88,34892	59,80073	2,186684	130,7653	0,08 6599	296,75 93	0,53 9193	242,5203	2225
114,0317	85,48351	2,07479	177,3603	0,12 8442	246,66 87	0,56 9811	311,2617	2212,5
139,7146	111,1664	1,91611	213,007	0,19 0525	228,59 65	0,56 1711	379,2112	2200
145,8051	117,2569	1,857232	217,7732	0,21 0915	246,29 33	0,55 3436	393,4933	2187,5
151,1278	122,5796	1,797746	220,367	0,23 18	265,82 7	0,54 3408	405,5275	2175
155,7422	127,194	1,73787	221,0467	0,25 3093	287,37 33	0,53 1992	415,5078	2162,5
159,7078	131,1597	1,677906	220,0735	0,27 4672	311,10 66	0,51 9501	423,6249	2150
163,0842	134,536	1,618245	217,7122	0,29 6371	337,18 72	0,50 623	430,0656	2137,5
165,9307	137,3825	1,559372	214,2303	0,31 7981	365,74 27	0,49 2469	435,0131	2125
168,3067	139,7585	1,501844	209,8955	0,33 9255	396,84 79	0,47 8507	438,6466	2112,5
170,2718	141,7236	1,446237	204,9659	0,35 9933	430,51 06	0,46 4565	441,2	2100
178,3355	149,7874	1,033535	154,8104	0,51 9713	552,17 24	0,35 1816	440,0324	2000
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	440,1162	1900
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	439,9486	1800
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	440,0743	1700
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	439,9905	1600
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	439,823	1500
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	417,8318	1400
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	381,1799	1300
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	351,8584	1200
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	299,4985	1100
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	246,0914	1000
178,2507	149,7025	0,468255	70,09889	0,51 6446	539,33 56	0,35 4177	197,9203	900

Направление движения – передний ход; Передача – Р2; $i_{тр} = 90,125$; КПД = 0,87; $r_k = 0,926$ м; $G_{тр} = 259,53$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	$v_{тр}$, м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, Г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
154,399	125,8508	0,647752	81,5202	0,24 6527	366,34 87	0,53 562	152,1977	799
125,8339	97,28575	0,637656	62,03481	0,15 337	354,24 68	0,57 0851	108,6707	700
96,0856	67,53741	0,586287	39,59633	0,09 7849	377,72 02	0,55 3023	71,59983	604

Таблица 26 – Результат расчета на 3-ей передаче рабочего диапазона

Направление движения – передний ход; Передача – Р3; $i_{тр} = 77,381$; КПД = 0,87; $r_k = 0,926$ м; $G_{тр} = 259,53$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	$v_{тр}$, м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, Г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
0	-28,5482	2,842148	0	0	∞	0	0	2268
31,75384	3,205653	2,749172	8,81289	0,02 4975	3281,4 42	0,08 5845	102,6608	2250
53,80508	25,25689	2,675904	67,58502	0,04 5658	501,03 42	0,39 0695	172,9865	2237,5
75,85639	47,3082	2,592341	122,639	0,07 0266	316,42 33	0,50 5685	242,5203	2225
97,90762	69,35943	2,493545	172,9509	0,10 0647	252,95 77	0,55 5645	311,2617	2212,5
119,9589	91,41074	2,369958	216,6397	0,14 0364	224,76 34	0,57 129	379,2112	2200
125,1882	96,64003	2,324939	224,6821	0,15 1875	238,71 98	0,57 0993	393,4933	2187,5
129,7583	101,2101	2,281757	230,9369	0,16 2844	253,66 01	0,56 9473	405,5275	2175
133,7202	105,1721	2,240675	235,6564	0,17 3164	269,55 73	0,56 7153	415,5078	2162,5
137,1252	108,577	2,201925	239,0783	0,18 274	286,37 62	0,56 4363	423,6249	2150
140,0241	111,4759	2,16569	241,4222	0,19 1488	304,07 21	0,56 1361	430,0656	2137,5
142,4681	113,9199	2,132089	242,8873	0,19 935	322,59 06	0,55 8345	435,0131	2125
144,5081	115,9599	2,101156	243,6498	0,20 6297	341,87 01	0,55 5458	438,6466	2112,5
146,1954	117,6472	2,072826	243,8622	0,21 2338	361,84 37	0,55 2725	441,2	2100
153,1189	124,5707	1,903378	237,1052	0,24 0563	360,52 37	0,53 8836	440,0324	2000

Направление движения – передний ход; Передача – Р3; $i_{тр} = 77,381$; КПД = 0,87; $r_k = 0,926$ м; $G_{тр} = 259,53$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	$v_{тр}$, м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, Г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
161,2085	132,6603	1,705092	226,1979	0,28 3872	368,58 24	0,51 3951	440,1162	1900
170,0997	141,5515	1,448177	204,9916	0,35 7985	398,13 8	0,46 5944	439,9486	1800
180,157	151,6088	0,80436	121,948	0,62 243	658,56 81	0,27 7108	440,0743	1700
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	439,9905	1600
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	439,823	1500
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	417,8318	1400
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	381,1799	1300
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	351,8584	1200
181,6703	153,1221	0	0	1	∞	0	299,4985	1100
171,2658	142,7176	0,787237	112,3526	0,37 1794	409,11 34	0,45 6548	246,0914	1000
153,046	124,4978	0,856894	106,6815	0,24 0232	354,38 99	0,53 9012	197,9203	900
132,567	104,0188	0,830978	86,43731	0,17 0075	345,50 84	0,56 7928	152,1977	799
108,041	79,49283	0,774214	61,54443	0,11 741	357,06 94	0,56 6339	108,6707	700
82,49909	53,9509	0,697339	37,62207	0,07 8695	397,54 14	0,52 5449	71,59983	604

Таблица 27 – Результат расчета на 4-ой передаче рабочего диапазона

Направление движения – передний ход; Передача – Р4; $i_{тр} = 66,439$; КПД = 0,87; $r_k = 0,926$ м; $G_{тр} = 259,53$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	$v_{тр}$, м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, Г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
0	-28,5482	3,310212	0	0	∞	0	0	2268
27,26385	-1,28434	3,214522	0	0,02 1139	∞	0	102,6608	2250
46,19704	17,64885	3,141128	55,43729	0,03 8144	610,82 36	0,32 0472	172,9865	2237,5
65,13029	36,5821	3,060026	111,9422	0,05 7715	346,65 95	0,46 1579	242,5203	2225
84,06348	55,51529	2,968411	164,7922	0,08 0762	265,48 13	0,52 9433	311,2617	2212,5
102,9967	74,44855	2,861626	213,0439	0,10 8795	228,55 69	0,56 1808	379,2112	2200
107,4866	78,93842	2,820977	222,6835	0,11 6434	240,86 24	0,56 5914	393,4933	2187,5

Направление движения – передний ход; Передача – Р4; $i_{тр} = 66,439$; КПД = 0,87; $r_k = 0,926$ м; $G_{тр} = 259,53$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	$v_{тр}$, м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, Г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
111,4105	82,8623	2,78243	230,5586	0,12 3499	254,07 64	0,56 854	405,5275	2175
114,8122	86,26401	2,746077	236,8876	0,12 9951	268,15 63	0,57 0116	415,5078	2162,5
117,7357	89,18747	2,711964	241,8732	0,13 5763	283,06 7	0,57 0961	423,6249	2150
120,2247	91,67647	2,680092	245,7014	0,14 0925	298,77 62	0,57 1312	430,0656	2137,5
122,3231	93,77489	2,650409	248,5418	0,14 5442	315,25 14	0,57 1343	435,0131	2125
124,0747	95,52646	2,622811	250,5478	0,14 9337	332,45 78	0,57 1184	438,6466	2112,5
125,5234	96,97517	2,597141	251,8582	0,15 2649	350,35 59	0,57 0848	441,2	2100
131,4679	102,9197	2,431	250,1978	0,16 7197	341,65 78	0,56 859	440,0324	2000
138,4136	109,8654	2,255767	247,8308	0,18 6555	336,40 93	0,56 3103	440,1162	1900
146,0476	117,4994	2,070728	243,3094	0,21 1797	335,43 7	0,55 304	439,9486	1800
154,6828	126,1346	1,866143	235,3853	0,24 7887	341,18 99	0,53 4876	440,0743	1700
164,3192	135,771	1,622272	220,2576	0,30 531	360,34 13	0,50 0596	439,9905	1600
175,2071	146,6589	1,239822	181,8309	0,43 3689	433,41 98	0,41 3418	439,823	1500
178,3358	149,7876	0,98137	146,9971	0,51 9723	508,48 26	0,35 1809	417,8318	1400
175,2071	146,6589	1,074512	157,5868	0,43 3689	434,18 77	0,41 3418	381,1799	1300
175,2071	146,6589	0,991857	145,4647	0,43 3689	437,86 26	0,41 3418	351,8584	1200
162,6923	134,1441	1,134018	152,1219	0,29 3659	361,17 11	0,50 7922	299,4985	1100
147,0488	118,5006	1,144995	135,6827	0,21 5503	338,76 82	0,55 1351	246,0914	1000
131,4053	102,8571	1,094163	112,5424	0,16 7035	335,93 39	0,56 8625	197,9203	900
113,822	85,27384	1,016849	86,71058	0,12 804	344,41 95	0,56 9723	152,1977	799
92,76402	64,21583	0,926758	59,51251	0,09 2899	369,26 08	0,54 7641	108,6707	700
70,83372	42,28553	0,824926	34,88245	0,06 4238	428,76 38	0,48 7186	71,59983	604

Таблица 28 – Результат расчета на 5-ой передаче рабочего диапазона

Направление движения – передний ход; Передача – P5; $i_{TP} = 57,045$; КПД = 0,87; $r_k = 0,926$ м; $G_{TP} = 259,53$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	v_{TP} , м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
0	-28,5482	3,85536	0	0	∞	0	0	2268
23,40874	-5,13945	3,756173	0	0,01 7933	∞	0	102,6608	2250
39,66478	11,11659	3,681714	40,92811	0,03 2023	827,36 32	0,23 6597	172,9865	2237,5
55,92087	27,37268	3,601369	98,57911	0,04 7827	393,65 16	0,40 6478	242,5203	2225
72,17691	43,62872	3,513455	153,2875	0,06 5823	285,40 64	0,49 2472	311,2617	2212,5
88,433	59,88481	3,415469	204,5347	0,08 6716	238,06 55	0,53 9369	379,2112	2200
92,288	63,73981	3,375651	215,1634	0,09 2205	249,28 07	0,54 6803	393,4933	2187,5
95,65705	67,10886	3,337895	224,0023	0,09 72	261,51 29	0,55 2373	405,5275	2175
98,57776	70,02957	3,302202	231,2518	0,10 1691	274,69 15	0,55 6552	415,5078	2162,5
101,0878	72,53965	3,268541	237,0988	0,10 5679	288,76 71	0,55 969	423,6249	2150
103,2249	74,6767	3,236842	241,7167	0,10 9173	303,70 16	0,56 2046	430,0656	2137,5
105,0266	76,47841	3,207001	245,2664	0,11 2193	319,46 15	0,56 3814	435,0131	2125
106,5305	77,9823	3,178885	247,8968	0,11 477	336,01 31	0,56 514	438,6466	2112,5
107,7744	79,22617	3,152329	249,7469	0,11 694	353,31 76	0,56 6063	441,2	2100
112,8783	84,33014	2,970586	250,5099	0,12 6244	341,23 22	0,56 9299	440,0324	2000
118,8419	90,29373	2,783982	251,3761	0,13 8032	331,66 47	0,57 1159	440,1162	1900
125,3965	96,8483	2,593631	251,1887	0,15 2355	324,91 49	0,57 095	439,9486	1800
132,8107	104,2625	2,396465	249,8614	0,17 0721	321,42 24	0,56 7771	440,0743	1700
141,0845	112,5363	2,189897	246,4428	0,19 4841	322,05 4	0,56 0109	439,9905	1600
150,4328	121,8846	1,966247	239,6553	0,22 8875	328,84 36	0,54 489	439,823	1500
153,1191	124,5709	1,807344	225,1425	0,24 0564	331,99 18	0,53 8835	417,8318	1400
150,4328	121,8846	1,704081	207,7012	0,22 8875	329,42 62	0,54 489	381,1799	1300

Направление движения – передний ход; Передача – P5; $i_{TP} = 57,045$; КПД = 0,87; $r_k = 0,926$ м; $G_{TP} = 259,53$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	v_{TP} , м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, Г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
150,4328	121,8846	1,572998	191,7242	0,22 8875	332,21 44	0,54 489	351,8584	1200
139,6876	111,1394	1,51378	168,2406	0,19 0442	326,56 81	0,56 1741	299,4985	1100
126,2561	97,70791	1,437504	140,4555	0,15 4356	327,25 63	0,57 0745	246,0914	1000
112,8246	84,27641	1,336919	112,6707	0,12 6142	335,55 14	0,56 9273	197,9203	900
97,7276	69,17941	1,221894	84,52993	0,10 0368	353,30 47	0,55 5396	152,1977	799
79,64719	51,099	1,10067	56,24315	0,07 5009	390,72 56	0,51 7556	108,6707	700
60,81783	32,26964	0,972328	31,37668	0,05 2991	476,67 02	0,43 8223	71,59983	604

Таблица 29 – Результат расчета на 6-ой передаче рабочего диапазона

Направление движения – передний ход; Передача – P6; $i_{TP} = 48,834$; КПД = 0,87; $r_k = 0,926$ м; $G_{TP} = 259,53$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	v_{TP} , м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, Г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
0	-28,5482	4,50363	0	0	∞	0	0	2268
20,03919	-8,509	4,400002	0	0,01 5194	∞	0	102,6608	2250
33,95527	5,407079	4,323556	23,37781	0,02 6898	1448,4 85	0,13 5142	172,9865	2237,5
47,87139	19,3232	4,242569	81,98003	0,03 9761	473,35 71	0,33 8034	242,5203	2225
61,78747	33,23928	4,15601	138,1428	0,05 4038	316,69 59	0,44 3816	311,2617	2212,5
75,70359	47,1554	4,062454	191,5667	0,07 0079	254,18 13	0,50 5171	379,2112	2200
79,00369	50,4555	4,021506	202,9071	0,07 4192	264,33 81	0,51 5656	393,4933	2187,5
81,88778	53,33959	3,982528	212,4264	0,07 7896	275,76 37	0,52 3827	405,5275	2175
84,38807	55,83988	3,945474	220,3148	0,08 1195	288,32 8	0,53 023	415,5078	2162,5
86,53684	57,98865	3,910271	226,7513	0,08 4099	301,94 46	0,53 5264	423,6249	2150
88,36628	59,81809	3,876822	231,9041	0,08 6623	316,55 21	0,53 923	430,0656	2137,5

