

На правах рукописи



ХАБАРДИН Сергей Васильевич

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ТРАКТОРОВ ТЯГОВЫМ МЕТОДОМ ПРИ ТРОГАНИИ
С МЕСТА ПОД НАГРУЗКОЙ**

Специальность 05.20.03 – Технологии и средства технического
обслуживания в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск – 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Иркутская государственная сельскохозяйственная академия» (ФГБОУ ВПО ИрГСХА).

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент,
Бородин Сергей Георгиевич

Официальные оппоненты: **Новосёлов Александр Леонидович,**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО АГТУ,
заведующий кафедрой автомобилей и тракторов

Моносзон Александр Абрамович,
кандидат технических наук,
ГНУ СибИМЭ Россельхозакадемии,
ведущий научный сотрудник лаборатории
технологического обслуживания машинно-
тракторного парка (МТП)

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Новосибирский государственный аграрный
университет (ФГБОУ ВПО НГАУ)

Защита состоится 3 октября 2014 г. в 9 часов на заседании диссертационного совета ДМ 006.059.01 при Государственном научном учреждении Сибирский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ СибИМЭ Россельхозакадемии) по адресу: 630501, Новосибирская обл., Новосибирский район, р. п. Краснообск-1, а/я 460, телефон, факс: 8(383)348-12-09, e-mail: sibime@ngs.ru.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять в адрес диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГНУ СибИМЭ Россельхозакадемии, автореферат размещен на сайте www.vak2.ed.gov.ru, автореферат и диссертация размещены на сайте: www.sibime-rashn.ru.

Автореферат разослан 22 июля 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук



Коротких Владимир Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Мощность и расход топлива - основные топливно-экономические показатели и обобщенные параметры технического состояния двигателя и трактора в целом. От их значений напрямую зависят производительность, экономичность и экологическая безопасность машинно-тракторных агрегатов, а также оценка необходимости выполнения работ по восстановлению работоспособности составных частей двигателя и трактора.

Поэтому определение топливно-экономических показателей является важной диагностической операцией. При эксплуатации допускается снижение эффективной мощности двигателя не более чем на 5 %, а повышение мощности и часового расхода топлива не более чем на 7 % по сравнению с номинальными значениями.

Однако проверками установлено, что эффективная мощность двигателей сельскохозяйственных мобильных машин в условиях эксплуатации ниже номинальной на 10...20 %, а в отдельных случаях – на 30 %. Это особенно характерно для энергонасыщенных тракторов. Расход топлива завышен на 5...15 %. В результате снижается производительность машин, ухудшаются экономические и экологические показатели их использования. Вместе с тем известно, что при систематическом контроле и восстановлении работоспособности в случае снижения мощности за допускаемые пределы производительность тракторных агрегатов повышается на 8...10 %, а погектарный расход топлива снижается на 12...15 %. Очевидно, что повышение эффективности такого контроля возможно при одновременном снижении затрат труда и средств на определение мощностных показателей тракторов.

Работа выполнена в соответствии с тематическим планом НИР ФГБОУ ВПО ИрГСХА по направлению научных исследований «Ресурсосберегающие технологии и средства эксплуатации машин в сельском хозяйстве» (регистрационный номер 01201355869).

Цель исследования – снижение затрат труда и средств на определение мощностных показателей тракторов за счет применения тягового метода испытания этих машин при трогании с места под нагрузкой.

Объект исследования – процесс определения мощностных показателей трактора при трогании с места под нагрузкой.

Предмет исследования – параметры процесса определения мощностных показателей трактора при трогании с места под нагрузкой.

В качестве гипотезы принято предположение о том, что определение мощностных показателей трактора с минимальными затратами труда и средств возможно по силе тяги – при его трогании с места под нагрузкой.

Научную новизну представляют: математическая модель процесса испытания трактора при трогании с места под нагрузкой, разработанная с учетом возможности определения тяговой мощности трактора и эффективной мощности его двигателя при нагружении машины максимальной и номинальной силой тяги; условия реализации испытаний и их математическое описание; энергетический смысл мощности трактора в процессе испытаний.

Практическая значимость результатов исследований. Разработаны технологические карты на определение тяговой мощности тракторов ДТ-75М и МТЗ-80/82, а также на определение эффективной мощности их двигателей. Для их практической реализации предложен экспериментальный гидравлический динамометр, который выполнен на базе тракторного гидроцилиндра. Эти разработки отличаются доступностью как в приобретении, так и в использовании. Экономический эффект от внедрения предложенных методов и средств составляет 5,9 тыс. руб. в год на один трактор. По результатам исследований автором получено 7 патентов РФ на изобретения.

Реализация результатов исследований. Разработанные технологии и средства применяются в сельскохозяйственных предприятиях Иркутской области при техническом обслуживании и ремонте тракторов. Кроме того, они используются в учебном процессе ФГБОУ ВПО ИрГСХА.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены и одобрены: на научно-практических конференциях ФГБОУ ВПО ИрГСХА (2008-2013 гг.), на Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения академика И.П.Терских (г. Иркутск, 2012 г.), на Международной научно-практической конференции молодых ученых «Научные исследования и разработки к внедрению в АПК» (г. Иркутск, 2012 г.), на Юбилейной научной конференции Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (ВСГУТУ, г. Улан-Удэ, 2012 г.), на научно-производственном семинаре ИТР АПК Иркутской области (г. Иркутск, 2011-2013 гг.).

Разработки автора в 2010-2013 гг. экспонировались на Иркутском выставочном комплексе ОАО «СибЭкспоЦентр», в 2011 г. – на выставке «НТТМ-2011» (г. Иркутск) и отмечены дипломами.

Публикации. По материалам исследований опубликовано 9 печатных работ, в том числе 5 статей – в изданиях по списку ВАК. Получено 7 патентов РФ на изобретения.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, четырех глав, выводов, библиографического списка и приложений. Общий объем работы – 205 страниц машинописного текста, в том числе: 26 таблиц, 33 рисунка, 8 приложений, список литературы из 132 наименований.

Положения, выносимые на защиту:

1. Математическая модель определения тяговой мощности трактора и эффективной мощности двигателя в процессе тяговых испытаний при трогании машины с места под нагрузкой.