Направление движения – передний ход; Передача – Р6; $i_{TP} = 48,834$; КПД = 0,87; $r_k = 0,926$ м; $G_{TP} = 259,53$ кН; $f = 0,11$								
P_k , кН	$P_{кр}$, кН	v_{TP} , м/с	$N_{кр}$, кВт	δ	$g_{кр}$, Г/кВтч	η_T	N_e , кВт	n_d , мин ⁻¹
89,90864	61,36045	3,845007	235,9314	0,08 879	332,10 15	0,54 2355	435,0131	2125
91,19606	62,64787	3,814684	238,9819	0,09 0627	348,54 77	0,54 4816	438,6466	2112,5
92,26088	63,71269	3,785694	241,1968	0,09 2166	365,84 24	0,54 6684	441,2	2100
96,63016	68,08197	3,579556	243,7032	0,09 8679	350,76 29	0,55 383	440,0324	2000
101,7353	73,18714	3,370213	246,6562	0,10 6727	338,01 13	0,56 0434	440,1162	1900
107,3464	78,79822	3,159015	248,9247	0,11 6189	327,87 01	0,56 5804	439,9486	1800
113,6934	85,14518	2,944341	250,6964	0,12 7793	320,35 19	0,56 9668	440,0743	1700
120,7762	92,22802	2,725697	251,3857	0,14 2097	315,72 17	0,57 1343	439,9905	1600
128,7789	100,2307	2,500784	250,6554	0,16 0414	314,41 22	0,56 9901	439,823	1500
131,0785	102,5303	2,318	237,6653	0,16 6193	314,49 88	0,56 8806	417,8318	1400
128,7789	100,2307	2,167346	217,2346	0,16 0414	314,96 92	0,56 9901	381,1799	1300
128,7789	100,2307	2,000627	200,5243	0,16 0414	317,63 51	0,56 9901	351,8584	1200
119,5804	91,03221	1,879439	171,0895	0,13 9569	321,13 03	0,57 1253	299,4985	1100
108,0823	79,5341	1,752439	139,3787	0,11 7482	329,78 48	0,56 637	246,0914	1000
96,58417	68,03598	1,610926	109,6009	0,09 8609	344,94 99	0,55 3763	197,9203	900
83,66029	55,1121	1,45931	80,42564	0,08 0226	371,33 46	0,52 8429	152,1977	799
68,18245	39,63426	1,30499	51,7223	0,06 1165	424,87 74	0,47 5954	108,6707	700
52,06347	23,51528	1,146727	26,96561	0,04 3899	554,64 46	0,37 6616	71,59983	604

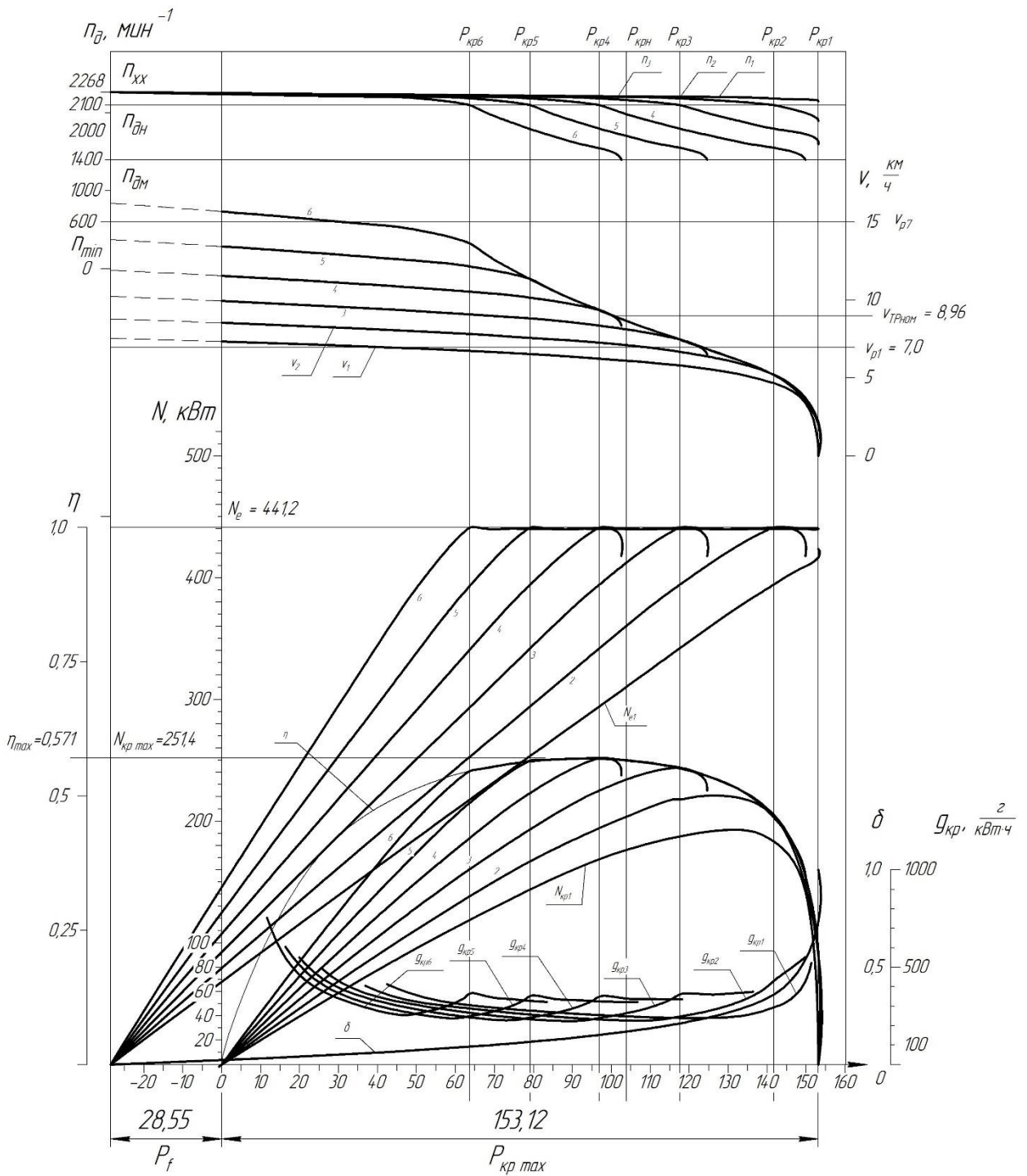


Рисунок 55 – Тяговая характеристика трактора 600 л.с.

Таблица 30 – Результат анализа тяговой характеристики трактора мощностью 600 л.с.

$m_э$, кг	Передача	Сравниваемые параметры при условии						
		$N_{кр}$, кВт	$P_{кр}$, кН	v , км/ч	δ , %	$g_{кр}$, г/кВт ч	G_T , кг/ч	
Для номинального тягового усилия $P_{кр.н} = 103,81$ кН (выбрано в соответствие с ГОСТ 27021-86 по зависимости $P_{кр.ном} = 3,92 \cdot 10^{-3} m_э$, что равноценно $P_{кр.ном} = 9,81 m_э \varphi_{кр.н} \cdot 10^{-3}$, где $\varphi_{кр.н} = 0,4$)								
26 455	1	176,3	–	6,11	0,169	247,9	43,7	
	2	203,7		7,11		226,3	46,1	
	3	234,1		8,12		263,6	61,7	
	4	249,9		8,66		339,6	84,9	
	5	250,0		8,67		321,5	80,4	
	6	–		–		–	–	
	Для наибольшей мощности на передаче							
	1	193,0	131,5	5,30	0,277	246,1	47,5	
	2	221,1	125,9	6,32	0,247	280,9	62,1	
	3	243,9	117,1	7,50	0,210	357,0	87,1	
	4	252,0	97,7	9,29	0,154	353,1	89,0	
	5	251,5	92,4	9,80	0,142	329,7	82,9	
	6	252,0	96,7	9,39	0,152	325,0	81,9	
	Для максимальной мощности $N_{кр.макс} = 251,4$, кВт							
	4	251,4	97,59	9,30	0,154	353,0	88,7	
	Для допустимого буксования δ_n							
	1	161,7	91,2	6,34	0,140	261,2	42,2	
	2	186,1		7,37		238,4	44,4	
	3	216,3		8,54		224,6	48,6	
	4	245,0		9,67		295,7	72,5	
	5	251,4		9,92		330,8	83,2	
	6	251,2		9,77		316,1	79,4	
	Номинальное значение при передаче							
	1	207,7	38,5	5,39	0,060	424,8	88,24	
	2	184,3	29,0	6,35	0,049	478,7		
	3	155,8	20,9	7,46	0,041	566,3		
4	121,6	13,9	8,75	0,034	725,7			
5	80,9	7,9	10,25	0,029	1090,7			
6	31,8	2,6	12,03	0,024	2770,2			
Диапазон тяговых усилий и скоростей, соответствующих минимальному расходу топлива								
4-2	–	67,4 ... 113,9	10,46 ... 6,81	0,098 ... 0,199	223,4 (+5%) 234,6	–		

3. Сравнение тяговых характеристик реальных образцов тракторов мощностью от 500 л.с. с полученными теоретическими характеристиками тракторов мощностью 500 и 600 л.с.

Далее приводится сравнение рассчитанных тяговых характеристик для тракторов мощностью 500 и 600 л.с. с тяговыми характеристиками различных марок и моделей тракторов-аналогов, полученными в разделе 1.

Сравнение с тракторами РСМ-3535 и РСМ 3575 представлено на рис. 56-59.

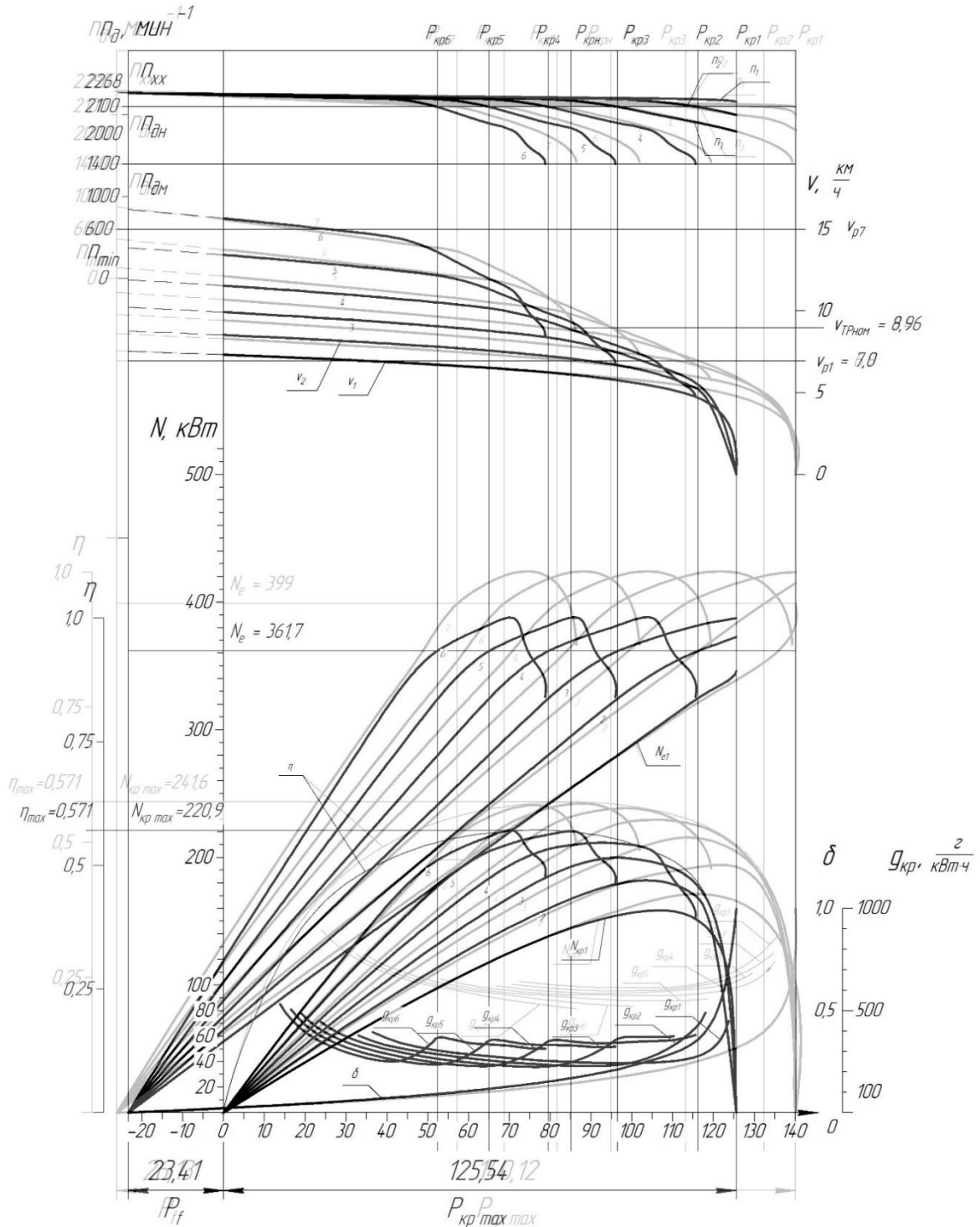


Рисунок 56 – Сравнение тракторов К-8-500 и РСМ 3535 (водяной знак – характеристика трактора РСМ 3535)

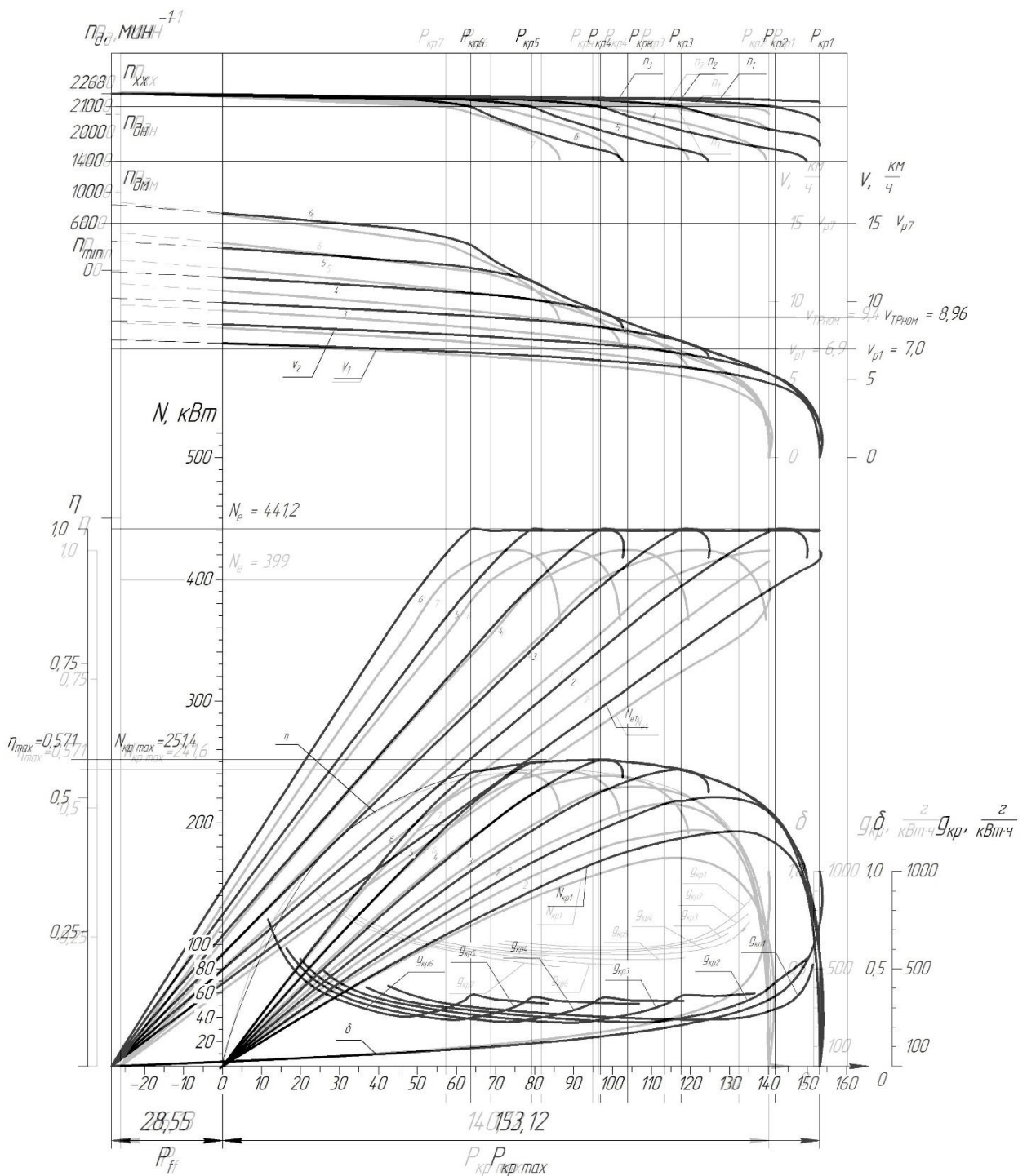


Рисунок 57 – Сравнение тракторов К-8-600 и РСМ 3535
(водяной знак – характеристика трактора РСМ 3535)