2. Метод и технологии тяговых испытаний трактора, экспериментальные приборы для измерения его силы тяги, выполненные на основе новых технических решений, а также результаты их экспериментальной проверки.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, показано направление ее исследования и сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования» проанализированы мощность и расход топлива как основные показатели работы и обобщенные параметры технического состояния двигателя и трактора, методы испытания двигателя и трактора при определении их мощности, рассмотрены особенности определения мощности тракторных двигателей в условиях эксплуатации, дан анализ научных исследований по обоснованию методов определения мощности двигателя.

Изучением проблем диагностирования машин в сельском хозяйстве занимались ведущие ученые нашей страны. Научные основы диагностики машин сельскохозяйственного назначения созданы трудами В. А. Аллилуева, В. И. Бельских, Г. В. Веденяпина, Н. С. Ждановского, С. А. Иофинова, В. М. Лившица, В. М. Михлина, А. В. Николаенко, А. И. Селиванова, К. Ю. Скибневского, И. П. Терских, И. Е. Ульмана, Б. А. Улитовского, С. С. Черепанова, В. И. Черноиванова и др. Значительный вклад в разработку методов и средств диагностирования внесли: В. В. Альт, Д. М. Воронин, И. П. Добролюбов, А. В. Дунаев, А. В. Колчин, В. В. Коротких, Г. М. Крохта, Н. И. Мошкин, С. П. Озорнин, А. М. Плаксин, А. П. Уткин, Н. М. Хмелевой и др.

По совершенствованию технологии и средств диагностирования машин ведут плодотворную работу научно-исследовательские институты: ГОСНИТИ, НАТИ, СибИМЭ, а также многие высшие учебные заведения.

Вместе с тем до настоящего времени еще недостаточно изучены многие вопросы, касающиеся обоснования, применения и выбора методов и средств определения мощностных показателей тракторов. Проанализируем их.

Так, в период с 1980 по 1990 г. техническим диагностированием в России был охвачен практически весь парк сельскохозяйственных машин (около 95 %). И тогда это было экономически оправданно.

С переходом на рыночную экономику (после 1991 г.) развитие диагностирования машин сопряжено с необходимостью учета ряда проблем. Если исходить из того, что процесс определения мощности реализуется в системе «человек, объект и средство испытания (диагностирования), а также среда», то в настоящее время мы имеем следующие проблемы. Проблема по первому элементу системы (человек) заключается в недостатке квалифицированных кадров механизаторов и инженеров. Поэтому, с одной стороны, требуется их качественная подготовка, а с другой, нужны приборы, выполненные с возможностью их эксплуатации персоналом различной квалификации. Проблема по второму элементу (объект испытания) обусловлена наличием в хозяйствах старой техники, срок службы которой 20 и более лет. Объем работ по диагностированию таких машин повышается, а возможность восстановления их работоспособности снижается. Проблема по третьему элементу (средство испытания) состоит в том, что после 1991 г. отечественной промышленностью не выпускаются многие средства диагностирования, в том числе и те, которые предназначены для испытания двигателей и тракторов при определении их мощности. Проблема по четвертому элементу системы (среда) сводится к дефициту денежных средств: хозяйства не могут приобретать дорогостоящие приборы. В целом, это обуславливает необходимость создания до-

ступных для пользователя методов и средств испытаний тракторов и их двигателей.

В нашей стране наибольшее развитие получили методы определения мощности двигателя, к которым относятся тормозной, бестормозной метод проф. Н. С. Ждановского, парциальный и дифференциальный, а также бестормозной или динамический метод СибИМЭ (табл.1).

Их анализ показал следующее. Определение мощности и расхода топлива осуществляется только в условиях рабочего режима – с полной цикловой подачей топлива. В таком режиме двигатель более чувствителен к неисправностям, нарушениям регулировок и отклонениям в протекании рабочего процесса. В основу определения мощности положен энергетический метод диагностирования, который базируется на оценке состояния объектов путем измерения вырабатываемой, передаваемой или потребляемой ими энергии.

Таблица 1 – Техничко-экономические показатели методов определения мощности двигателя

Техничко-экономические показатели	Годы начала промышленного освоения методов				
	Методы определения мощности				
	1930	1940	1950	1960	1970
	Т	БЖ	П	Д	БД
Погрешность, %	3,0	6,0	3,5	3,5	5,0
Трудоемкость, чел.-ч	-	0,8	1,1	1,2	0,5
Универсальность	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9
Стоимость капиталовложений, тыс. р.	2600	33,6	53,5	53,5	70,0
Примечание – Методы определения мощности: Т – тормозной; БЖ – бестормозной проф. Н. С. Ждановского; П – парциальный; Д – дифференциальный; БД – бестормозной динамический (СибИМЭ)					

Каждый метод имеет свои достоинства и недостатки. Наиболее точный (погрешность не более 3 %) и в то же время самый дорогой (стоимость капиталовложений – 2600 тыс. р.) – тормозной метод. Наиболее простой и доступный как в практической реализации, так и по стоимости – бестормозной метод проф. Н. С. Ждановского, но он применим только для 4-цилиндровых двигателей. Парциальный и дифференциальный методы по точности мало уступают тормозному методу, но при их реализации нужны средства загрузки двигателя, что приводит к необходимости выполнения сложных промежуточных вычислений, а также увеличивает объем работ по испытанию и стоимость методов. Наиболее универсальный – бестормозной или динамический метод СибИМЭ, однако его точность зависит от многих факторов.

В целом, можно отметить, что в процессе совершенствования методов определения мощности двигателей погрешность и трудоемкость остались на одном и том же уровне, а стоимость капиталовложений в их реализацию уве-

личилась в 5 раз, что затрудняет их использование в современных условиях. Наряду с этим методы испытания тракторов почти не развивались. Существующий тормозной метод дорогостоящий, пригоден только для колесных тракторов и при использовании на крупных станциях технического обслуживания. Этим объясняется необходимость совершенствования методов и средств определения мощностных показателей тракторов.

На основании результатов анализа состояния вопроса сформулированы следующие задачи исследования:

1. Разработать математическую модель определения тяговой мощности трактора и эффективной мощности двигателя в процессе тяговых испытаний при трогании машины с места под нагрузкой.

2. Обосновать параметры процесса тяговых испытаний при трогании трактора с места под нагрузкой, а также применяемые при этом технические средства.

3. Разработать технологические карты на определение тяговой мощности трактора и эффективной мощности двигателя.

4. Провести производственную проверку результатов исследований и оценить их ожидаемую эффективность.

Вторая глава «Теоретическое обоснование тягового метода испытаний трактора при трогании с места под нагрузкой» посвящена разработке математической модели процесса тяговых испытаний тракторов, позволяющей решать поставленные задачи.

На первом этапе был формализован процесс тяговых испытаний.

В качестве аналога модели процесса тяговых испытаний принят процесс функционирования трактора при выполнении технологических операций. Он может быть представлен многомерной моделью, в системе которой внешние воздействия на трактор: $x_i(t)$ - входные; $u_i(t)$ - управляющие; $z_i(t)$ - возмущающие; $y_i(t)$ - выходные.

Из-за случайного характера $x_i(t)$, $u_i(t)$ и $z_i(t)$ воздействий выходные $y_i(t)$ параметры могут рассматриваться в виде случайных процессов или случайных факторов. Чтобы учесть их при испытании трактора, необходимо установить вероятностно-статистические оценки выходных $y_i(t)$ параметров – найти их математические ожидания или средние значения.

При установлении вероятностно-статистических оценок выходных $y_i(t)$ параметров тракторов применяют метод функций случайных аргументов. Его сущность состоит в том, что трактор рассматривается в виде модели «вход-выход». При этом входные $x_i(t)$ и выходные $y_i(t)$ переменные определяются детерминированной (неслучайной) функциональной зависимостью $y_i = f(x_i)$.

В нашем исследовании (рис. 1) входные $x_i(t)$ переменные трактора – это тяговое усилие P_T , которое является аргументом. Выходные $y_i(t)$ переменные – тяговая мощность N_T трактора. По двигателю: N_T является входной переменной, а соответствующее ей значение эффективной мощности N_e - выходной. В связи с этим детерминированные функции связи имеют вид:

$$\text{по трактору} - N_T = f(P_T), \quad (1)$$

$$\text{по двигателю} - N_e = f(N_T). \quad (2)$$

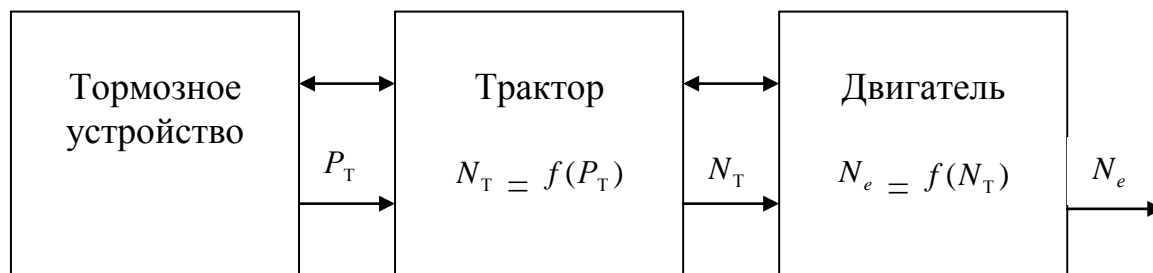


Рисунок 1 – Схема определения мощности трактора и двигателя в процессе тяговых испытаний: линиями со стрелками на обоих концах показано взаимодействие объектов (другие обозначения в тексте)

Следовательно, тяговые испытания трактора, в сущности, сводятся к определению N_T и N_e по измеренным значениям P_T . При этом процесс испытаний осуществляется (рис. 1) во взаимодействии, с одной стороны, трактора и тормозного устройства (неподвижного объекта с основанием), а с другой – двигателя и трактора. Данный процесс испытаний протекает под нагрузкой, но при отсутствии движения трактора – при его трогании с места.

На следующем этапе найдено математическое описание функций (1) и (2) в двух вариантах: по тяговой характеристике и на основе функции касательной силы тяги трактора. Причем каждый из них реализован с возможностью нагружения трактора как максимальной, так и номинальной силой тяги.

Для примера покажем математическое описание тяговой мощности трактора и эффективной мощности его двигателя на основе тяговой характеристики (рис. 2). Пусть при испытании исправного трактора при трогании с места под нагрузкой получена соответствующая эталонная зависимость тяговой мощности от силы тяги - $N_T = f(P_T)$. При этом график мощности представлен кривой линией ОАВ (1), где ОА - регуляторная ветвь, АВ - корректорная ветвь. Впишем в график мощности треугольник ОАВ таким образом, чтобы точка О совпала с началом координат, точка А соответствовала номинальному значению силы тяги $P_{ТН}$ и номинальной тяговой мощности $N_{ТН}$, а точка В - максимальной силе тяги $P_{Тmax(H)}$. Из точек А и В опустим перпендикуляры на ось абсцисс: $AP_{ТН}$ и $VP_{Тmax(H)}$. Пусть также, спустя некоторое время, трактор оказался неисправным - его тяговая мощность не соответствует установленному допуску на ее снижение. При его испытании в том же режиме (в идентичных условиях) получена другая зависимость $N_T = f(P_T)$ - линия OA_1B_1 (2). Впишем в этот график аналогичным образом треугольник OA_1B_1 и получим точки A_1 и B_1 , из которых также опустим перпендикуляры на ось абсцисс: $A_1P_{ТН(И)}$ и $B_1P_{Тmax(И)}$, где $P_{ТН(И)}$ и $P_{Тmax(И)}$ - номинальное и максимальное значение силы тяги, измеренное при испытании.