Анализ характеристик на рис. 56 и 57 показывает, что в отношении тягового потенциала трактор РСМ 3535 располагается посередине, между предельными значениями для предполагаемого трактора мощностью 500 и 600 л.с. При этом трактор 500 л.с. обладая меньшей на 10% мощностью двигателя в сравнении с РСМ 3535 обеспечивает схожую скорость движения при номинальной силе тяге, которая ниже на 10 кН. При этом в обоих случаях

удельный расход топлива трактора РСМ 3535 значительно выше, по сравнению предполагаемым трактором.

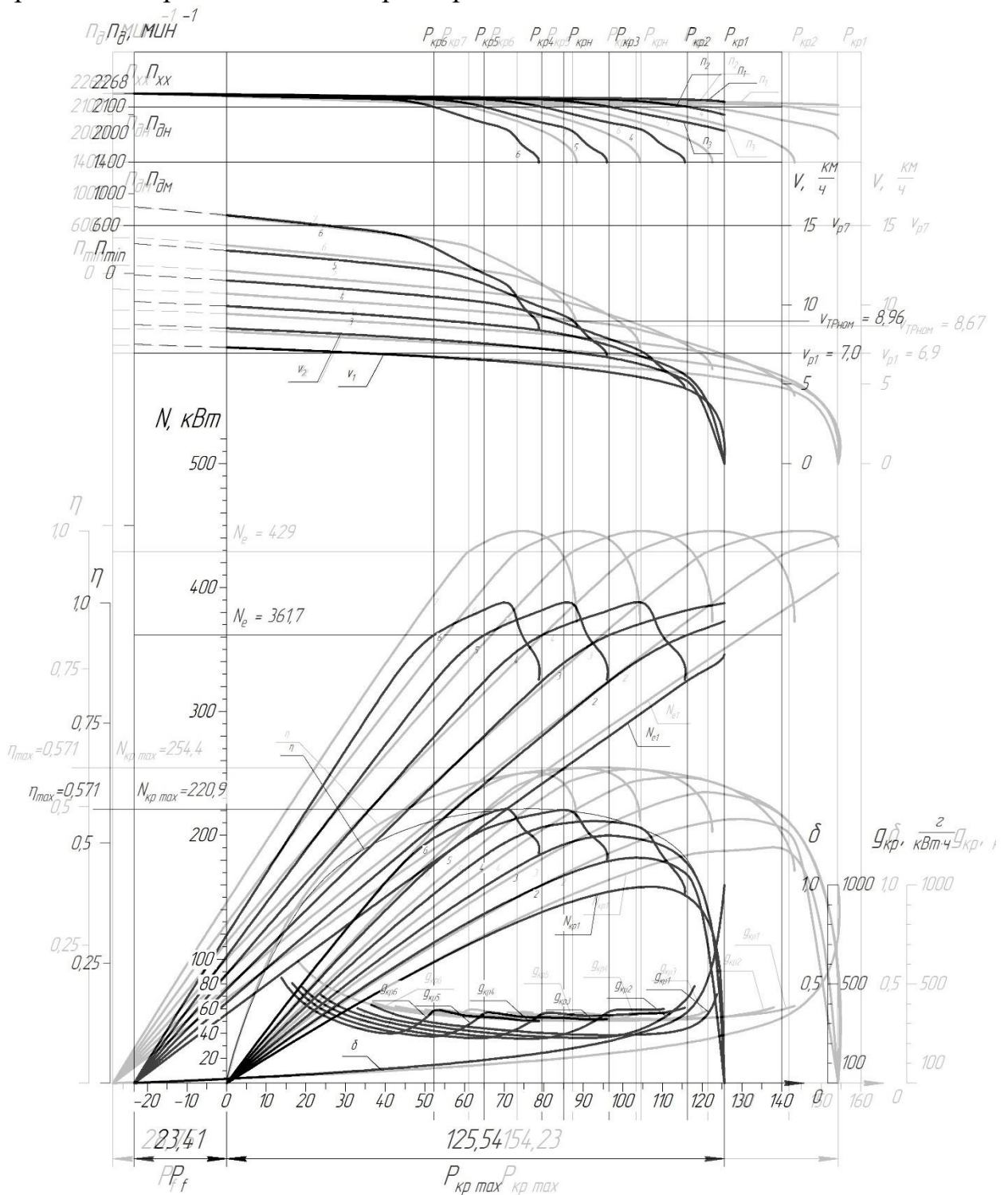


Рисунок 58 – Сравнение характеристик трактора 500 л.с. и РСМ 3575 (водяной знак – характеристика трактора РСМ 3575)

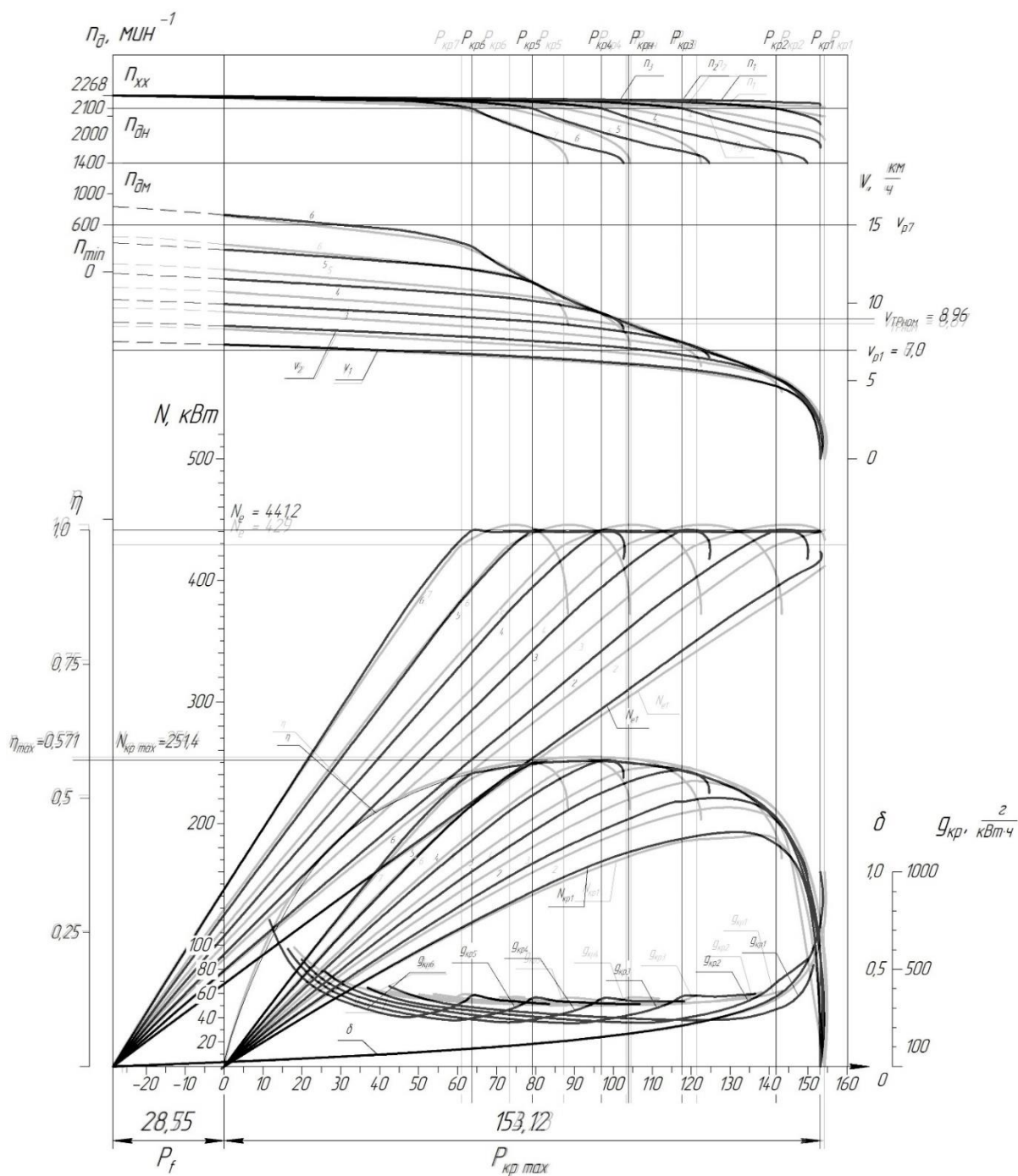


Рисунок 59 – Сравнение характеристик трактор 600 л.с. и РСМ 3575 (водяной знак – характеристика трактора РСМ 3575)

Сравнение характеристик по рис. 58, между предполагаемым трактором 500 л.с. и РСМ 3575, проводить некорректно, так как тракторы существенно различаются по тягово-мощностным показателям. Тем не менее, из графиков видно, что параметры пропорциональны тяговым классам, тракторы обладают схожими характеристиками и примерно соответствуют по энергонасыщенности.

Характеристики предполагаемого трактора 600 л.с. и РСМ 3575 (рис. 59) практически полностью идентичны, а их тяговые возможности примерно равны по номинальному тяговому усилию и максимальной крюковой силе. Трактор мощностью 600 л.с. обладает более плавной кривой крюковой мощности, чуть большей скоростью движения при номинальном тяговом усилии и более плавным нарастанием графика скорости с уменьшением силы тяги, что обеспечивается наличием полки мощности двигателя, однако, несмотря на ее наличие его предполагаемые расход немного ниже расхода топлива РСМ 3575.

Сравнение с Holland T9.615 и Holland T9.645 приведено на рис. 60-63

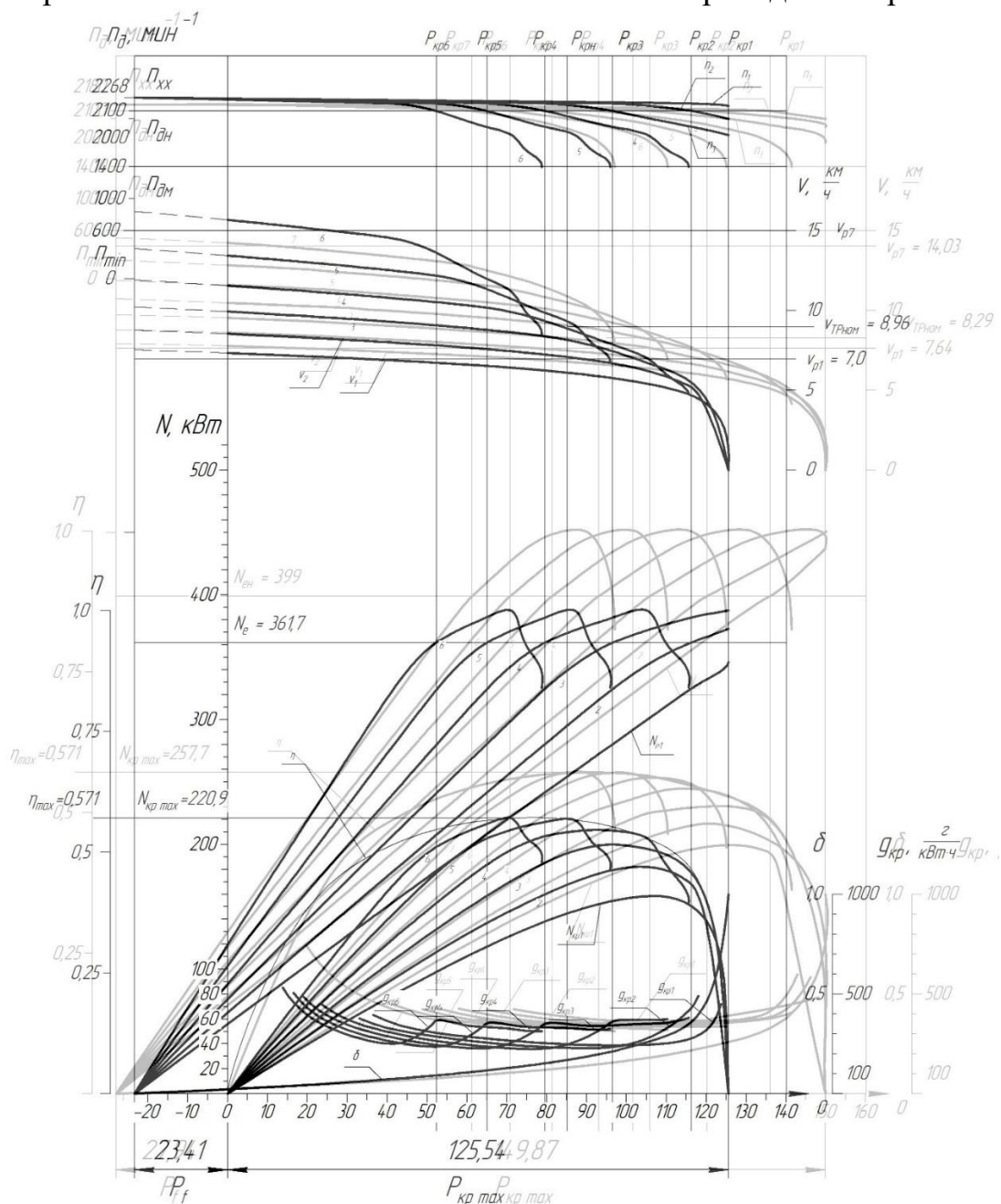


Рисунок 60 – Сравнение характеристик трактор 500 л.с. и New Holland T9.615 (водяной знак – характеристика трактора New Holland T9.615)