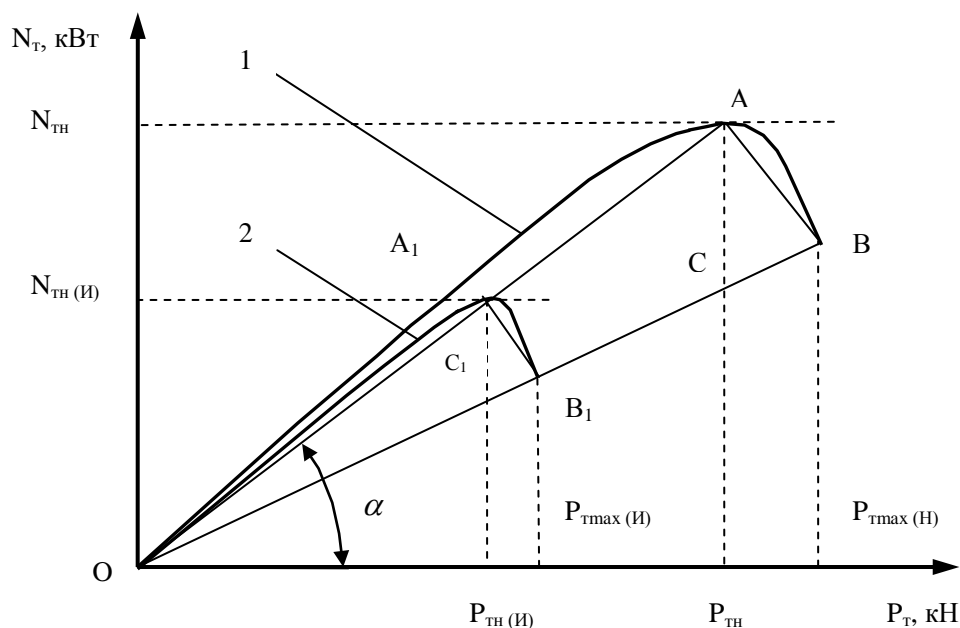


Рисунок 2 – Тяговые характеристики: 1 и 2 – исправного и неисправного трактора (другие обозначения в тексте)

Из подобия треугольников OAB и OA_1B_1 имеем (рис. 2):

$$\frac{P_{Tmax(H)}}{P_{TH}} = \frac{P_{Tmax(I)}}{P_{TH(I)}} = \gamma_T, \quad (3) \quad tg\alpha = \frac{N_{TH}}{P_{TH}} = const, \quad (4)$$

где γ_T - коэффициент, показывающий отношение максимальной силы тяги к номинальной; α - угол наклона условной прямой OA регуляторной ветви тяговой характеристики к оси абсцисс. По физическому смыслу γ_T наиболее близок к известному коэффициенту приспособляемости двигателя K_D –

$$\gamma_T = K_D = \frac{M_{emax}}{M_{en}}, \quad (5)$$

где M_{emax} , M_{en} - максимальный и номинальный крутящий момент двигателя.

Для промежуточного значения тяговой мощности N_T (в интервале от 0 до N_{TH}) из уравнений (3) и (4) получим

$$P_T = \frac{P_{Tmax}}{\gamma_T}, \quad (6) \quad N_T = P_T tg\alpha, \quad (7)$$

где P_T - промежуточное значение силы тяги, соответствующее N_T .

При вычислении $tg\alpha$ (4) значения N_{TH} и P_{TH} могут быть найдены по известным из теории трактора формулам:

$$N_{TH} = N_{en} \eta_M, \quad (8) \quad P_{TH} = \frac{M_{en} i_T \eta_M}{r_K}, \quad (9)$$

где N_{en} - номинальная эффективная мощность двигателя; η_M - механический КПД трансмиссии; i_T - передаточное число трансмиссии; r_K - радиус качения ведущих колес.

Теперь подставим найденные значения N_{TH} (8) и P_{TH} (9) в (4); полученное выражение, а также P_T (6) при $P_{Tmax} = P_{Tmax(I)}$ и с учетом γ_T (5) – в (7). По-

сле упрощений искомое значение тяговой мощности трактора $N_{ТН(H)}$ при его нагружении максимальной силой тяги $P_{Тmax(H)}$ примет вид:

$$N_{ТН(H)} = \frac{P_{Тmax(H)} N_{eH} r_K}{M_{e\max} i_T} \quad (10)$$

при $P_{Тmax(H)} > 0$; $N_{eH} > 0$; $r_K > 0$; $M_{e\max} > 0$; $i_T > 0$.

Разделив обе части уравнения (10) на η_M , соответственно получим номинальную эффективную мощность $N_{eH(H)}$ двигателя

$$N_{eH(H)} = \frac{P_{Тmax(H)} N_{eH} r_K}{M_{e\max} i_T \eta_M} \quad (11)$$

при $P_{Тmax(H)} > 0$; $N_{eH} > 0$; $r_K > 0$; $M_{e\max} > 0$; $i_T > 0$; $1 > \eta_M > 0$.

В уравнениях (10) и (11) соответственно примем

$$\frac{N_{eH} r_K}{M_{e\max} i_T} = C_1 = \text{const}, \quad (12) \quad \frac{N_{eH} r_K}{M_{e\max} i_T \eta_M} = C_2 = \text{const}. \quad (13)$$

С учетом этого выражения (10) и (11) примут следующий общий вид:

$$N_{ТН(H)} = C_1 P_{Тmax(H)}, \quad (14) \quad N_{eH(H)} = C_2 P_{Тmax(H)}, \quad (15)$$

что соответствует функциям (1) и (2), которые представлены на рис. 1.

В результате на основе тяговой характеристики найдены математические описания тяговой мощности трактора (10, 14) и эффективной мощности двигателя (11, 15) при его нагружении максимальной силой тяги. Таким же образом, но без учета γ_T , получены описания этих же параметров при номинальной силе тяги. Кроме того, названные параметры определены и другим способом – по касательной силе тяги трактора. Причем описания, полученные различными способами, согласуются между собой, что свидетельствует об отсутствии ошибок в процессе математического моделирования.

Выявлена физическая сущность процесса тяговых испытаний: мощность трактора в процессе испытаний идет на создание потенциальной энергии, энергии взаимодействия трактора и тормозного устройства, то есть мощность трактора и его двигателя преобразуется в силу тяги.

В третьей главе «Методика экспериментального исследования» изложены программа экспериментального исследования и методики: экспериментальной проверки достаточности сцепления ходового аппарата тракторов с основанием и возможности использования тракторов в качестве тормозных устройств, определения механического КПД трансмиссии, экспериментального исследования процесса тяговых испытаний при определении его основных параметров, статистической оценки результатов сравнительных экспериментов, а также методика оценки погрешности математического описания процесса тяговых испытаний трактора.

Возможность использования тракторов в качестве тормозных устройств и достаточность сцепления ведущих колес (ходового аппарата) трактора с основанием определяют визуально – при испытании этих машин на площадках с различным покрытием и с учетом состояния проверяемого объекта. При этом критерием возможности использования тракторов в качестве тормозных

устройств является достаточность силы сопротивления трактора как тормозного устройства: отсутствие перемещения испытываемого трактора при необходимости сдвинуть его под действием максимальной силы тяги другого трактора. Критерий достаточности сцепления ходового аппарата трактора с основанием: отсутствие буксования испытываемого трактора при его трогании с места под нагрузкой, соответствующей максимальной силе тяги.

Методика определения механического КПД трансмиссии η_M трактора при его трогании с места под нагрузкой предусматривает исходные данные, математический аппарат и порядок получения названного КПД в эталонных условиях. При этом техническое состояние трансмиссии (муфты сцепления) испытываемого трактора должно отвечать всем требованиям нормативно-технической и эксплуатационной документации на этот трактор, а испытания должны проводиться с использованием сертифицированных приборов (динамометров) и в идентичных условиях. Числовые значения КПД трансмиссии η_M определяют расчетно-экспериментальным методом – по формуле, полученной из равенства максимальных крутящих моментов (при $M_e^H = M_K^C$),

$$\eta_M = \frac{0,105 P_{TH} r_K n_H}{N_{eH} i_T}, \quad (16)$$

где M_e^H - крутящий момент двигателя, подведенный через трансмиссию к ведущим колесам трактора; M_K^C - крутящий момент ведущих колес трактора, создаваемый при трогании с места под нагрузкой; P_{TH} измеряется в кН, r_K - в м, n_H - в об/мин, N_{eH} - в кВт. В результате находят математическое ожидание η_M , которое затем используют при определении эффективной мощности двигателя.

Экспериментальные исследования процесса тяговых испытаний включают в себя получение статистических данных (оценок) по погрешности и трудоемкости определения мощностных показателей тракторов и их двигателей. К таким показателям относятся тяговая мощность трактора и эффективная мощность двигателя. При этом предусмотрены варианты исследования процесса тяговых испытаний (табл. 2), позволяющие учесть силу тяги, до которой нагружают трактор, средства измерения силы тяги, а также передачу, на которой осуществляют испытание. Исследования проводят на различных тракторах моделей ДТ-75М и МТЗ-80/82 (выборка объектов наблюдения – случайная), но в идентичных условиях реализации процесса. В результате обработки статистических данных оценивают точность и достоверность определения параметров при заданной доверительной вероятности, а также находят существенность их отличий по сопоставимым вариантам на основе критерия Романовского.

Методика оценки погрешности ε_M математической модели процесса тяговых испытаний предусматривает оценку погрешности определения эффективной мощности $N_{eH(M)}$ двигателя. В её основу положена формула

$$\varepsilon_M = \left(\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \right)^{0,5} \quad (17) \quad \text{при } \varepsilon_i = \frac{\bar{x}_i - x_i}{x_i}, \quad (18)$$

где ε_i – относительная погрешность; $\overline{x_i}$ – выходная величина i -параметра, вычисленная по модели; x_i – выходная величина того же i -го параметра, принятая за действительную. При этом погрешность ε_i определена как степень совпадения значений расчетных и действительных выходных величин, осуществляемая с заданной доверительной вероятностью. В качестве выходных

Таблица 2 – Варианты тяговых испытаний тракторов ДТ-75М и МТЗ-80/82

Тракторы	Режимы испытаний:			Варианты испытаний (обозначение)
	сила тяги, до которой нагружают трактор	средства измерения силы тяги	передача, на которой осуществляют испытание	
ДТ-75М	Максимальная	Динамометр специальный	VI	ДТ-ДС-VI-М
			VII	ДТ-ДС-VII-М
		Динамометр экспериментальный	VII	ДТ-ДЭ-VII-М
МТЗ-80/82	Номинальная	Динамометр специальный	IX	МТЗ-ДС-IX-Н
	Максимальная	Динамометр специальный	IX	МТЗ-ДС-IX-М

величин приняты статистические оценки по параметрам: сила тяги трактора и КПД трансмиссии. Такой подход к оценке возможен и обусловлен тем, что полученные математические модели являются детерминированными.

В четвертой главе «Экспериментальные исследования и их результаты» представлены: результаты экспериментальной проверки возможности тяговых испытаний при трогании с места под нагрузкой, определения и оценки механического КПД трансмиссии, экспериментального исследования процесса тяговых испытаний, оценки погрешности математического описания процесса тяговых испытаний, а также экономический эффект от внедрения тягового метода и средств определения мощностных показателей тракторов.

На первом этапе были проведены проверочные испытания на примере тракторов ДТ-75М и МТЗ-80 при применении тормозного стенда СТЭ-100 и динамометра ДОР-3-И (рис. 3а). Тяговые испытания по передачам, начиная с высшей, были осуществлены в обычном рабочем (штатном) режиме трогания машины с места под нагрузкой. В результате выявлено, что на асфальте трактор ДТ-75М загружается до остановки двигателя на VII и VI передачах, на V и последующих более низких передачах он пробуксовывает. Аналогичные результаты в этих же условиях получены и по МТЗ-80: трактор загружается на передачах с IX по VI, после чего буксует. Одновременно с этим проверен

стенд: получен положительный результат, поскольку какой-либо деформации или сдвига стенда не произошло.

На следующем этапе аналогичным образом проверялась возможность использования тракторов ДТ-75М и МТЗ-80/82 в качестве тормозных устройств, а также возможность тяговых испытаний тракторов на площадках с различным покрытием (рис. 3б).



а



б

Рисунок 3 – Фрагменты экспериментальной проверки тормозного стенда СТЭ-100 и динамометра ДОР-3-И (а) и возможности использования тракторов ДТ-75М и МТЗ-80/82 в качестве тормозных устройств (б)

Установлено, что тяговые испытания тракторов могут быть проведены в следующем сочетании: ДТ-75М-ДТ-75М, МТЗ-80/82-ДТ-75М и МТЗ-80/82-МТЗ-80/82, где первый – это испытываемый трактор, а второй используется в качестве тормозного устройства. При использовании тракторов в виде тормозных устройств наилучшим является трактор, зафиксированный тормозной системой и двигателем. Площадки для испытаний могут иметь цементно-бетонное, асфальтобетонное, щебенчатое или гравийное покрытие, либо они могут быть без покрытия – в виде укатанной грунтовой дороги. Причем вид покрытия площадки не оказывает существенного влияния на процесс испытаний, так и на их результат, поскольку коэффициент сцепления движителей с основанием по этим типам площадок примерно одинаков - в пределах от 0,7 до 1,0: 0,7-0,9 – по колесным тракторам и 1,0 – по гусеничным.