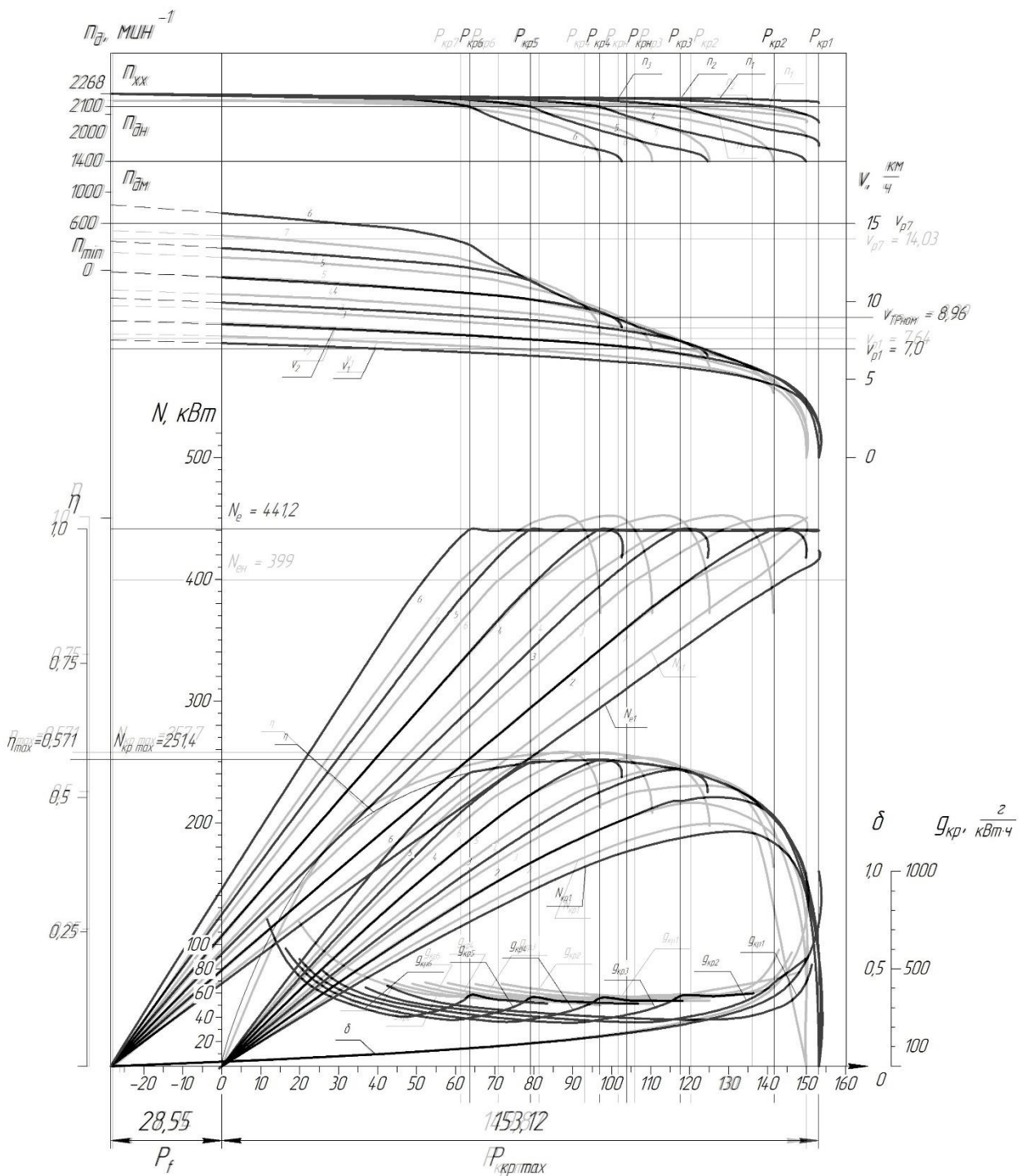


Рисунок 61 – Сравнение характеристик трактора 600 л.с. и New Holland T9.615

(водяной знак – характеристика трактора New Holland T9.615)

Сравнение предполагаемого трактора мощностью 500 л.с. и New Holland T9.615 (рис. 60) аналогично не совсем корректно; при этом расположение кривых мощности и схожесть номинальной скорости движения указывает на пропорциональность характеристик машин через тяговый класс.

Предполагаемый трактор мощностью 600 л.с. и New Holland T9.615 (рис. 61) имеют схожие характеристики. При этом, несмотря на меньшую мощность трактор мощностью 600 л.с. демонстрирует большую силу тяги по отношению к New Holland, как в максимуме, так и в номинальном значении, что обеспечивается полке мощности двигателя.

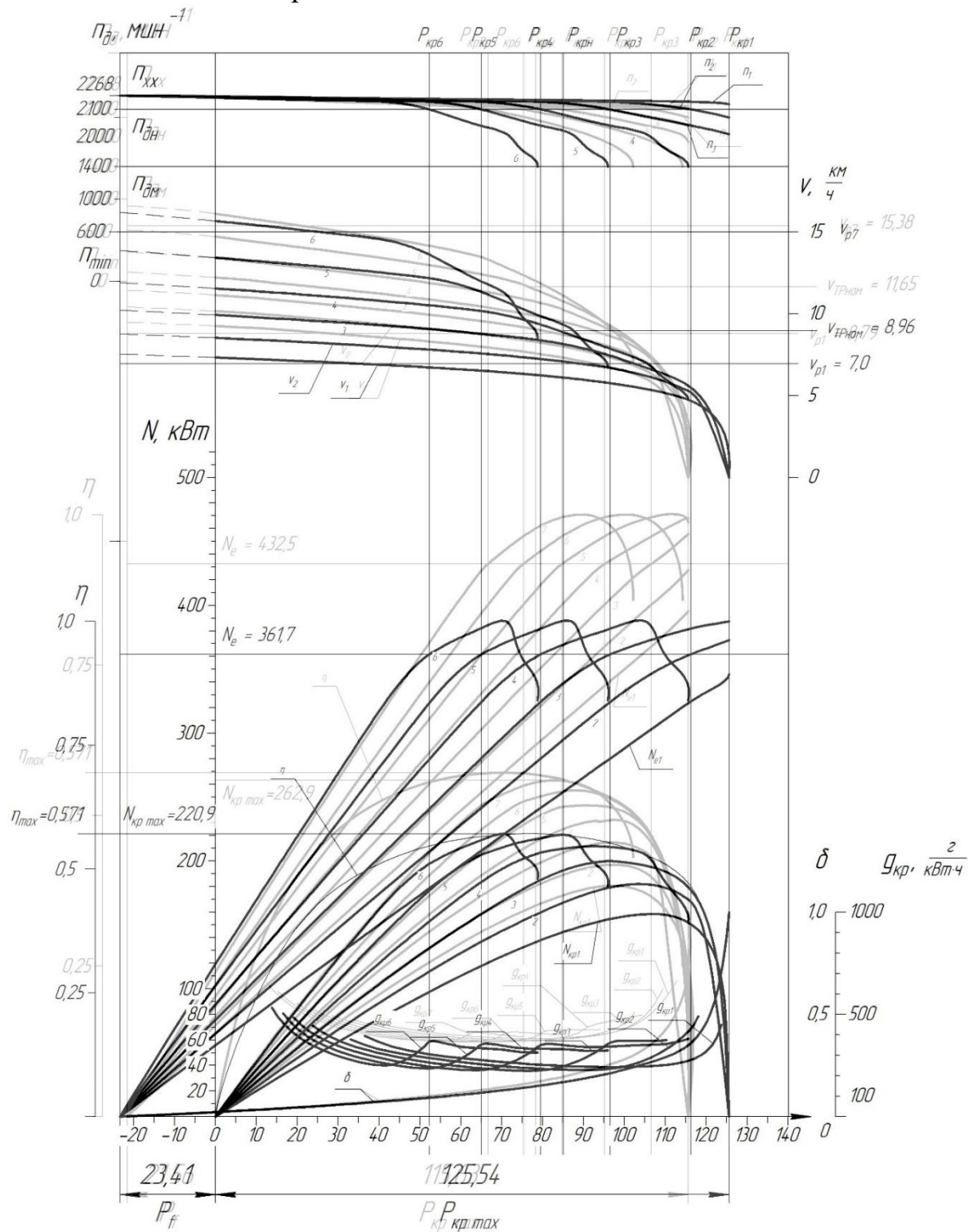


Рисунок 62 – Сравнение характеристик тракторов 500 л.с. и New Holland T9.645 (водяной знак – характеристика трактора New Holland T9.645)

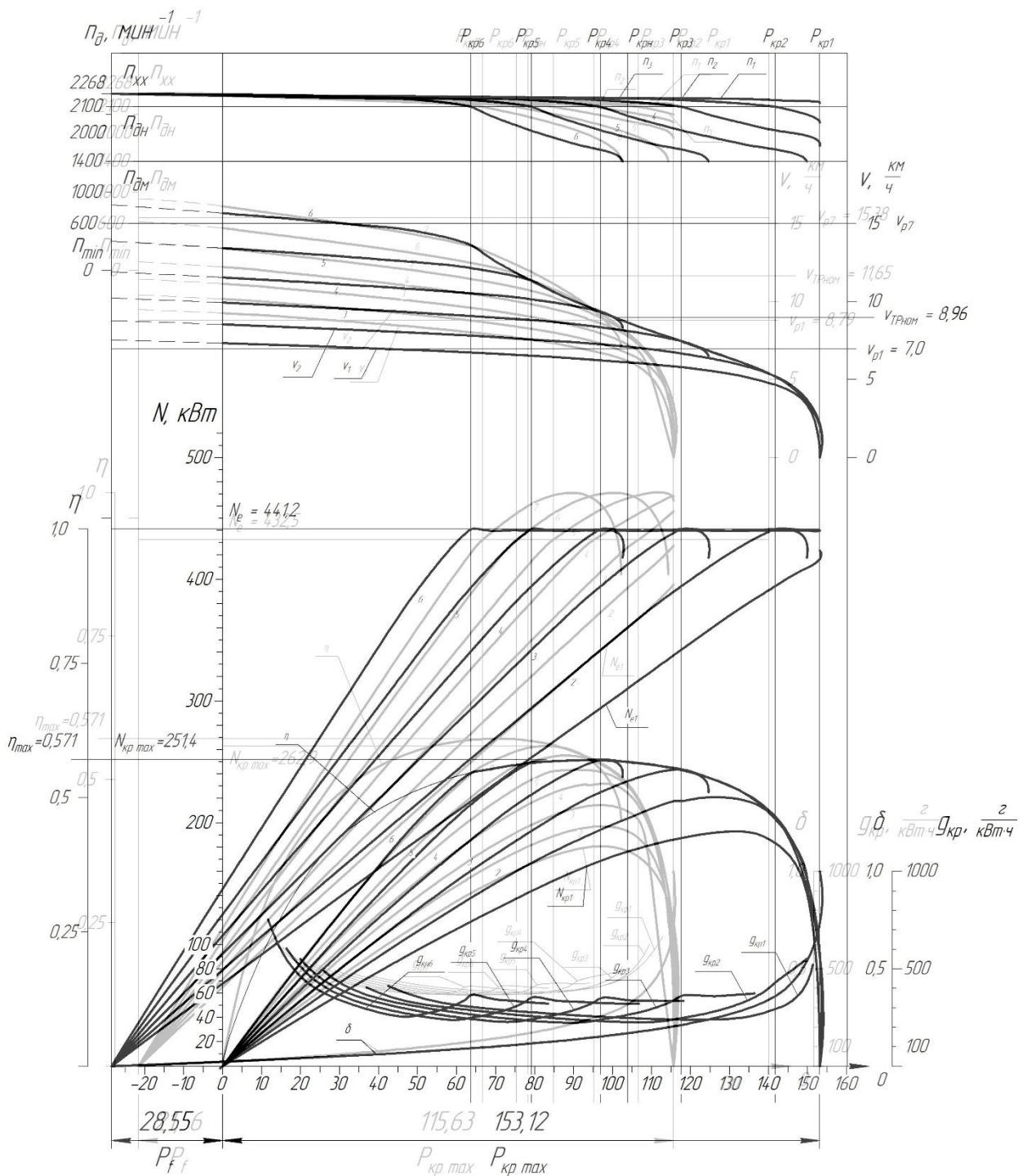


Рисунок 63 – Сравнение характеристик тракторов 600 л.с. и New Holland T9.645

(водяной знак – характеристика трактора New Holland T9.645)

Мощность двигателя предполагаемого трактора 500 л.с. значительно ниже мощности двигателя трактора New Holland T9.645 (рис. 62), однако их тяговые возможности различаются не сильно; так как трактор мощностью 500 л.с. обладает большим предельным тяговым усилием и большей силой тяги в номинальном режиме. Несмотря на близкое значение номинального тягового

усилия, трактор New Holland T9.645 развивает при нем скорость движения 11,65 км/ч против 8,96, на что и сделан упор. Также присутствует значительный запас по мощности для привода внешних потребителей.

Предполагаемый трактор мощностью 600 л.с. обладает значительно большим тяговым потенциалом при соизмеримой мощности двигателя. Также номинальное тяговое усилие значительно выше (рис. 63). Скорости движения в номинальном режиме отличаются аналогично предыдущему случаю.

Сравнение с John Deere 9R 540 и John Deere 9570R – на рис. 64-67

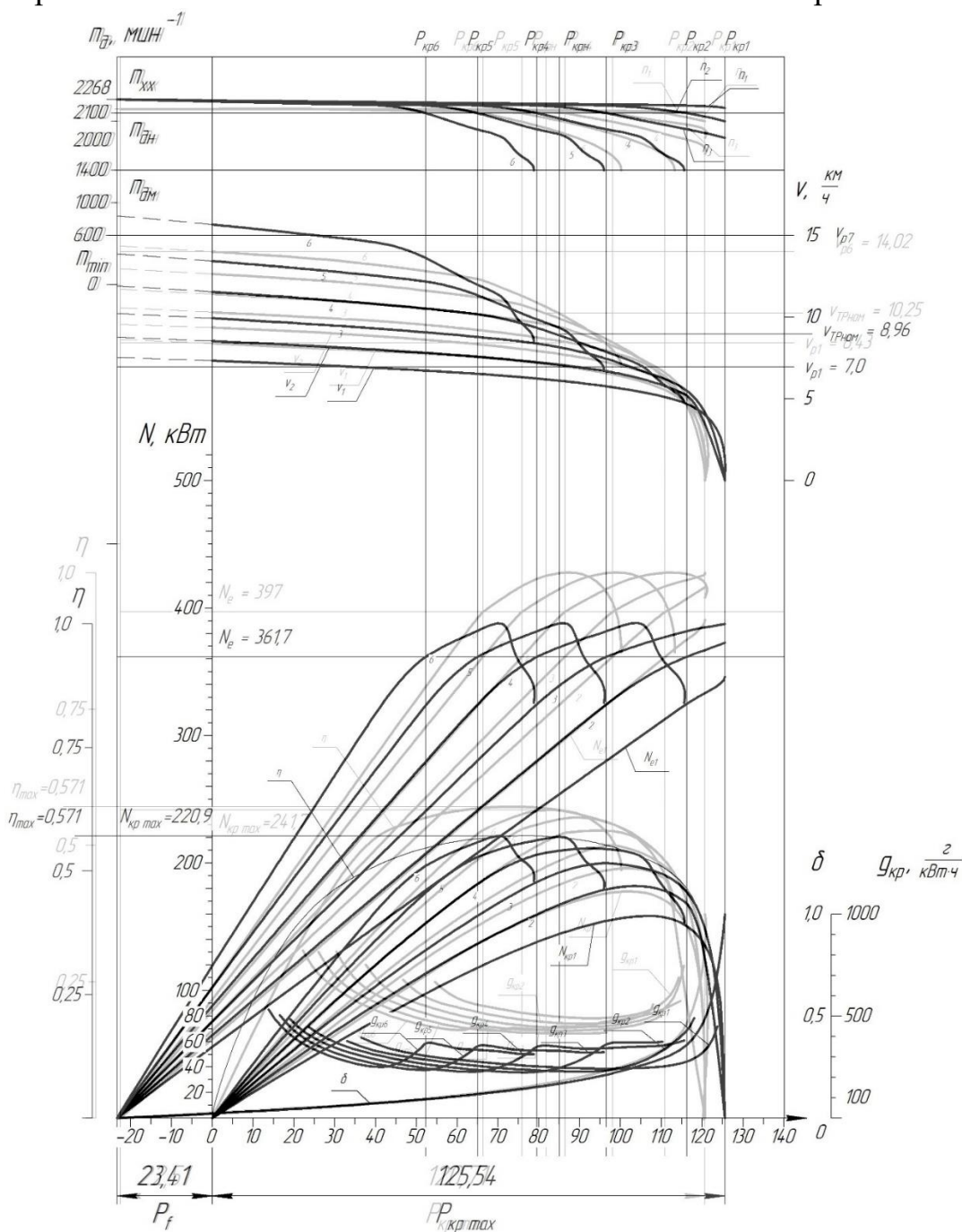


Рисунок 64 – Сравнение характеристик тракторов 500 л.с. и John Deere 9R 540

(водяной знак – характеристика трактора John Deere 9R 540)

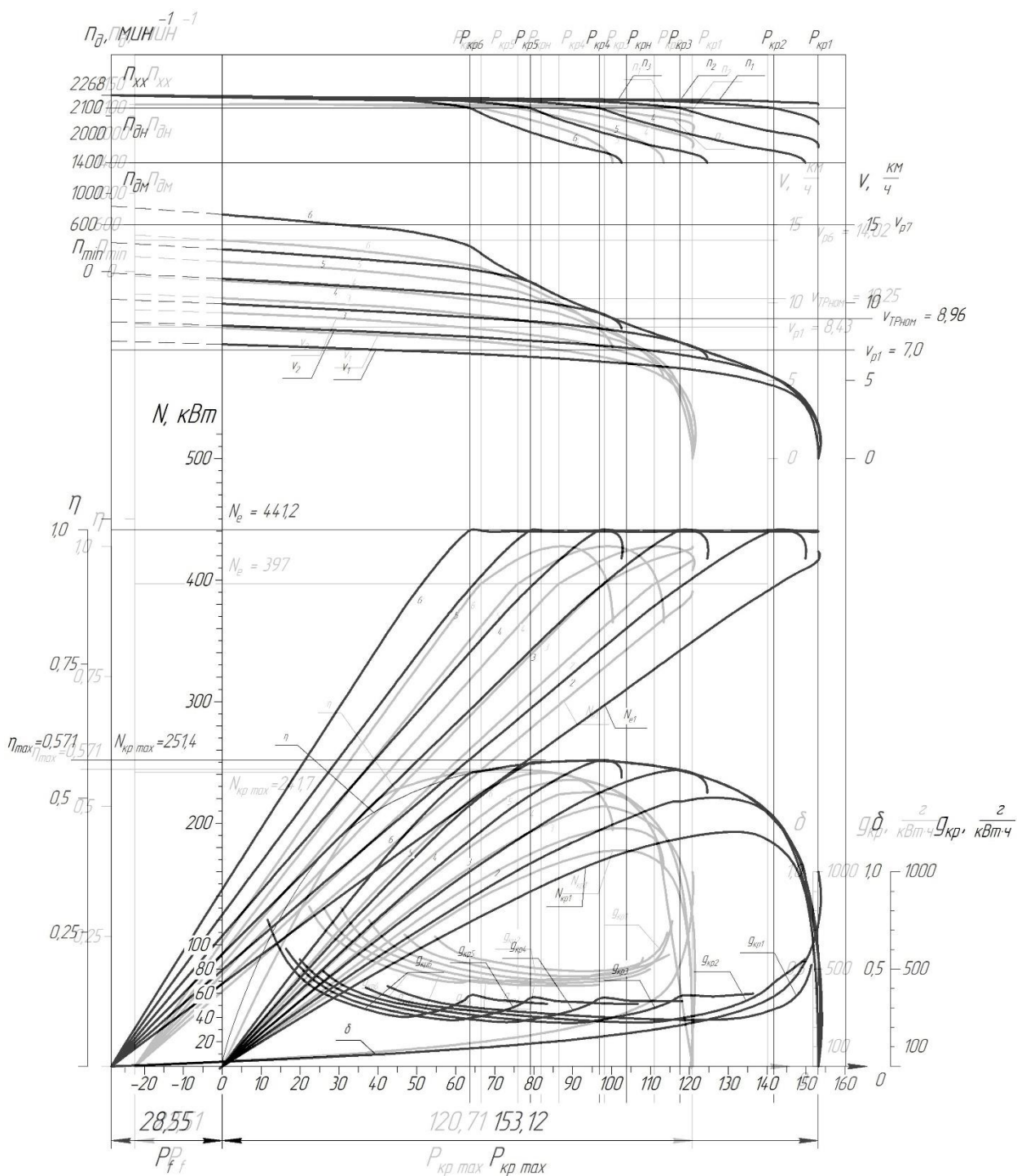


Рисунок 65 – Сравнение характеристик тракторов 600 л.с. и John Deere 9R 540

(водяной знак – характеристика трактора John Deere 9R 540)

По отношению к предполагаемому трактору мощностью 500 л.с. John Deere 9R 540 (рис. 64) имеет на 4% меньшую предельную силу тяги, однако мощность на 10% выше, что позволяет при номинальном значении силы тяги двигаться с большей на 1,3 км/ч скоростью, что сказывается на более низкой крюковой мощности трактора мощностью 500 л.с.

Предполагаемый трактор мощностью 600 л.с. значительно опережает John Deere 9R 540 (рис. 65) по всем показателям, кроме крюковой мощности, которая находится примерно в равных величинах, несмотря на 11% опережение по мощности двигателя.

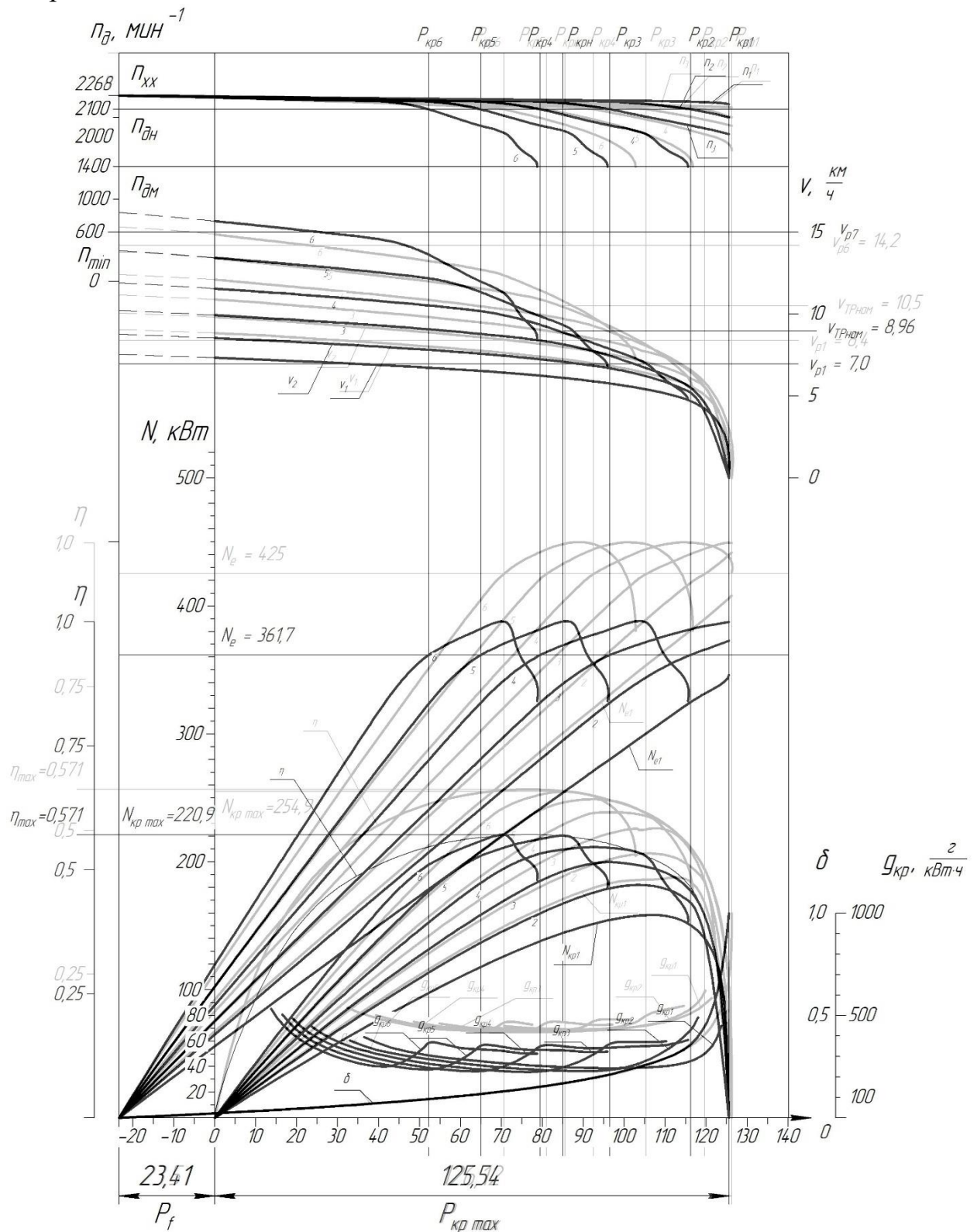


Рисунок 66 – Сравнение характеристик тракторов 500 л.с. и John Deere 9570R (водяной знак – характеристика трактора John Deere 9570R)

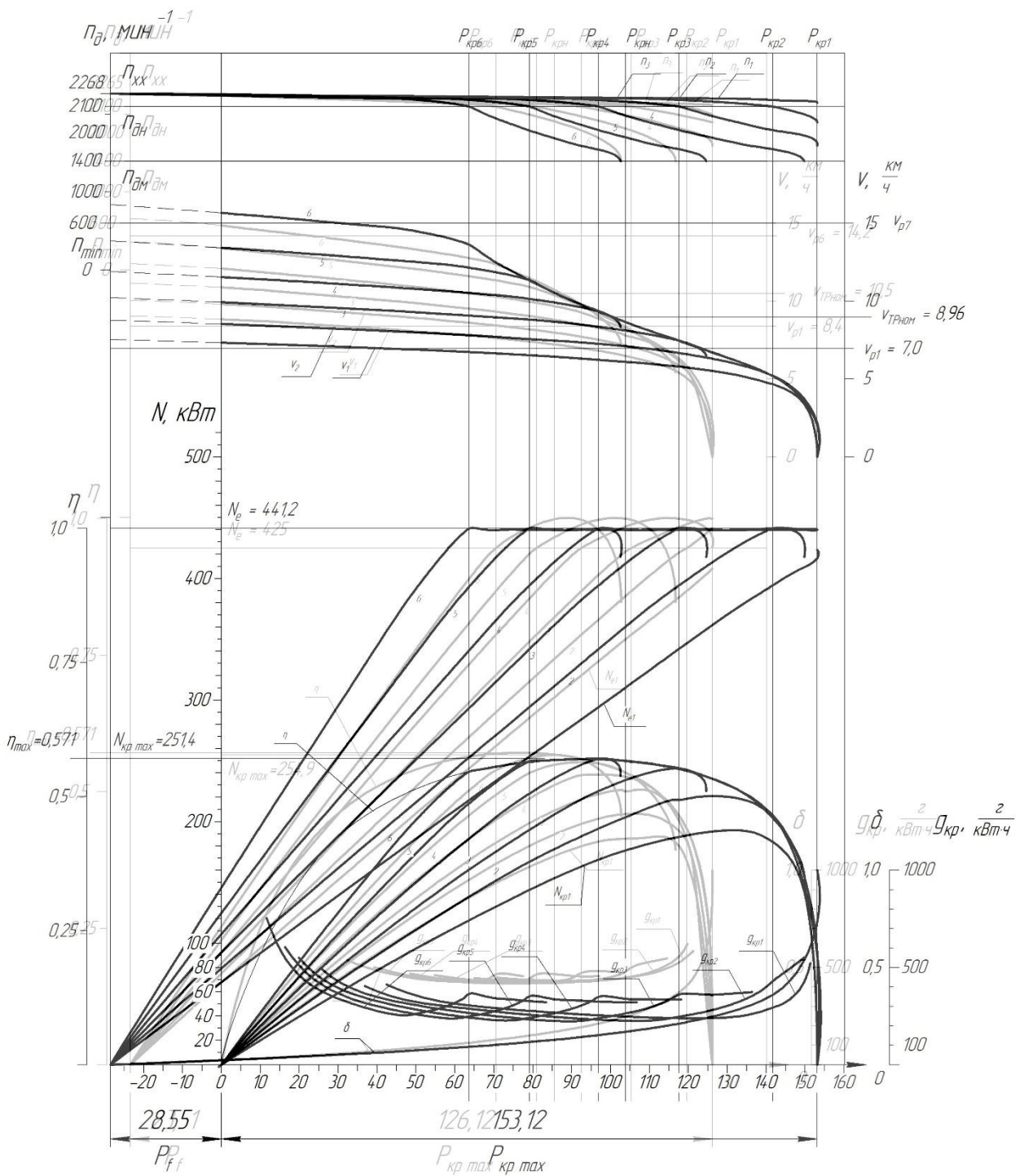


Рисунок 67 – Сравнение характеристик тракторов 600 л.с. и John Deere 9570R (водяной знак – характеристика трактора John Deere 9570R)

Тяговые показатели предполагаемого трактора мощностью 500 л.с. и John Deere 9570R (рис. 66) можно считать равными, при этом мощность двигателя John Deere 9570R на 17,5 % выше, чем трактора мощностью 500 л.с. ради достижения более высокой крюковой мощности. При этом возрастает расход топлива.