При определении КПД трансмиссии тракторов ДТ-75М и МТЗ-80/82 в производственных условиях (выборка тракторов – случайная) были получены экспериментальные данные, к которым относятся номинальная сила тяги трактора и номинальная эффективная мощность его двигателя. Статистические данные по КПД наиболее ближе согласуются с нормальным законом распределения, о чем свидетельствует критерий согласия $P(\chi^2)$ Пирсона. Выявлено, что КПД трансмиссии не зависит как от номера передачи трактора одной и той же марки, так и от марки тракторов, принятых во внимание. По этим маркам машин он находится в пределах от 0,949 до 0,972, его среднее

значение – 0,960 при относительной ошибке не более 0,05 и доверительной вероятности 0,95.

Проведены варианты исследования и получены основные параметры процесса тяговых испытаний и технические характеристики применения экспериментальных образцов приборов. К таким параметрам и характеристикам относятся: режим испытаний (передача, на которой осуществляют испытание; сила тяги, до которой нагружают трактор), погрешность определения эффективной мощности двигателя, а также трудоемкость ее определения.

Экспериментальные исследования по каждому варианту испытаний были выполнены в идентичных условиях. Соблюдение принципа идентичности показано на примере испытания динамометров (рис. 4), что обеспечено их последовательным соединением. Обработка экспериментальных данных (пример – на рис. 5) – на персональном компьютере в программной среде «Статистика». Результаты оценки погрешности и существенности отличий различных вариантов представлены в табл. 3. Они показывают следующее.

Погрешность определения эффективной мощности двигателей тракторов ДТ-75М на седьмой передаче незначительна (критерий Романовского $1,46 < 3$) и составляет 0,2 кВт (0,32 %), на пятой передаче существенна (критерий



Рисунок 4 – Испытания динамометров ДЭГ-100 (слева) и ДОР-3-И (справа) при их последовательном соединении

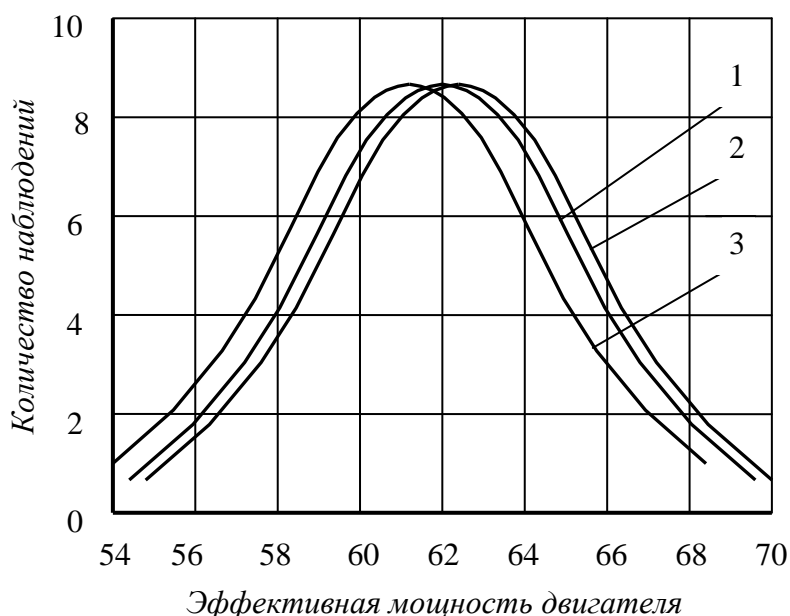


Рисунок 5 - Распределение эффективной мощности двигателей тракторов ДТ-75М: 1 – парциальные испытания; 2, 3 – тяговые испытания на седьмой передаче при применении динамометров ДОР-3-И и ДГЭ-100

Таблица 3 – Результаты оценки погрешности и существенности отличий различных вариантов тяговых испытаний с парциальными

Варианты испытаний (обозначение по табл. 2)	Погрешность:			Критерий Романовского: $\frac{ t }{\sigma_t} > 3$ или $\frac{ t }{\sigma_t} < 3$	Оценка существенности отличий: да, нет
	абсолютная Δ , кВт	относительная, δ , %	приведенная, $\delta_{п}$, %		
<i>Оценка влияния различных передач на погрешность определения эффективной мощности двигателей тракторов ДТ-75М</i>					
ДТ-ДС-VII-M	0,2	0,32	0,30	1,46 < 3	Нет
ДТ-ДС-V-M	1,2	1,94	1,81	8,68 > 3	Да
<i>Оценка влияния различных режимов измерений силы тяги на погрешность определения эффективной мощности двигателей тракторов МТЗ-80/82</i>					
МТЗ-ДС-IX-Н	1,1	1,99	1,87	15,91 > 3	Да
МТЗ-ДС-IX-M	0,2	0,36	0,34	2,89 < 3	Нет
<i>Оценка влияния различных средств измерений силы тяги на погрешность определения эффективной мощности двигателей тракторов ДТ-75М</i>					
ДТ-ДС-VII-M	0,2	0,32	0,30	1,46 < 3	Нет
ДТ-ДЭ-VII-M	1,0	1,62	1,51	7,23 > 3	Да

Романовского $8,68 > 3$) и равна 1,2 кВт (1,94 %). По тракторам МТЗ-80/82 на девятой передаче при максимальном режиме измерения силы тяги погрешность незначительна (критерий Романовского $2,89 < 3$) – 0,2 кВт (0,36 %), при номинальном режиме она существенна (критерий Романовского $15,91 > 3$) – 1,1 кВт (1,99 %). В идентичных условиях (на одной и той же передаче и при одном и том же режиме измерения силы тяги) применение ДГЭ-100 в сравнении с ДОР-3-И дает погрешность 1,0 кВт (1,62 %), что существенно (критерий Романовского $7,23 > 3$, рис. 5). Поэтому для снижения погрешности тяговые испытания следует проводить на наивысшей передаче и при максимальной силе тяги, а при использовании экспериментального динамометра – учитывать его систематическую погрешность.

Средняя трудоемкость применения прибора ДГЭ-100 составляет 8,6 чел.-мин, ДОР-3-И – 8,2 чел.-мин, что на 0,4 чел.-мин или на 4,7 % ниже, чем ДГЭ-100. Это обусловлено тем, что ДОР-3-И лучше приспособлен для использования по назначению. Он имеет меньшую массу и габаритные размеры и выполнен в одном конструктивном блоке. Вместе с тем к преимуществам прибора ДГЭ-100 следует отнести низкую стоимость, простоту конструкции, возможность использования при его создании стандартных конструктивных элементов, например, тракторного гидроцилиндра и манометра.

Если принять во внимание, что трудоемкость по приборам ДОР-3-И и ДГЭ-100 изменяется незначительно, то с точки зрения минимальной погрешности наиболее предпочтительным вариантом тяговых испытаний явля-

ется такой, при котором силу тяги измеряют при максимальной нагрузке и на наивысшей передаче, что в полной мере согласуется с теорией.

Для практической реализации тягового метода разработаны и апробированы технологические карты на определение тяговой мощности тракторов ДТ-75М и МТЗ-80/82 и эффективной мощности их двигателей в двух вариантах: при нагружении испытываемой машины максимальной и номинальной силой тяги. Они составлены по операциям с указанием технических требований, исполнителей, трудоемкости, а также приборов и оборудования.

Экономический эффект применения тягового метода и средств измерения силы тяги, вычисленный в сопоставлении с парциальными испытаниями двигателей, составляет 5,9 тыс. р. на один трактор в год.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В процессе совершенствования методов определения мощности двигателей погрешность и трудоемкость остались на одном и том же уровне, а стоимость капиталовложений в их реализацию увеличилась в 5 раз, что затрудняет их использование в современных условиях. Наряду с этим методы испытания тракторов почти не развивались. Существующий тормозной метод дорогостоящий, пригоден только для колесных тракторов и при использовании на крупных станциях технического обслуживания. Этим объясняется необходимость совершенствования методов и средств определения мощностных показателей тракторов.

2. Разработана математическая модель определения тяговой мощности трактора и эффективной мощности двигателя в процессе тяговых испытаний при трогании машины с места под нагрузкой. В общем виде она представляет собой зависимость мощности от силы тяги трактора. Модель получена в двух вариантах: при нагружении трактора максимальной и номинальной силой тяги. Причем оба варианта согласуются между собой, а это свидетельствует о том, что математическое описание процесса тяговых испытаний выполнено правильно. Погрешность модели не превышает 12 % по тракторам ДТ-75М и 6 % по МТЗ-80/82 при доверительной вероятности 0,95.

Выявлена физическая сущность процесса тяговых испытаний: мощность трактора в процессе испытаний идет на создание потенциальной энергии, энергии взаимодействия трактора и тормозного устройства, то есть мощность трактора и его двигателя преобразуется в силу тяги.

3. Обоснованы наиболее эффективные параметры процесса тяговых испытаний, а также применяемые при этом технические средства.

Тяговые испытания тракторов марок ДТ-75М и МТЗ-80/82 могут быть проведены в следующем сочетании: ДТ-75М-ДТ-75М, МТЗ-80/82-ДТ-75М и МТЗ-80/82-МТЗ-80/82, где первый – это испытываемый трактор, а второй используется в качестве тормозного устройства.

При использовании тракторов в качестве тормозных устройств наилучшим средством их фиксации является двигатель. По условиям достаточности

сцепления тяговые испытания могут быть проведены как на площадках с твердым покрытием, так и без покрытия – на твердом глинистом грунте. Причем испытания тракторов ДТ-75М по условиям достаточности сцепления могут быть осуществлены на любой из передач, МТЗ-80/82 – только на передачах с девятой по шестую.

Установлено, что КПД трансмиссии не зависит как от номера передачи трактора одной и той же марки, так и от марки тракторов, принятых во внимание – ДТ-75М и МТЗ-80/82. По этим маркам машин он находится в пределах от 0,949 до 0,972, его среднее значение – 0,960 при относительной ошибке не более 0,05 и доверительной вероятности 0,95.

4. Установлено, что погрешность определения эффективной мощности двигателей тракторов ДТ-75М на седьмой передаче незначительна (критерий Романовского $1,46 < 3$) и составляет 0,2 кВт (0,32 %), на пятой передаче значительна (критерий Романовского $8,68 > 3$) и равна 1,2 кВт (1,94 %). По тракторам МТЗ-80/82 на девятой передаче при максимальном режиме измерения силы тяги погрешность незначительна (критерий Романовского $2,89 < 3$) – 0,2 кВт (0,36 %), при номинальном режиме она значительна (критерий Романовского $15,91 > 3$) – 1,1 кВт (1,99 %). В идентичных условиях (на одной и той же передаче и при одном и том же режиме измерения силы тяги) применение ДГЭ-100 в сравнении с ДОР-3-И дает погрешность 1,0 кВт (1,62 %), что значительно (критерий Романовского $7,23 > 3$). Поэтому для снижения погрешности тяговые испытания следует проводить на наивысшей передаче и при максимальной силе тяги, а при использовании экспериментального динамометра – учитывать его систематическую погрешность.

В процессе совершенствования тяговых испытаний найдены новые технические решения, на которые получено 7 патентов РФ на изобретения.

5. Средняя трудоемкость применения прибора ДГЭ-100 составляет 8,6 чел.-мин, ДОР-3-И – 8,2 чел.-мин, что на 0,4 чел.-мин или на 4,7 % ниже, чем по ДГЭ-100. Это обусловлено тем, что ДОР-3-И лучше приспособлен для использования по назначению: имеет меньшую массу и габаритные размеры и выполнен в одном конструктивном блоке. К преимуществам прибора ДГЭ-100 следует отнести низкую стоимость, простоту конструкции, возможность использования при его создании стандартных конструктивных элементов, например, тракторного гидроцилиндра и манометра.

6. Разработаны технологические карты на определение тяговой мощности тракторов ДТ-75М и МТЗ-80/82 и эффективной мощности их двигателей.

7. Годовой экономический эффект применения тягового метода и средств измерения силы тяги, вычисленный в сопоставлении с парциальными испытаниями двигателей, составляет 5,9 тыс. р. на один трактор.