При практически равной крюковой мощности, предполагаемый трактор мощностью 600 л.с. обходит трактора John Deere 9570R по тяговым показателям на 21%, жертвуя 1,5 км/ч скорости движения в номинальном режиме (рис. 67). Однако при этом двигатель обладает сопоставимой мощностью, различающейся на 3,6%. Эти показатели достигаются наличием полки двигателя.

Сравнение с тракторами Case IH Steiger 500 и Case IH Steiger 550 представлено на рис. 68-71.

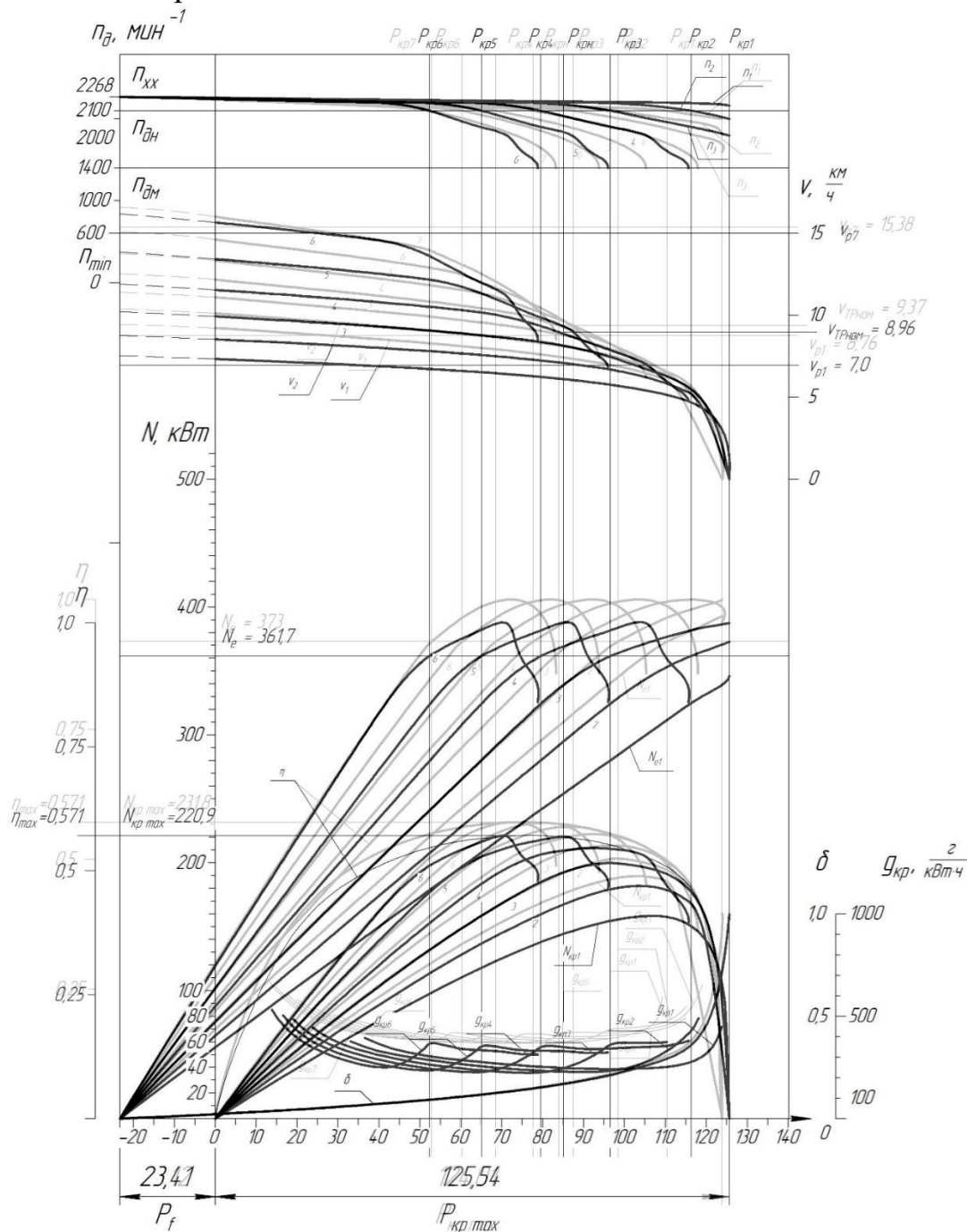


Рисунок 68 – Сравнение характеристик тракторов 500 л.с. и Case IH Steiger 500

(водяной знак – характеристика трактора Case IH Steiger 500)

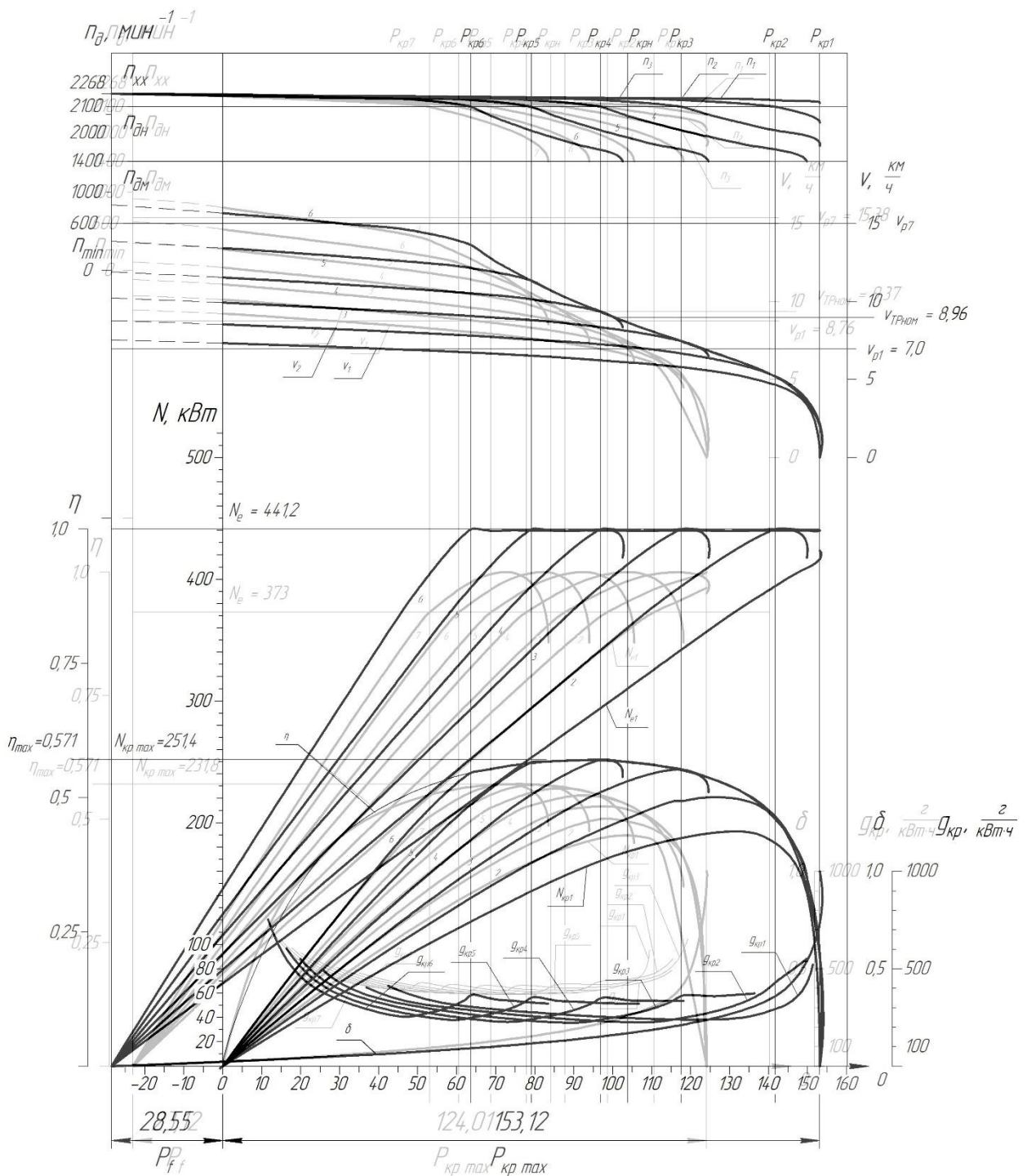


Рисунок 69 – Сравнение характеристик тракторов 600 л.с. и Case IH Steiger 500

(водяной знак – характеристика трактора Case IH Steiger 500)

Мощность двигателя трактора Case IH Steiger 500 на 3% выше, мощности предполагаемого трактора мощностью 500 л.с. (рис. 68), однако тяговые возможности идентичные, за исключением крюковой мощности, которая выше на 5%, что повышает расход топлива, но увеличивает скорость движения в номинальном режиме на 1 км/ч.

Предельная величина силы тяги предполагаемого трактора мощностью 600 л.с. на 23% выше, чем аналогичный показатель Case IH Steiger 500 (рис. 69), однако мощность двигателя выше всего на 18,2%. Трактор Case IH Steiger 500 обладает более высокой скоростью движения в номинальном режиме.

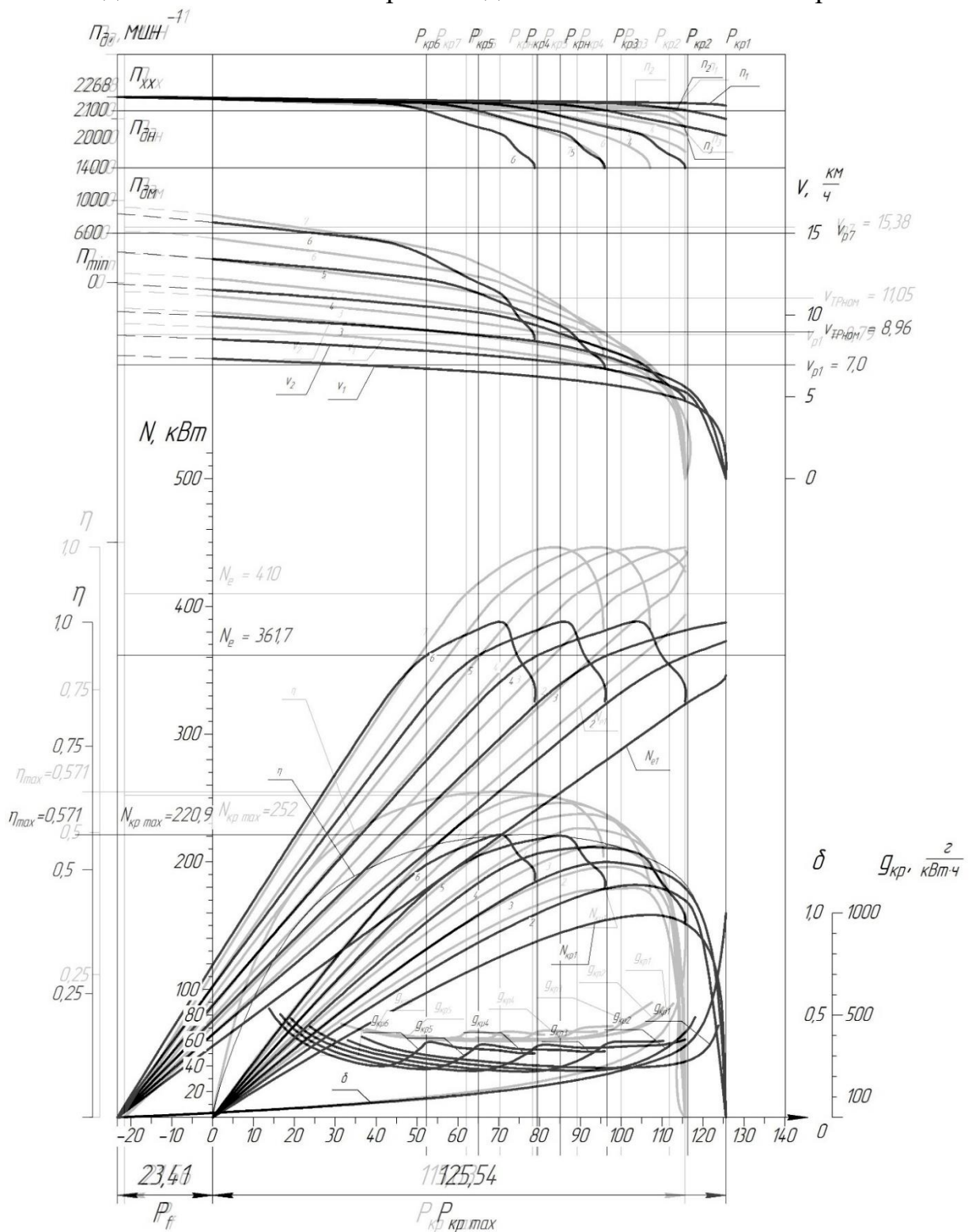


Рисунок 70 – Сравнение характеристик тракторов 500 л.с. и Case IH Steiger 550 (водяной знак – характеристика трактора Case IH Steiger 550)

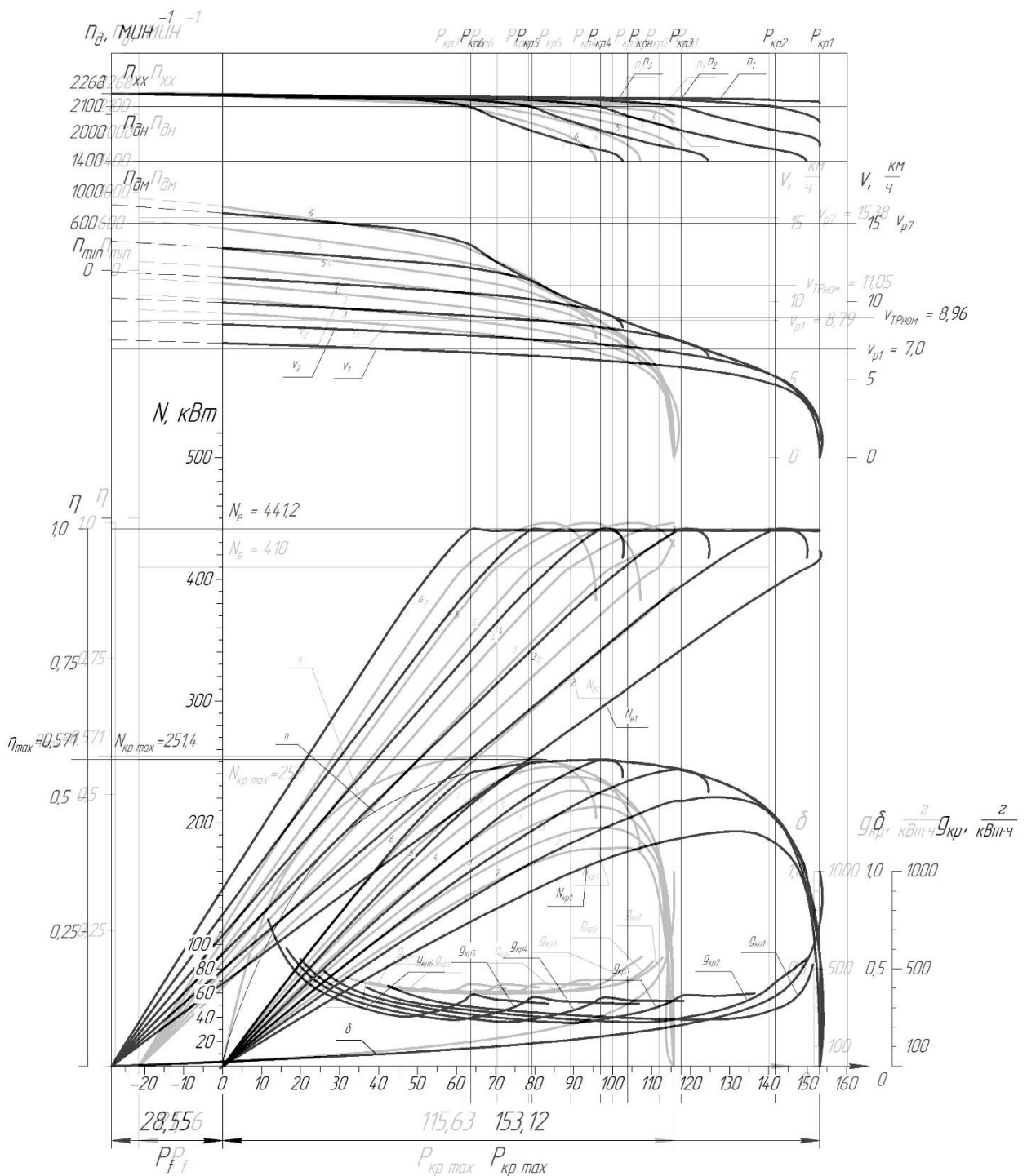


Рисунок 71 – Сравнение характеристик тракторов 600 л.с. и Case IH Steiger 550

(водяной знак – характеристика трактора Case IH Steiger 550)

Предполагаемый трактор мощностью 500 л.с. по сравнению с Case IH Steiger 550 (рис. 70) обладает большим предельным и номинальным тяговым усилием на 8,5%, при том, что двигатель Case IH Steiger 550 мощнее на 13%. Аналогично с John Deere 9570R высвобожденный запас мощности двигателя идет на развитие большей на 14% крутящей мощности, что выражается в

большей на 2 км/ч скорости движения в номинальном режиме и повышенном расходе топлива, как следствие.

Предполагаемый трактор мощностью 600 л.с. при сопоставимой мощности двигателя и равной крюковой мощности с Case IH Steiger 550 (рис. 71), обладает значительно большим предельным тяговым усилием (большие на 32%, чем у трактора Case IH Steiger 550) и меньшим расходом топлива. Однако, как и в предыдущем случае, скорость движения на номинальном режиме ниже на 2 км/ч.

Сравнение основных расчетных показателей представленных тракторов при максимальной тяговой мощности представлены в таблице 31. При этом для каждого показателя приводится значение, соответствующее наиболее близкой передаче, на которой реализуется режим максимальной мощности.

Таблица 31 – Расчетные показатели при максимальной тяговой мощности

Трактор	N_e^* , кВт	$\eta_{тр}^*$	$N_{кр\ max}$, кВт	№ пер. раб. диап.	$P_{кр}$, кН	V , км/ч	δ , %	$g_{кр}$, г/кВт ч
500 л.с.	361,7	1,7	220,9	6	70,16	11,36	0,129	327,3
600 л.с.	441,2	1,7	251,4	4	97,59	9,30	0,154	353,0
PCM 3535	399	1,7	241,6	6	87,55	9,96	0,150	536,2
PCM 3575	429	1,64	254,4	6	89,66	10,22	0,135	330,6
New Holland T9.615	399	1,77	257,7	7	87,78	10,60	0,137	327,4
New Holland T9.645	432,5	2,2	262,9	7	82,66	11,45	0,185	391,0
John Deere 9R 540	397	1,94	241,7	6	82,70	10,52	0,172	415,8
John Deere 9570R	425	1,99	254,9	6	85,68	10,71	0,170	442,6
Case IH Steiger 500	373	1,77	231,8	7	73,00	11,43	0,138	376,3
Case IH Steiger 550	410,1	2,09	252	7	79,67	11,37	0,174	394,8

* Справочные данные

Сравнение показывает, что наилучшей комбинацией тягового усилия, скорости движения и расхода топлива обладают тракторы New Holland T9.615 и New Holland T9.645. Тракторы John Deere и RSM 3535 обладают

повышенным расходом топлива в зоне максимальной мощности. По тягово-скоростным параметрам предполагаемый трактор мощностью 600 л.с. сопоставим с трактором RSM 3575, а в отношении тяговых показателей превосходит его. Они могут быть размещены на втором месте после New Holland. Предполагаемый трактор мощностью 500 л.с. с меньшей мощностью двигателя сопоставим с трактором Case IH Steiger 500.

Сравнение всех тракторов по показателям при наибольшей тяговой мощности приведен в таблице 32.

Таблица 32 – Основные тяговые показатели тракторов-аналогов и рассчитываемых тракторов

m_3 , кг	Передача	Сравниваемые параметры при условии					
		$N_{кр}$, кВт	$P_{кр}$, кН	v , км/ч	δ , %	$g_{кр}$, г/кВт ч	G_T , кг/ч
PCM-3535							
24 340	1	171,3	115,9	5,31	0,250	628,8	107,7
	2	194,2	121,9	7,30	0,288	644,3	125,1
	3	215,6	113,4	6,84	0,238	603,2	130,1
	4	229,6	105,4	7,85	0,204	573,0	131,6
	5	238,6	98,5	8,72	0,180	549,3	131,1
	6	242,2	87,5	9,96	0,150	536,2	129,9
	7	241,0	76,0	11,42	0,124	534,1	128,7
PCM-3575							
26 140	1	190,5	137,7	4,93	0,309	360,5	68,7
	2	213,3	129,3	5,93	0,261	344,7	73,5
	3	235,0	120,8	7,00	0,221	361,9	85,0
	4	247,0	113,7	7,82	0,196	347,4	85,8
	5	253,6	101,9	8,95	0,163	334,5	84,8
	6	254,4	89,7	10,22	0,135	330,6	84,1
	7	250,9	77,4	11,67	0,113	331,8	83,2
New Holland T9.615							
25 401	1	199,4	126,2	5,68	0,262	366,5	73,1
	2	216,6	120,6	6,46	0,236	370,8	80,3
	3	230,6	123,6	6,71	0,250	368,2	84,9
	4	244,8	114,8	7,69	0,212	347,1	85,0
	5	253,5	106,1	8,60	0,182	336,9	85,4
	6	257,6	98,3	9,42	0,161	330,0	85,0
	7	258,4	87,8	10,60	0,137	327,4	84,6
New Holland T9.645							
19 979	1	180,6	97,2	6,70	0,260	397,2	71,7
	2	197,1	97,3	7,29	0,261	395,1	77,9
	3	214,6	97,0	7,91	0,259	399,8	85,8
	4	232,2	97,7	8,61	0,263	452,1	104,9
	5	243,5	90,9	9,65	0,224	425,1	103,5
	6	255,3	88,3	10,40	0,211	424,7	108,4
	7	263,1	82,7	11,45	0,185	391,0	102,9

m_3 , кг	Передача	Сравниваемые параметры при условии					
		$N_{кр}$, кВт	$P_{кр}$, кН	v , км/ч	δ , %	$g_{кр}$, г/кВт ч	G_T , кг/ч
John Deere 9R 540							
20 856	1	177,8	102,1	6,27	0,265	502,5	89,3
	2	195,9	101,8	6,93	0,263	481,6	94,4
	3	214,0	97,8	7,87	0,238	476,8	102,0
	4	225,5	94,9	8,57	0,223	449,4	101,3
	5	235,9	89,7	9,46	0,200	430,1	101,5
	6	241,6	82,7	10,51	0,172	415,8	100,5
John Deere 9570R							
21 790	1	187,9	112,6	5,93	0,313	482,1	90,6
	2	206,6	106,1	7,01	0,261	456,0	94,2
	3	226,4	107,8	7,55	0,273	519,2	117,5
	4	238,8	96,8	8,90	0,212	481,7	115,1
	5	248,9	92,4	9,70	0,194	454,6	113,2
	6	254,9	85,7	10,71	0,170	442,6	112,8
Case IH Steiger 500							
21 425	1	189,7	103,2	6,62	0,255	405,0	76,8
	2	203,4	98,1	7,46	0,226	424,4	86,3
	3	213,5	97,6	7,88	0,224	419,1	89,5
	4	222,6	92,7	8,78	0,202	400,8	89,2
	5	228,3	86,7	9,47	0,178	391,8	89,4
	6	231,3	80,5	10,35	0,158	384,3	89,0
	7	231,8	73,0	11,43	0,138	380,8	88,3
Case IH Steiger 550							
19 979	1	179,7	102,9	6,22	0,310	428,2	76,9
	2	196,2	97,2	7,27	0,260	405,4	79,6
	3	213,1	96,1	7,98	0,253	416,9	88,8
	4	226,4	89,5	9,11	0,215	431,8	97,7
	5	237,6	90,4	9,46	0,220	418,3	99,4
	6	246,4	85,3	10,40	0,197	403,3	99,4
	7	252,1	79,7	11,39	0,174	394,8	99,5
Предполагаемый трактор мощностью 500 л.с.							
21 690	1	158,7	106,5	5,35	0,267	247,5	39,2
	2	182,0	103,5	6,33	0,250	265,2	48,2
	3	200,0	96,3	7,47	0,212	361,8	72,4
	4	211,6	92,6	8,23	0,195	339,9	71,9
	5	220,5	85,0	9,35	0,169	329,4	72,6
	6	221,4	70,2	11,35	0,129	327,2	72,42829
Предполагаемый трактор мощностью 600 л.с.							
26 455	1	193,0	131,5	5,30	0,277	246,1	47,5
	2	221,1	125,9	6,32	0,247	280,9	62,1
	3	243,9	117,1	7,50	0,210	357,0	87,1
	4	252,0	97,7	9,29	0,154	353,1	89,0
	5	251,5	92,4	9,80	0,142	329,7	82,9
	6	252,0	96,7	9,39	0,152	325,0	81,9

Сравнение данных показывает, что внутри рабочего диапазона для подавляющего большинства тракторов-аналогов основными рабочими передачами являются 5-7. Расположение тяговых передач в районе номеров 5 и 6 также справедливо для предполагаемого трактора мощностью 500 л.с. Для предполагаемого трактора мощностью 600 л.с. основными рабочими передачами являются 4-6 благодаря развитой полке мощности двигателя.

Предполагаемые тракторы обладают лучшей топливной экономичностью по сравнению с большинством тракторов-аналогов. Тракторы РСМ-3575, New Holland Т9.615 и Case IH Steiger 500 обладают схожими экономическими показателями при схожей и даже большей массе.

Заключение

В данной работе проведен обзор основных тракторов зарубежного и отечественного производства мощностью 500-600 л.с., составлено их описание, приведены технические характеристики, взятые из открытых источников.

На основании полученных данных, построены теоретические тяговые характеристики машин и описаны их тягово-экономические свойства. Анализ характеристик позволил выявить стремление к повышению коэффициента энергонасыщенности (до 2,2 кВт/кН), тогда как отечественные производители стараются удерживать энергонасыщенность на уровне 1,6-1,7 кВт/кН.

По имеющимся данным и с использованием реальных характеристик двигателей произведен тяговый расчет тракторов мощностью 500 и 600 л.с. по методике для колесных тракторов тяговой концепции, с прицелом на величину эталонной энергонасыщенности равной 1,7 кВт/кН.

Проведена общая оценка тягового потенциала тракторов и частные сравнения теоретических характеристик исследуемых тракторов-аналогов и характеристик, полученных для предполагаемых тракторов мощностью 500 и 600 л.с. Обобщенный результат сравнения приведен в таблице 33.

Сравнение показывает, что зарубежные производители стремятся к более высокому значению крюковой мощности, несмотря на большую мощность двигателя и меньшую реализацию тягового усилия. Это провоцирует повышенный расход топлива, однако повышает скорость движения с номинальной силой тяги. При этом расширяются границы балластирования, что позволяет переводить трактор в более высокий тяговый класс для выполнения преимущественно тяговых операций или оставлять запас по мощности для привод внешних энергоемких потребителей через средства отбора мощности, таких как вал отбора мощности или гидравлический распределитель.

Таблица 33 – Сквозное сравнение основных тягово-экономических показателей тракторов

Трактор	N_e , кВт	$\Delta_{тр}$	$P_{кmax}$, кН	P_f , кН	q_i	$k_{п}$	$N_{кр\ max}$, кВт	$P_{кр.п.}$, кН (пер.)	$V_{тр.п.}$, км/ч
500 л.с.	361,7	1,7	148,94	23,41	0,86	1,16	220,9	85,11	8,96
600 л.с.	441,2	1,7	181,67	28,55	0,86	1,16	251,4	103,81	8,96
PCM 3535	399	1,7	166,22	26,13	0,88	1,14	241,6	95 (4-5)	9,4
PCM 3575	429	1,64	182,98	28,75	0,88	1,14	254,4	104,56 (4)	8,67
New Holland T9.615	399	1,77	177,81	27,94	0,90	1,11	257,7	101,60 (4)	8,29
New Holland T9.645	432,5	2,2	137,19	21,56	0,91	1,09	262,9	78,4 (5-6)	11,65
John Deere 9R 540	397	1,94	143,22	22,51	0,90	1,11	241,7	81,84 (4-5)	10,25
John Deere 9570R	425	1,99	149,63	23,51	0,90	1,11	254,9	85,50 (4-5)	10,5
Case IH Steiger 500	373	1,77	147,13	23,12	0,91	1,1	231,8	84,07 (3-4)	9,37
Case IH Steiger 550	410,1	2,09	137,19	21,56	0,91	1,1	252	78,39 (5)	11,05

Помимо этого, сопоставление характеристик тракторов в зонах максимальной тяговой мощности по отдельным показателям выявило, что наилучшими среди сравниваемых машин являются тракторы New Holland, однако строчкой ниже располагается предполагаемый трактор мощностью 600 л.с., который по величине силы тяги обходит трактор RSM 3575. На третьем месте по комбинации отдельных показателей можно разместить предполагаемый трактор мощностью 500 л.с. и Case IH Steiger 500.

Несмотря на это получившиеся характеристики предполагаемых тракторов мощностью 500 и 600 л.с. не уступают по уровню, а по отдельным показателям – соотношению тяговых усилий при соотношении мощностей двигателей, а также по величине удельного расхода топлива – превосходят их. В сравнении с тракторами PCM 3535 и 3575 отмечается единообразие при следовании тяговой концепции с сохранением пропорций падения мощности двигателя и силы тяги. В случае с предполагаемым трактором мощностью 600

л.с. отмечается положительное влияние полки мощности двигателя на график нарастания скорости.

Исходя из полученных характеристик и результатов сравнения возможно предположить следующее направление улучшения тягового потенциала трактора за счет модификации его характеристики в соответствии с выявленными тенденциями, реализованными в энергонасыщенных тракторах-аналогах: провести расчет предполагаемого трактора мощностью свыше 500 л.с. с двигателем Weichai WP17G600E302 мощностью 599,86 л.с., добиваясь при этом коэффициента энергонасыщенности на уровне 2,0-2,2 кВт/кН, по примеру тракторов New Holland T9.645, John Deere 9570R, Case IH Steiger 550. При этом основные функции трактора будут укладываться в номинальную силу тяги в районе 80-90 кН, а обеспеченный запас высвобожденной мощности будет способствовать повышению скорости движения с номинальной нагрузкой оставляя определенный избыток на питание внешних потребителей. При этом уместно предусмотреть возможность балластирования трактора таким образом, чтобы можно было использовать его чисто как тяговую машину более высокого тягового класса.

Список литературы

1. Дидманидзе О. Н., Егоров Р.Н. Основы оптимального проектирования машинно-тракторных агрегатов / О. Н. Дидманидзе, Р. Н. Егоров. – М.: Учебно-методический центр "Триада", 2017. – 230 с.
2. Современная агроинженерия / В. И. Трухачев, О. Н. Дидманидзе, М. Н. Ерохин [и др.]. – М.: ООО «Мегаполис», 2022. – 413 с.
3. Основы теории мобильных сельскохозяйственных агрегатов / В. А. Самсонов, А. А. Зангиев, Ю. Ф. Лачуга, О. Н. Дидманидзе. – М.: Издательство "Колос", 2000. – 248 с.
4. Оптимизация параметров машинно-тракторных агрегатов / О. Н. Дидманидзе, О. П. Андреев, Е. П. Парлюк. – М.: Учебно-методический центр "Триада", 2017. – 77 с.
5. Современные проблемы и направления технической эксплуатации транспортных и транспортно-технологических машин / А. Ю. Измайлов, О. Н. Дидманидзе, Г. Е. Митягин, А. М. Карев. – М.: ООО "Триада", 2015. – 109 с.
6. Дидманидзе О.Н., Самсонов В.А. Теория и расчет сельскохозяйственного трактора / О. Н. Дидманидзе, В. А. Самсонов. – М.: Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина, 1999. – 147 с.
7. Кутьков Г.М. Богатырев А.В. Тяговый расчет трактора : методические указания/ Г.М. Кутьков, А.В. Богатырев. – М.: РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2018. – 80 с.
8. NO-TILL - шаг к идеальному земледелию : учебно-методическое пособие / [под ред. В. Батурина]. – М.: Народное образование, 2006. – 119 с.
9. Трактор колесный сельскохозяйственный «Versatile» серии High Horsepower Tractor модели 535 : Протокол испытаний / ФГБУ Северо-Кавказская МИС ; исп.пров.: Павлов Г.П. – Зерноград., 2009 г. – 7 с. – : № 11-40-09 (4010231).

10. Колчин А.И., Демидов В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учеб. пособие для вузов / А.И. Колчин, В.П. Демидов. – 4-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 496 с.

11. Расчет двигателей тракторов и автомобилей: Учебное пособие / В.А. Лиханов, Р.Р. Девятьяров, А.В. Россохин. – Киров: Вятская ГСХА, 2019. – 95 с.

12. Моделирование характеристик дизельного двигателя : учебное пособие для студентов специальностей 1-37 01 03 «Тракторостроение», 1-37 01 04 «Многоцелевые гусеничные и колесные машины» и 1-37 01 -05 «Городской электрический транспорт» / Ю.Е. Атаманов [и др.]. – Минск: БНТУ, 2014. – 196 с.

13. Тракторные дизели : Справочник / Б.А. Взоров, А.В. Адамович, А.Г. Арабян [и др.]; Под. общ. ред. Б.А. Взорова. – М.: Машиностроение, 1981. – 535 с.

14. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 101200 - "Двигатели внутреннего сгорания", направлению 651200 - "Энергомашиностроение" / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – 2-е изд. – М.: Легион-Автодата, 2005. – 344 с.

15. Савочки В.А. Тяговая динамика колесного трактора. Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Автомобиле- и тракторостроение" / В.А. Савочки. – М.: МГТУ "МАМИ", 2005. – 97 с.

16. Ярмашевич Ю.И. Тяговая динамика трактора с четырьмя ведущими колесами: дис. ... канд. техн. наук : 05.05.03 / Ю.И. Ярмашевич: Белорусский институт механизации сельского хозяйства. – Минск, 1964. – 125 с.

17. Савочкин В.А. Тяговый расчет трактора. Методические указания для выполнения курсовой работы по дисциплине "Теория трактора" для студентов специальности 150100 "Автомобиле- и тракторостроение" / В.А. Савочкин. – М.: МГТУ "МАМИ", 2001. – 48 с.

18. Юров М.Д. Тяговый расчет и построение теоретической тяговой характеристики сельскохозяйственного трактора с использованием ЭВМ: методические указания к курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 190201 "Автомобиле- и тракторостроение" / М.Д. Юров. – Липецк: ЛГТУ, 2007. – 56 с.
19. Анилович В.Я., Водолажченко Ю.Т. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов. Справочное пособие / В.Я. Анилович, Ю.Т. Водолажченко. – 2-е изд., переработ. и доп. – М.: Машиностроение, 1976. – 456 с.
20. Савочки В.А. Концепция и назначение трактора. Физико-механические свойства грунтов. Конспект лекций / В.А. Савочки. – М.: МГТУ "МАМИ", 1998. – 50 с.
21. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г.М. Кутьков. – М.: Экспо-М, 2016. – 504 с.
22. New Holland T9.615 diesel 16 speed : Test report / Nebraska Tractor Test Lab ; direct. Hoy M. ; test eng. Kocher M.F., Keshwani D.R., Jasa P.J. - Lincoln, Nebraska, 2011. - 5 p. - Nebraska Tractor Tests No. 2016, Nebraska Summary 798.
23. Лихачев В. С. Испытание тракторов. Учебное пособие для вузов / В.С. Лихачев. – М.: Машиностроение, 1974. – 288 с.
24. Испытания автомобилей и тракторов : учебное пособие для вузов / В.С. Курасов, В.М. Погосян, В.В. Драгуленко. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 84 с.
25. Сергеев А.И., Шевелев А.С. Испытание тракторов и транспортно-тяговых машин: методические указания / А.И. Сергеев, А.С. Шевелев. – М.: МГТУ «МАМИ», 2011. – 33 с.
26. Селиванов Н.И. Испытания автотракторных двигателей: учеб. пособие / Н.И. Селиванов. – Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2014. – 220 с.

27. Погорелый И.П. Обкатка и испытание тракторных и автомобильных двигателей / И.П. Погорелый. – М., «Колос», 1973. – 208 с.
28. Практикум по автотракторным двигателям / А.Н. Корабельников, М.Л. Насоновский, В.Л. Чумаков. – М/: Колос, 2013. – 239 с.
29. Петрученко А.Н., Кухарёнок Г.М. Испытания двигателей: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания» / А.Н. Петрученко, Г.М. Кухарёнок. – Минск: БНТУ, 2022. – 63 с.
30. Селиванов Н.И. Эксплуатационные свойства сельскохозяйственных тракторов: уч. Пособие / Н.И. Селиванов. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2010. – 347 с.
31. New Holland T9.645 diesel 16 speed : Test report / Nebraska Tractor Test Lab ; direct. Hoy M. ; test eng. Kocher M.F., Jasa P.J., Keshwani D.R. - Lincoln, Nebraska, 2016. - 4 p. - Nebraska Tractor Tests No. 2162A, Nebraska Summary 1043A.
32. John Deere 9R 540 diesel 18 speed : Test report / Nebraska Tractor Test Lab ; direct. Hoy M. ; test eng. Jasa P.J., Luck J.D., Pitla S.K. - Lincoln, Nebraska, 2022. - 6 p. - Nebraska Tractor Tests No. 2252, Nebraska Summary 1212.
33. Стендовые испытания автомобилей и тракторов: учебное пособие / В.П. Беляев. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56с.
34. John Deere 9570R diesel 18 speed : Test report / Nebraska Tractor Test Lab ; direct. Hoy M. ; test eng. Kocher M.F., Jasa P.J., Pitla S.K. - Lincoln, Nebraska, 2015. - 7 p. - Nebraska Tractor Tests No. 2133, Nebraska Summary 1003.
35. Case IH Steiger 500 diesel 16 speed : Test report / Nebraska Tractor Test Lab ; direct. Hoy M. ; test eng. Kocher M.F., Keshwani D.R., Jasa P.J. - Lincoln, Nebraska, 2011. - 5 p. - Nebraska Tractor Tests No. 2010, Nebraska Summary 793.
36. Case IH Steiger 550 diesel 16 speed : Test report / Nebraska Tractor Test Lab ; direct. Hoy M. ; test eng. Riley M.R., Jasa P.J., Luck J.D. - Lincoln, Nebraska, 2012. - 5 p. - Nebraska Tractor Tests No. 2047, Nebraska Summary 847.

37. Исмаилов В.А, Пархоменко С.Г. Тракторы и автомобили. Курсовое проектирование / В.А Исмаилов, С.Г. Пархоменко. – зерноград: ФГОУ ВПО ФЧГАА, 2013. – 129 с.

38. Панкратов Г.П. Двигатели внутреннего сгорания. Автомобили, тракторы и их эксплуатация / Г.П. Панкратов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1979. – 296 с.

39. Тракторы: Теория Учебник для студентов вузов по спец. «Автомобили и тракторы» / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др.; Под. общ. ред. В.В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.

40. Гуськов В. В. Построение тяговой и потенциальной характеристик тяговой машины: методическое пособие по дисциплинам «Теория трактора» и «Теория систем "местность-машина"» для студентов специальностей 1-37 01 03 «Тракторостроение» и 1-37 01 04 «Многоцелевые колесные и гусеничные машины» автотракторного факультета и 1-37 01 04-02 «Эксплуатация и ремонт бронетанкового вооружения и техники» военно-технического факультета / В.В. Гуськов. – Минск: БНТУ, 2012. – 32 с.

41. Теория трактора и автомобиля: учебник для вузов / О.И. Поливаев, В.П. Гребнев, А.В. Ворохобин. – 2-е изд., испр. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 232 с.

42. Тракторы. Конструкция: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Автомобиле- и тракторостроение" / В.М. Шарипов, А.В. Акимов, Д.В. Апельинский [и др.] ; под общей редакцией засл. деятеля науки РФ, д-ра техн. наук, проф. В.М. Шарипова. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: ИнМаш, 2019. – 803 с.

43. Шарипов В.М. Конструирование и расчет тракторов: учебник для вузов / В.М. Шарипов. – 3-е изд. , стереотип. – М/: Инновационное машиностроение, 2022. – 752 с.

44. Трансмиссии тракторов / К.Я. Львовский, Ф.А. Черпак, Н.А. Щельцын [и др.]. – М.: Машиностроение, 1976. – 280 с.

45. Теория и расчет трактора «Кировец» / Е. А. Шувалов, А. В. Бойков, Б. А. Добряков, М. Г. Пантюхин под общей редакцией А. В. Бойкова. – Л.: Машиностроение, 1980. – 208 с.

46. Наземные тягово-транспортные системы. Энциклопедия : в 3 т. / И.П. Ксенович, В.А. Гоберман, Л.А. Гоберман. Под ред. И.П. Ксеновича; Ред. Совет: И.П. Ксенович (пред.) [и др.]. – М.: Машиностроение, 2003. – Т. 2. – 878 с.

47. Теория трактора и автомобиля : учебное пособие / А. П. Быченин, О. С. Володько, Р. М. Мусин [и др.]. — Самара : СамГАУ, 2022. - 196 с.

48. Основы теории и расчета трактора и автомобиля: по специальности 1509 "Механизация сельского хозяйства" и 1516 "Сельское хозяйство" / В.А. Скотников, А.А. Мащенский, А.С. Солонский. Под ред. В.А. Скотникова. – Москва: Агропромиздат, 1986. – 383 с.

49. Шарипов В.М. Проектирование механических, гидромеханических и гидрообъемных передач тракторов / В.М. Шарипов. – М.: МГТУ «МАМИ», 2002. – 300 с.

50. Эксплуатация машинно-тракторного парка / А.А. Зангиев, А.В. Шпилько, А.Г. Левшин. – М.: КолосС, 2004. – 320 с.

51. Основы работоспособности и надежность технических систем / О.Н. Дидманидзе, Е.П. Парлюк, Н.Н. Пуляев. – Москва: Учебно-методический центр "Триада", 2020. – 232 с.

52. Динамика трактора / И.Б. Барский, В.Я. Анилович, Г.М. Кутьков. – М.: Машиностроение, 1973. – 280 с.

53. Наземные тягово-транспортные системы. Энциклопедия : в 3 т. / И.П. Ксенович, В.А. Гоберман, Л.А. Гоберман. Под ред. И.П. Ксеновича; Ред. Совет: И.П. Ксенович (пред.) [и др.]. – М.: Машиностроение. 2003. – Т. 1. – 743 с.

54. Позин Б.М., Трояновская И.П. Тяговая характеристика трактора (основы теории и расчет): учебное пособие / Б.М. Позин, И.П. Трояновская. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. – 83 с.

55. Нагруженность фрикционных муфт и синхронизаторов в коробке передач. Методы расчета параметров буксования фрикционных муфт и выравнивающего элемента синхронизаторов при переключении передач: монография / В.М. Шарипов, М.И. Дмитриев, В.А. Крючков. – Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2012. – 122 с.

56. Автоматизированное проектирование ресурсосберегающих машинно-тракторных агрегатов / В.А. Самсонов, А.А. Зангиев, О.Н. Дидманидзе. – Москва: Издательство Колос, 1997. – 232 с.

57. Экономия топлива на тракторах: монография / А.И. Якубович, Г.М. Кухаренко, В.Е. Тарасенко. – Минск: БНТУ, 2009. – 229 с.

58. Дейниченко Е.М. Повышение топливной экономичности сельскохозяйственного трактора с гидродинамической силовой передачей при работе на частичных режимах: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Е.М. Дейниченко. – Волгоград, 2007. – 169 с.

59. Габдрафиков Ф.З. Оценка эксплуатационной эффективности топливных систем тракторных и комбайновых дизелей в режимах частичных нагрузок / Ф.З. Габдрафиков. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГАУ, 2004. – 202 с.

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

О.Н. Дидманидзе, С.А. Серебряков, Р.С. Федоткин,
В.А. Крючков, Н.Н. Пуляев

**ОЦЕНКА ТЯГОВОГО ПОТЕНЦИАЛА
ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ ТРАКТОРОВ
МОЩНОСТЬЮ ОТ 500 Л.С.**

Материалы издаются в авторской редакции

Подписано в печать 30.09.2024. Формат 60×90/16.
Усл.-печ. л. 10,25. Тираж 100 экз.

Заказ № 38442

Отпечатано в типографии «OneBook.ru»
ООО «Сам Полиграфист»
129090 г. Москва, Протопоповский пер., 6
www.onebook.ru