При внедрении тягового метода и экспериментального динамометра ДГЭ-100 в СХОАО «Белореченское» (отделение «Хайтинское») Усольского района и ЗАО «Иркутские семена» (филиал «Элитхоз») Иркутского района Иркутской области годовой экономический эффект составил соответственно 5,8 и 6,1 тыс. руб.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих печатных работах:

Статьи в изданиях по списку ВАК

1. Хабардин В. Н. Определение эффективной мощности двигателя при испытании трактора в тяговом режиме движения с места / В. Н. Хабардин, С. В. Хабардин // Вестник КрасГАУ. – 2009. - № 12. – С. 176 – 179.

2. Бородин С. Г. Результаты анализа методов испытаний тракторных двигателей при определении их мощности / С. Г. Бородин, С. В. Хабардин, В. Н. Хабардин, М. В. Чубарева // Вестник ИрГСХА. – 2012. - Вып. 51. - С. 111 - 117.

3. Хабардин С. В. Варианты тяговых испытаний тракторов и их выбор / С. В. Хабардин // Вестник ИрГСХА. – 2012. - Вып. 52. - С. 87 - 92.

4. Хабардин С. В. Результаты экспериментального исследования процесса тяговых испытаний тракторов при трогании с места под нагрузкой / С. В. Хабардин // Вестник ИрГСХА. – 2013. - Вып. 55. - С. 126 - 132.

5. Хабардин С. В. Результаты определения механического КПД трансмиссии при тяговых испытаниях тракторов в процессе трогания с места под нагрузкой / С. В. Хабардин, А. В. Шишкин // Вестник ИрГСХА. – 2013. - Вып. 52. - С. 128 - 134.

Основные статьи в научных сборниках

6. Хабардин С. В. Методика оценки технических решений на основе экспериментальных исследований / С. В. Хабардин, А. В. Хабардин, В. Н. Хабардин // Научные достижения производству : материалы науч.-практ. конф. молодых ученых с междунар. участием, 20-22 апреля 2011 г. - Иркутск, 2011. - С. 345 - 349.

7. Хабардин С. В. Методы технического диагностирования трактора на основе тяговых испытаний в движении с места / С. В. Хабардин // Техника и технологии инженерного обеспечения АПК : материалы IV-го регионального науч.-произв. семинара «Чтения И.П. Терских» (26–27 сентября 2011 г.). - Иркутск, 2011. - С. 41 - 45.

8. Хабардин С. В. Методы испытаний трактора в тяговом режиме движения с места / С. В. Хабардин // Техника и технологии инженерного обеспечения АПК : материалы IV-го регионального науч.-произв. семинара «Чтения И.П. Терских» (26–27 сентября 2011 г.). - Иркутск, 2011. - С. 53 - 57.

9. Хабардин С. В. Результаты экспериментальной проверки тяговых испытаний тракторов при трогании с места под нагрузкой / С. В. Хабардин // Серия «Технология и средства механизации в АПК», Вып. 8 : сб. научн. трудов. – Улан-Удэ : Изд-во ВСГУТУ, 2012. – С. 21 - 31.

Патенты на изобретения Российской Федерации

10. Пат. 2219512 Рос. Федерация, МПК⁷ G 01 M 17/00. Способ определения максимального значения часового расхода топлива при тяговых испытаниях транспортного средства / Хабардин В.Н. Хабардин С.В.; заявитель и патентообладатель Иркут. гос. с.-х. акад. - № 2001121434/28; заявл. 30.07.01; опубл. 20.12.2003, Бюл. № 35. – 5 с.

11. Пат. 2396535 Рос. Федерация, МПК G 01 M 17/007 (2006.01). Гидромеханическое устройство для тяговых испытаний машин / Хабардин В.Н. Хабардин С.В., Чубарева М.В., Шелкунова Н.О., Пивкин И.В., Мерзляков А.В.; заявитель и патентообладатель Иркут. гос. с.-х. акад. - № 2009134572/11; заявл. 15.09.09; опубл. 10.08.2010, Бюл. № 22. – 25 с.

12. Пат. 2411485 Рос. Федерация, МПК⁷ G 01 M 17/00. Устройство для нагружения автотранспортного средства при его испытании в тяговом режиме трогания с места / Хабардин С.В., Бородин С.Г. ; заявитель и патентообладатель Иркут. гос. с.-х. акад. - № 2009148912/11; заявл. 28.12.09; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 4. – 5 с.

13. Пат. 2430339 Рос. Федерация, МПК G 01 L 5/13 (2006.01). Способ определения тяговой мощности транспортного средства при его испытании в тяговом режиме трогания с места / Хабардин В. Н., Хабардин С. В. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Иркут. гос. с.-х. акад.» – № 2009134577/28 ; заявл. 15.09.2009; опубл. 27.09.2011 Бюл. № 27. – 9 с.

14. Пат. 2430340 Рос. Федерация, МПК G 01 L 5/13 (2006.01). Способ определения эффективной мощности двигателя транспортной машины при ее испытании в тяговом режиме трогания с места / Хабардин В. Н., Хабардин С. В. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Иркут. гос. с.-х. акад.» – № 2009134575/28 ; заявл. 15.09.2009; опубл. 27.09.2011, Бюл. № 27. – 7 с.

15. Пат. 2438105 Рос. Федерация, МПК G01L 5/13 (2006.01). Способ определения номинальной тяговой мощности транспортной машины / Хабардин С. В. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Иркут. гос. с.-х. акад.» – № 2010113029/28 ; заявл. 05.04.2010; опубл. 27.12.2011, Бюл. № 36. - 5 с.

16. Пат. 2430338 Рос. Федерация, МПК G 01 L 5/00 (2006.01). Способ определения номинальной эффективной мощности двигателя транспортной машины / Хабардин С. В. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Иркут. гос. с.-х. акад.» – № 2010113026/28 ; заявл. 05.04.2010; опубл. 27.09.2011, Бюл. № 27. - 7 с.

Лицензия на издательскую деятельность

ЛР № 070444 от 11.03.98 г.

Подписано в печать 16 июля 2014 г.

Объем 1,0 печ. л. Тираж 100 экз.

Издательство ФГБОУ ВПО «Иркутская государственная
сельскохозяйственная академия»
664038, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный