

# Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИНФОРМАЦИИ И  
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИНЖЕНЕРНО-  
ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА»  
(ФГБНУ «РОСИНФОРМАГРОТЕХ»)

УДК 631.372: 62-1/-9: 608.2

Рег. № НИОКТР АААА-А20-120101490034-1

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора  
ФГБНУ «Росинформагротех»,  
канд. юрид. наук

П.А. Подьяблонский

« 9 » декабря 2020 г.

## ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

### **Исследование и разработка нового метода определения оптимального режима работы дизельных двигателей сельскохозяйственных тракторов и самоходных машин**

Задание 2.1.9 Проведение исследований и разработка современного испытательного оборудования, приборного и программного обеспечения для оценки потребительских свойств высокотехнологичных машин

Тема 2.1.9.4 Проведение исследований и разработка нового метода определения оптимального режима работы дизельных двигателей в реальном режиме времени

Директор КубНИИТнМ

М.И. Потапкин

Руководитель НИР,  
зав. лабораторией разработки  
средств измерений и программного  
обеспечения, д-р техн. наук

В.Е. Таркивский


Новокубанск 2020

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР,  
зав. лабораторией разработки  
средств измерений и  
программного обеспечения,  
д-р техн. наук


 30.11.2020 В.Е. Таркивский  
(методическое руководство)

Отв. исполнитель,  
науч. сотр.

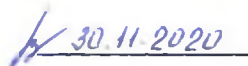
 30.11.2020 А.Б. Иванов  
(введение, раздел 1, 2, 4,  
заключение)

Исполнители:

Гл. науч. сотр.,  
канд. техн. наук

 30.11.2020 Н.В. Трубицын  
(раздел 3)


Науч. сотр.

 30.11.2020 Е.С. Воронин  
(раздел 3)

Инженер

 30.11.2020 В.Н. Слесарев  
(приложение А)

Нормоконтроль

 30.11.2020 В.О. Марченко

## РЕФЕРАТ

Отчет 92 с., 1 кн., 40 рис., 10 табл., 37 источн., 1 прил.

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ, ЭНЕРГОНАСЫЩЕННОСТЬ, ДАТЧИК, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА, ОПТИМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ, ДАВЛЕНИЕ НАДДУВА

Объектом исследования являются методы и технические средства измерения мощности, первичные преобразователи и другие средства и системы самоходных колесных машин, в которых реализована функция определения нагрузочного режима работы двигателя энергосредств машинно-тракторных агрегатов.

Цель работы – создание метода, позволяющего оценивать энергетические параметры мобильных энергетических средств в реальном режиме времени и на основании полученной информации рассчитывать наиболее эффективный режим работы.

Метод исследований – экспериментально-теоретический, основанный на анализе и лабораторном исследовании существующих методов определения энергетических показателей работы машинно-тракторных агрегатов.

В результате работы разработан новый метод определения энергетических показателей, таких как общая потребляемая мощность, крутящий момент двигателя, расход топлива, удельный расход топлива, коэффициент использования мощности через измерение давления наддувочного воздуха во впускном коллекторе двигателя, который позволит получать энергетические показатели агрегата в реальном режиме времени, на основании полученной информации рассчитать и установить наиболее оптимальный режим работы МТА и требует установки только одного датчика избыточного давления.

Актуальность работы и новизна заключается в повышении эффективности эксплуатации энергонасыщенных тракторов за счет нового метода определения энергетических показателей работы МТА в реальном режиме времени, облегченного способа монтажа необходимого оборудования на трактор, повышения эффективности принимаемых оператором решений при выборе режима работы МТА и универсальности за счет его использования не только на двигателях с механическими регуляторами ГНВД, но и современных двигателях с электронным регулированием подачи топлива. Также новый метод может применяться в организациях, занимающихся исследованиями и испытаниями сельскохозяйственной техники.

Область применения – сельхозтоваропроизводители, МИС, НИИ Минсельхоза России, ВУЗы и другие организации, занимающиеся исследованиями и испытаниями сельскохозяйственной техники.

## СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ .....	5
ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 Состояние вопроса и выбор направления исследований .....	8
2 Теоретическое обоснование нового метода определения загрузки двигателя по давлению наддува .....	34
3 Экспериментальные исследования.....	38
3.1 Методика экспериментальных исследований.....	38
3.2 Разработка устройства определения давления наддува во впускной магистрали двигателя .....	39
3.3 Разработка устройства для измерения тягового сопротивления сельскохозяйственного орудия.....	41
3.4 Измерительно-регистрирующая аппаратура и программное обеспечение .....	42
4 Результаты экспериментальных исследований.....	47
4.1 Результаты экспериментальной оценки зависимости давления наддува во впускной магистрали двигателя от нагрузки на трактор во время выполнения технологической операции.....	47
4.2 Результаты сравнительной оценки результатов определения энергетических показателей работы МТА по новому и известным методам .....	50
4.3 Оценка возможности применения нового метода определения загрузки двигателя по давлению наддува для выбора оптимального режима работы МТА.....	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	58
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	60
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) Отчет о патентных исследованиях.....	65

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящем отчете о НИР применяются следующие сокращения и обозначения:

АЦП – аналогово-цифровой преобразователь

ИИС – измерительная информационная система

МИС – машиноиспытательная станция

МТА – машинно-тракторный агрегат

ПК – персональный компьютер

СИ – средство измерения

ТНВД – топливный насос высокого давления

ТННД – топливный насос низкого давления

ТСУ – тягово-сцепное устройство

ЭТО – эксплуатационно-технологическая оценка

SUTB (shifted-up and throttled-back) – технология поддержания одинаковой скорости движения на различных передачах тракторов со ступенчатыми трансмиссиями, подразумевающая снижение частоты вращения коленчатого вала при переходе на более высокую ступень трансмиссии.

## ВВЕДЕНИЕ

Важным направлением деятельности Новокубанского филиала ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТиМ) является разработка методов и средств измерений для обеспечения оценки показателей сельскохозяйственной техники. Методы и средства измерений, разработанные в КубНИИТиМ, позволяют проводить оценку сельскохозяйственной техники в соответствии с национальными и межгосударственными стандартами на методы испытаний, а также способствуют как развитию отечественного сельскохозяйственного машиностроения, так и повышению эффективности сельскохозяйственного производства.

Технический уровень и энергетические возможности современных тракторов, позволяют обеспечить как их агрегатирование с широким спектром сельскохозяйственных орудий различного назначения и различных производителей, так и выполнение технологических операций в широком диапазоне внешних условий (твердость и влажность почвы, характер микро и макрорельефа полей и т. п.). Такие возможности обеспечиваются в первую очередь за счет повышения энергонасыщенности и расширения диапазона балластировки тракторов.

Однако, сложность современной сельскохозяйственной техники, ее высокая стоимость и энергонасыщенность, выдвигают на передний план проблему повышения эффективности использования машинно-тракторного агрегата.

Ключевым недостатком двигателей внутреннего сгорания является невозможность обеспечения равной эффективности во всем диапазоне нагрузок и частоты вращения коленчатого вала, тем не менее, всережимность регулирования рабочего процесса двигателя, при правильном выборе скоростного режима, позволяет существенно повысить топливную эффективность при работе с нагрузками, отличными от номинальных. А в комбинации с правильным вы-

бором передаточного отношения трансмиссии, позволяет обеспечить неизменную производительность МТА при существенном повышении топливной экономичности.

Существующие методы определения мощностных, скоростных и топливно-экономических показателей работы двигателя МТА при выполнении технологического процесса, изложены в ГОСТ Р 52777-2007 «Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки» [1] и используются при испытаниях сельскохозяйственных машин, однако для решения поставленной задачи, неприменимы, поскольку получить необходимую информацию, позволяют только после проведения серии опытов и последующей обработки результатов. Применимость же полученных результатов в условиях, отличающихся от условий проведения опытов, не будет являться корректной и не несет информацию о динамическом характере изменения нагрузочных режимов.

Для возможности выбора оптимального режима работы МТА необходимо, в первую очередь, в реальном времени, иметь информацию о нагрузочном и скоростном режиме работы двигателя, степени и потенциале использования его мощности, что без эффективных методов и средств эксплуатационного контроля не представляется возможным.

Поэтому разработка метода, позволяющего в режиме реального времени определять нагрузочный и скоростной режимы работы двигателя МТА, степень и потенциал использования его мощности, является важной задачей.

Цель работы – создание метода, позволяющего оценивать энергетические параметры мобильных энергетических средств в реальном режиме времени и на основании полученной информации рассчитывать наиболее эффективный режим работы.

Разработанный метод может найти применение в сельскохозяйственных предприятиях, а также в ВУЗах, НИИ и машиноиспытательных станциях Минсельхоза России при исследованиях и испытаниях сельскохозяйственной техники и технологий.

## **1 Состояние вопроса и выбор направления исследований**

Сельскохозяйственные тракторы – сложные мобильные энергетические и транспортные средства, используемые для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства, а также для перевозки сельскохозяйственных грузов и пассажиров.

Сельскохозяйственные тракторы должны отвечать определенным эксплуатационным требованиям, базирующимся на научно обоснованных свойствах и показателях. К числу этих требований относятся прежде всего обеспечение высокой производительности и экономичности, выполнение всего комплекса сельскохозяйственных работ качественно, в наилучшие агротехнические сроки [2].

Сельскохозяйственные тракторы работают в агрегате с орудиями в основном как тягачи и источники энергии посредством вала отбора мощности, формируя при этом мобильное энергетическое средство. Трактор должен обеспечивать высокую производительность и экономичность при выполнении полного комплекса сельскохозяйственных работ с соответствующим качеством и с соблюдением установленных агротехнических сроков.

Специфика ведения сельскохозяйственного производства обусловлена изменяющимися природно-климатическими условиями, многообразием производственных факторов, рисками и др., что усложняет производство культур [3]. Природно-климатические условия можно разделить на почвенно-рельефные и климатические [4]. К почвенно-рельефным относят: рельеф местности, тип и состояние почвы, степень засоренности камнями, высоту над уровнем моря и размеры полей; к климатическим: величину осадков за сезон и распределение их по месяцам, продолжительность полевого периода, количество солнечных дней и т. д. В классификации [5] к показателям полевых условий относятся: размер участка, длина гона, рельеф, засоренность камнями, изрезанность препятствиями, сложность конфигурации, компактность земельных



угодий, механический состав, плотность и влажность почвы и т. д. Все эти характеристики оказывают значительное влияние на выходные показатели машинотракторного агрегата.

Для обеспечения максимальной эффективности при выполнении всего комплекса сельскохозяйственных работ, производители постоянно совершенствуют конструкцию и повышают энергонасыщенность сельскохозяйственных тракторов. Удельная энергонасыщенность трактора  $\mathcal{E}_{\text{тр}}$ , кВт/кН, определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{тр}} = \frac{N_{\text{эксп}}}{P_{\text{тр}}}, \quad (1)$$

где  $N_{\text{эксп}}$  – эксплуатационная мощность двигателя, кВт;

$P_{\text{тр}}$  – эксплуатационный вес трактора без балласта, кН.

Анализ протоколов испытаний 124-х моделей сельскохозяйственных тракторов тягового класса от 1,4 до 8 по ГОСТ 27021-86 [6] и мощностью двигателя от 60 до 460 кВт (рисунок 1), опубликованных Nebraska Tractor Test Laboratory [7], показывает, что удельная энергонасыщенность рассмотренных моделей тракторов варьируется в довольно широком диапазоне (от 1,45 кВт/кН у трактора Challenger MT945 до 2,35 кВт/кН у трактора John Deere 9530), у большинства же моделей составляет 1,8-2,1 кВт/кН (рисунки 2, 3). Также на рисунке 2 видно, что довольно широко удельная энергонасыщенность варьируется в пределах модельных рядов тракторов одного производителя в рамках одного тягового класса, что объясняется тем, что в пределах одной серии, производитель выпускает модели в нескольких вариантах мощности двигателя.

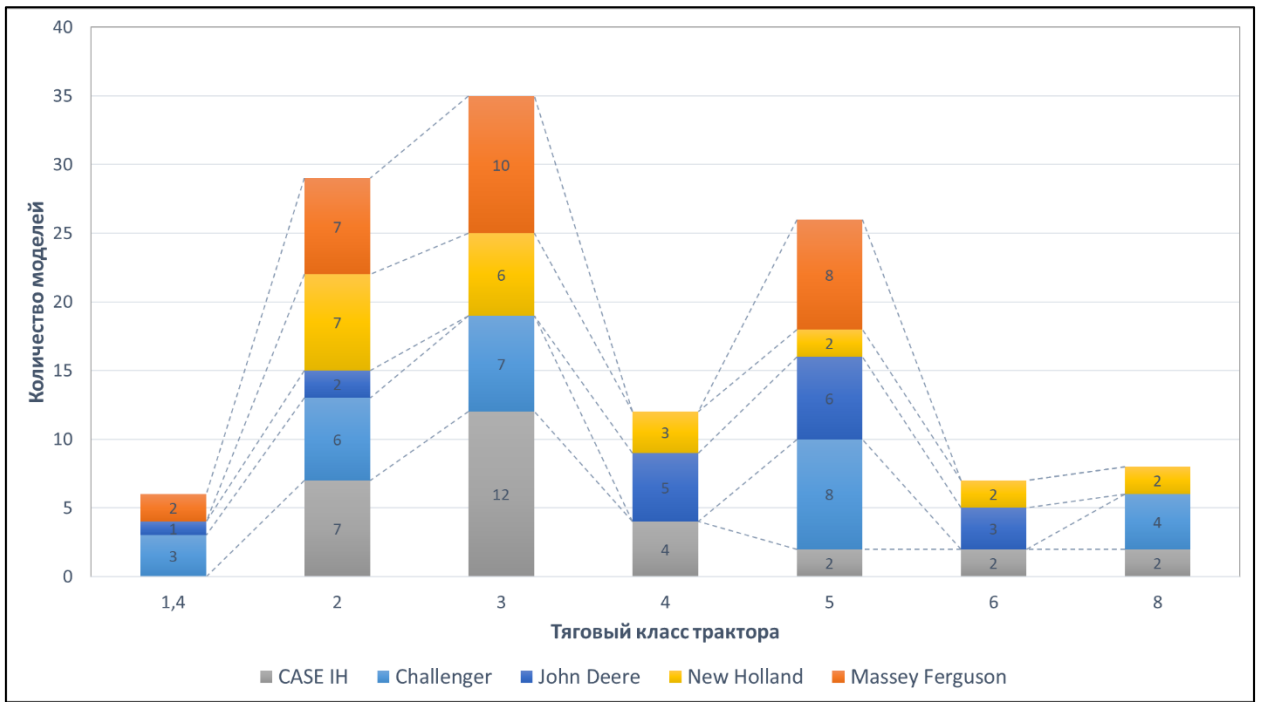


Рисунок 1 – Распределение количества моделей по тяговым классам

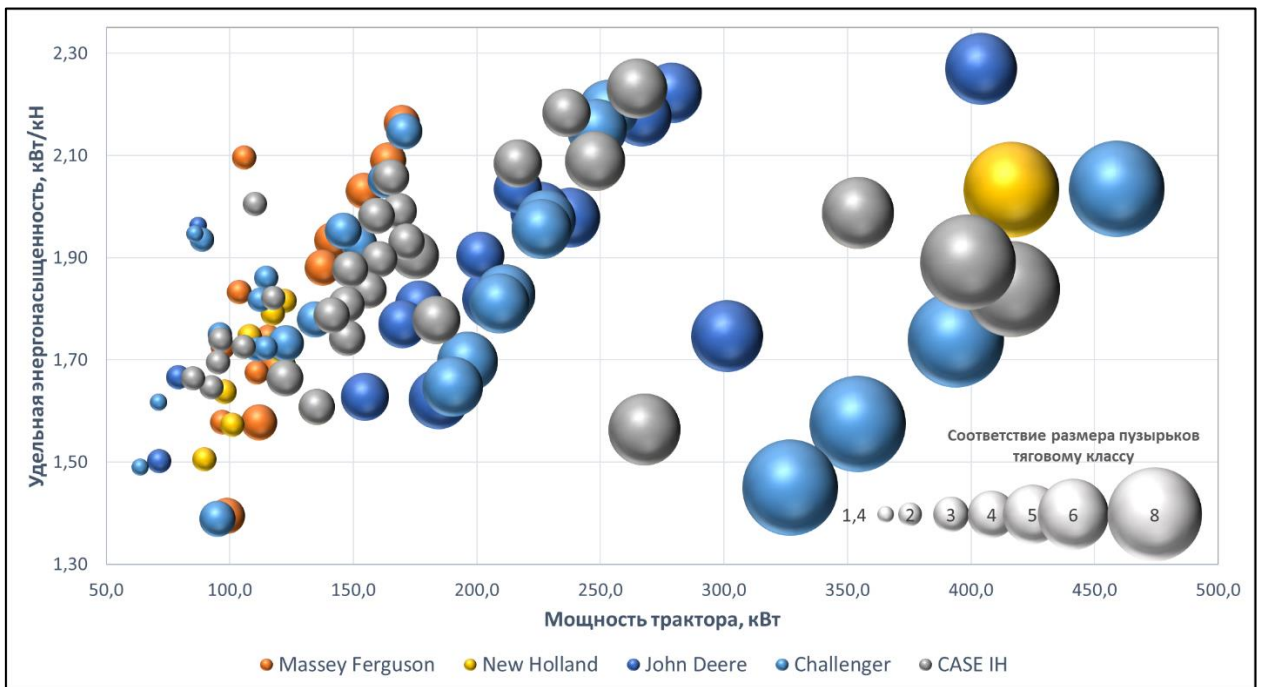


Рисунок 2 – Удельная энергонасыщенность тракторов

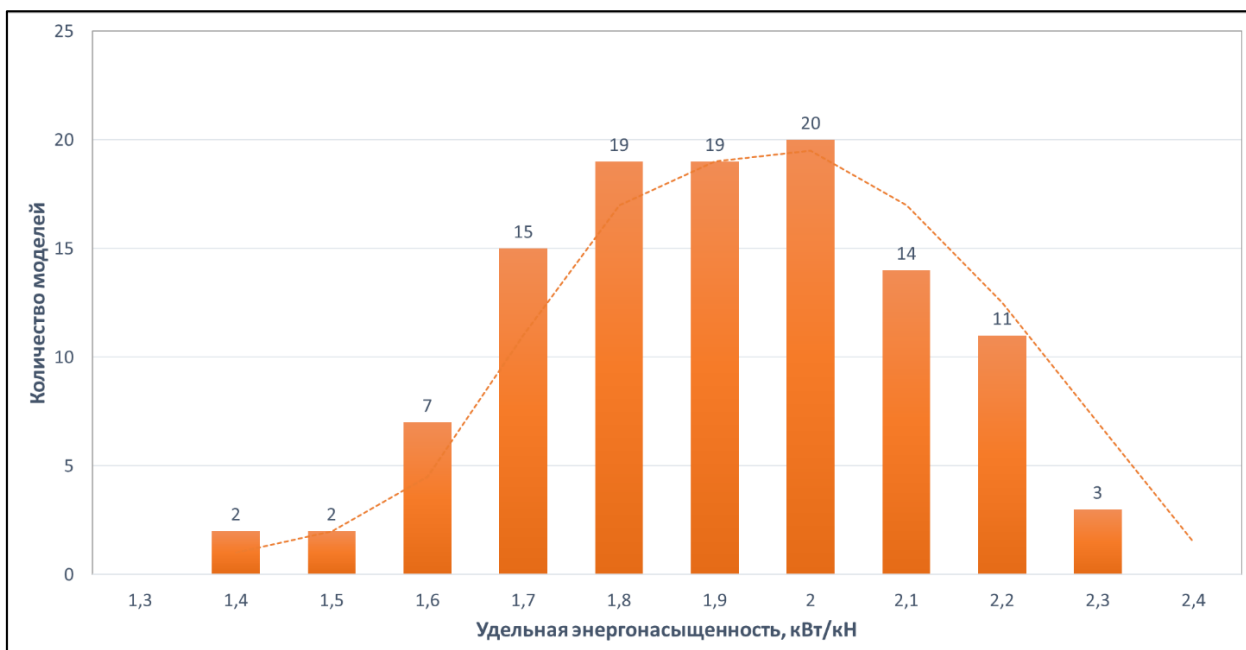


Рисунок 3 – Гистограмма распределения количества моделей тракторов по параметру значений удельной энергонасыщенности

Стремясь обеспечить максимальную производительность и универсальность при выполнении полного комплекса сельскохозяйственных работ с соответствующим качеством и с соблюдением установленных агротехнических сроков в условиях, характеризуемых изменяющимися природно-климатическими и производственными факторами, производители повышают удельную энергонасыщенность сельскохозяйственных тракторов. В то же время, как показывают результаты исследований различных ученых [8]–[11], высокая энергонасыщенность, превышающая 1,5 кВт/кН, приводит к снижению экономической эффективности сельскохозяйственных работ по причине недозагрузки двигателя трактора. Однако, возможности балластирования, широкий диапазон передаточных отношений ступенчатых трансмиссий, а также внедрение надежных и эффективных бесступенчатых трансмиссий современных тракторов позволяют потребителю, используя технологию SUTB [12]–[14] путем маневрирования скоростью, частотой вращения коленчатого вала двигателя и балластировкой трактора, без потери эффективности выполнять весь спектр

сельскохозяйственных работ. Однако, для использования перечисленных методов повышения эффективности, при выполнении работ, механизатору, в режиме реального времени, необходимо иметь информацию о степени использования мощности двигателя, фактической скорости движения агрегата и величине буксования движителей.

Мощность  $N_{т.а}$ , кВт, затрачиваемая машинно-тракторным агрегатом при выполнении технологических операций [15], определяется по формуле

$$N_{т.а} = N_{м} + N_{т.с} , \quad (2)$$

где  $N_{м}$  – мощность, потребляемая сельскохозяйственной машиной, кВт;

$N_{т.с}$  – мощность, потребляемая на самопередвижение трактора, кВт.

Мощность  $N_{м}$ , кВт, для сельскохозяйственных машин без привода рабочих органов определяется, как произведение тягового сопротивления и поступательной скорости движения агрегата

$$N_{м} = 10^{-3} R_{м} v , \quad (3)$$

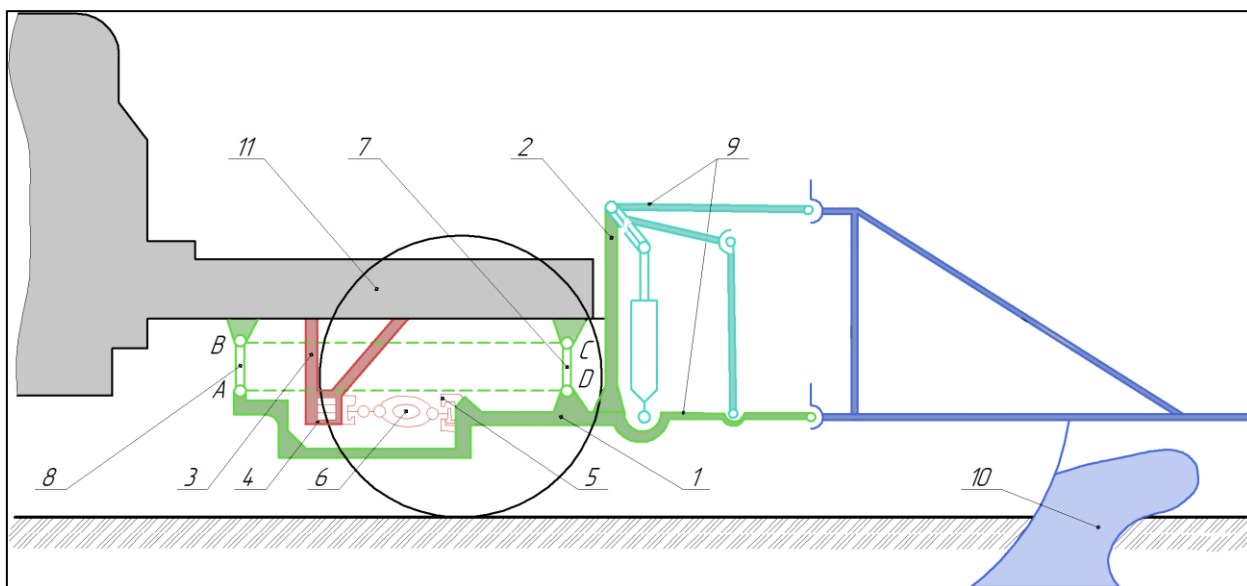
где  $R_{м}$  – тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, Н;

$v$  – поступательная скорость движения сельскохозяйственной машины, м/с.

Для измерения тягового сопротивления  $R_{м}$ , кН, прицепных сельскохозяйственных машин можно использовать динамометр растяжения, однако, для определения тягового сопротивления полуприцепных, полунавесных и навесных сельскохозяйственных машин, трактор необходимо оборудовать специальным устройством для преобразования сил, возникающих в продольно-горизонтальной плоскости между трактором и машиной – орудием, и приведения их результирующей к одной точке, в которой она воспринимается первичным измерительным преобразователем и регистрируется измерительной информационной системой, установленной в кабине трактора.

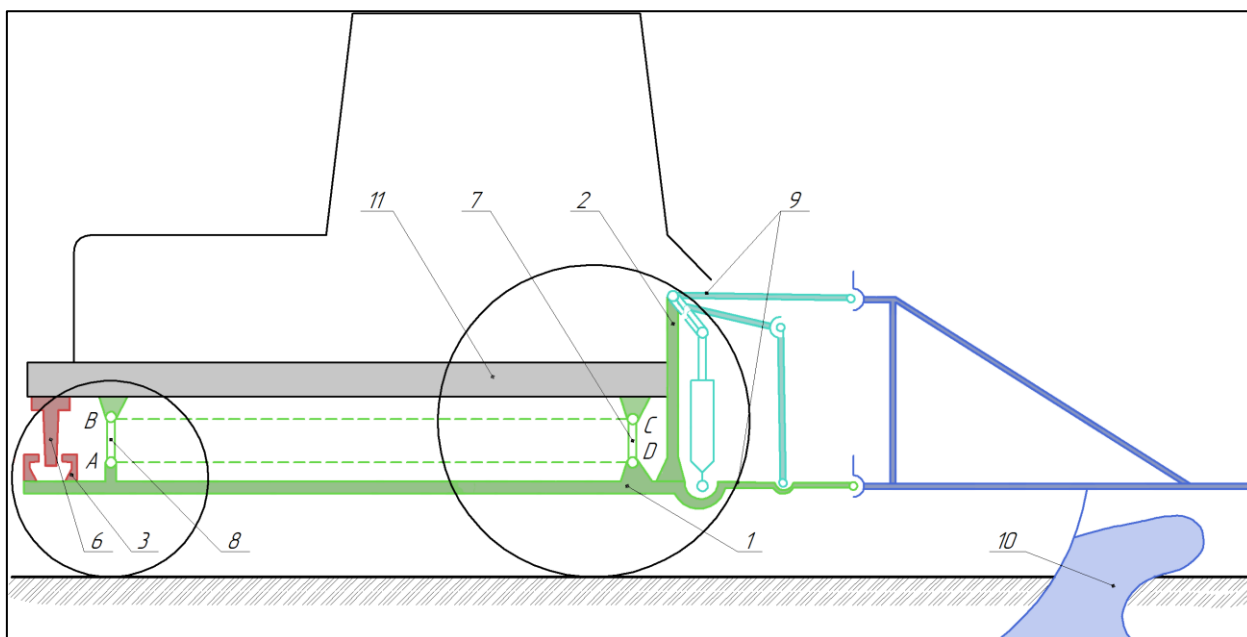
Кинематическая схема подобных устройств (рисунки 4, 5) может представлять собой маятниковый четырехзвенник ABCD, плечо АД которого является несущей подвижной рамой 1, подвешенной на задней полураме трактора ВС, на заднем СД 7 и переднем АВ 8 маятниковых узлах. Несущая рама является базовым элементом, на котором крепятся кронштейны гидроцилиндров 2, подвижный замок 5 серьги первичного преобразователя силы 6, заднее навесное устройство трактора 9 с подсоединяемым к нему рабочим орудием 10. Положение нижних тяг навески (угол тяги) должно быть постоянным и параллельным поверхности опоры трактора.

К остову рамы (задней полурамы для тракторов с шарнирно-ломающейся рамой) 11 трактора в передней ее части приваривается тягово-цепной механизм 3, удерживающий неподвижный брус 4 с неподвижным замком 5 серьги первичного измерительного преобразователя, устанавливаемого между подвижным и неподвижным замками.



- 1 – несущая рама; 2 – кронштейны цилиндров; 3 – тягово-цепной механизм; 4 – брус;  
 5 – замок; 6 – первичный измерительный преобразователь; 7 – задний маятниковый  
 узел; 8 – передний маятниковый узел; 9 – заднее навесное устройство;  
 10 – машина – орудие; 11 – полурама трактора задняя

Рисунок 4 – Кинематическая схема устройства для измерения тягового сопротивления машины (для тракторов нетрадиционной компоновки с шарнирно-ломающейся рамой)



- 1 – несущая рама; 2 – кронштейны цилиндров; 3 – тягово-сцепной механизм; 6 – первичный измерительный преобразователь консольного типа; 7 – задний маятниковый узел; 8 – передний маятниковый узел; 9 – заднее навесное устройство;  
10 – машина – орудие; 11 – рама трактора

Рисунок 5 – Кинематическая схема устройства для измерения тягового сопротивления машины (для тракторов традиционной (классической) компоновки)

Поступательную скорость движения  $v$ , м/с, вычисляют по формуле

$$v = \frac{S}{t}, \quad (4)$$

где  $S$  – длина пути, пройденного сельскохозяйственным агрегатом за время измерения, м;

$t$  – время измерения, с.

Для определения длины пути, опытный участок разбивается на необходимое количество гонов равной фиксированной длины, либо используется специальное путеизмерительное устройство. На практике, в большинстве случаев, в качестве путеизмерителя применяется «пятое колесо» – устройство, представляющее собой свободно катящееся по колее трактора колесо, оснащенное датчиком угла поворота (рисунки 6, 7).

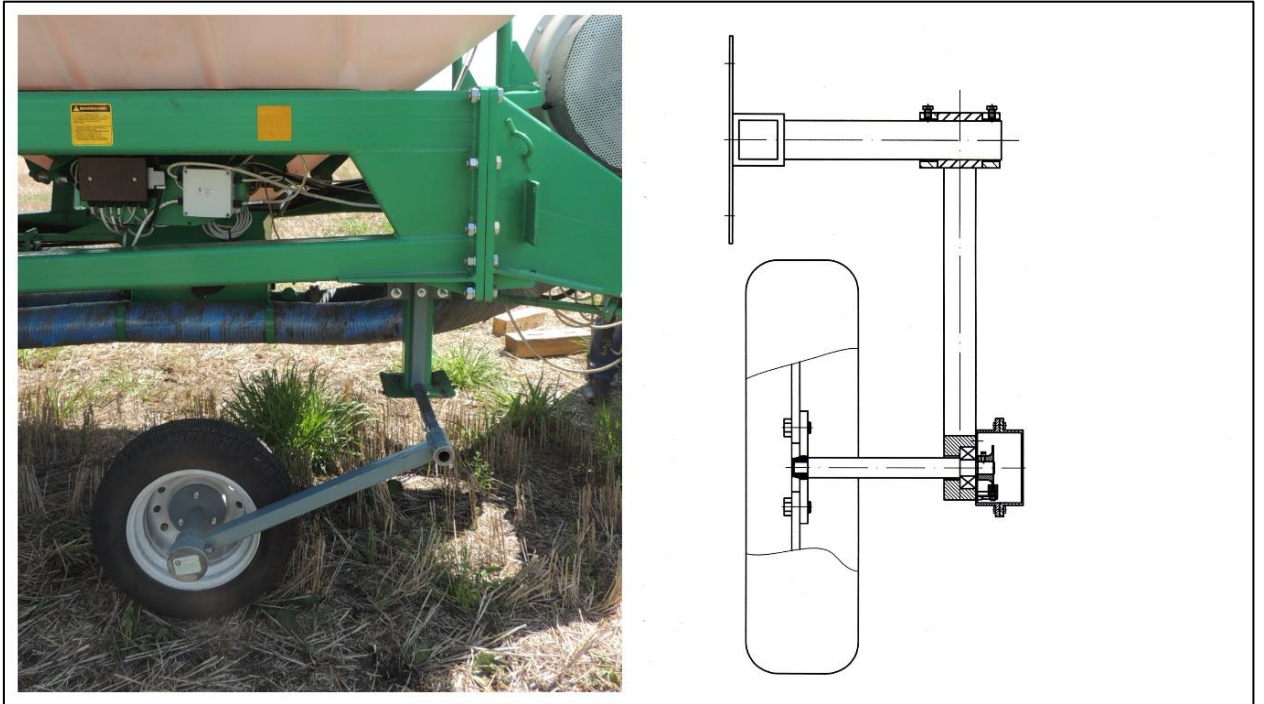
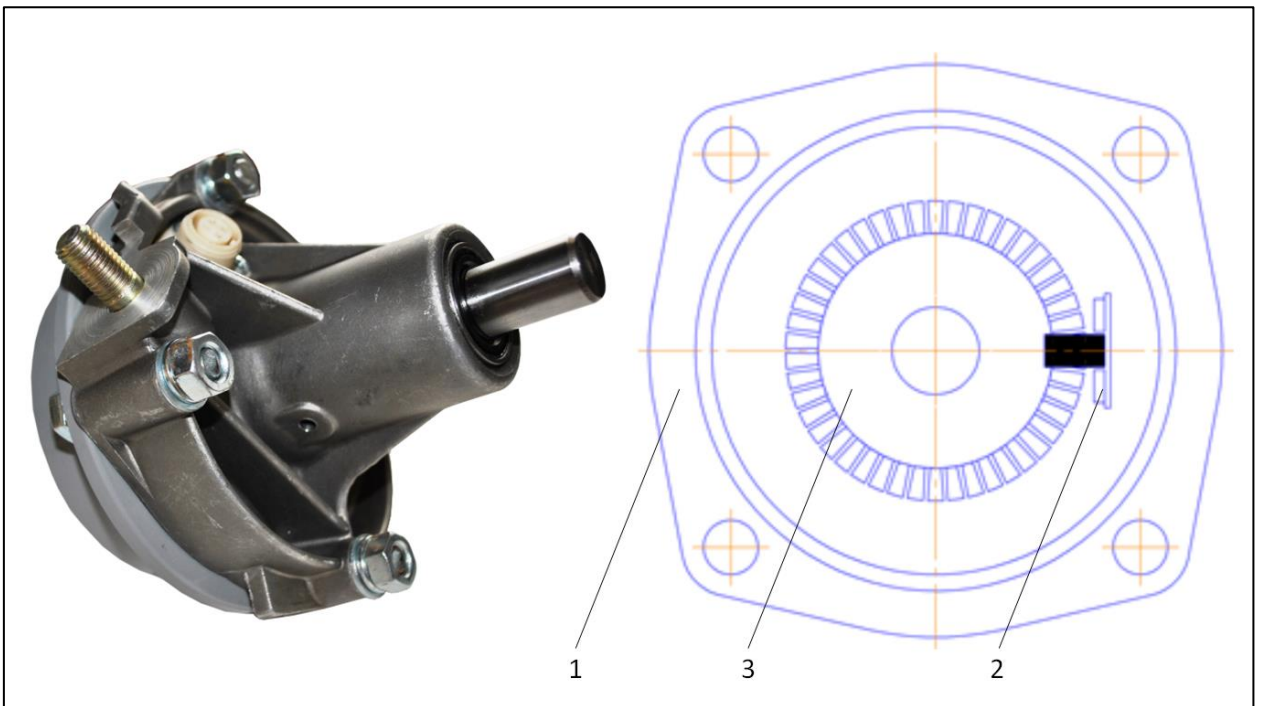


Рисунок 6 – Путеизмеритель ИП-266 разработки КубНИИТиМ



1 – корпус датчика; 2 – оптический элемент; 3 – диск с вырезами

Рисунок 7 – Датчик угла поворота колес ИП-268 разработки КубНИИТиМ

Основным элементом датчика угла поворота является диск с фрезерованными через одинаковый угол вырезами 3. Как правило, диск имеет 24 или 45 вырезов. Соответственно, точность (дискретность) датчика составляет  $15^\circ$  или  $8^\circ$ . Диск соединен гибкой муфтой со ступицей колеса и вращается вместе с ней. Корпус датчика 1 фиксируется неподвижно. Скорость вращения диска и, соответственно, колеса определяется количеством электрических импульсов за единицу времени, формируемых электронной схемой датчика при прохождении вырезов через оптическую пару 2. Электрические импульсы от датчика передаются по проводам и фиксируются в измерительной информационной системе, где измеряется их период или количество за определенный временной интервал и рассчитывается угловая скорость и частота вращения ротора датчика и, соответственно, путь, пройденный колесом.

Если датчики угла поворота установить на ведущие колеса трактора (рисунок 8), то предоставляется возможность определения коэффициента буксования движителей трактора [15]–[23].



Рисунок 8 – Установка датчиков угла поворота на ведущие колеса тракторов.



В этом случае, коэффициент буксования  $\delta$ , %, вычисляется по формуле

$$\delta = \frac{1}{n_{\text{в.д.}}} \sum_{i=1}^{n_{\text{в.д.}}} \left( 1 - K_i \frac{I_s}{I_i} \right) 10^2, \quad (5)$$

где  $n_{\text{в.д.}}$  – количество ведущих движителей;

$I_s$  – количество импульсов датчика путеизмерителя, ед.;

$I_i$  – количество импульсов датчика  $i$ -го ведущего движителя, ед.;

$K_i$  – коэффициент  $i$ -го ведущего движителя, полученный при проезде трактора без нагрузки (с нулевым буксованием) по участку фиксированной длины с ровным покрытием.

Для сельскохозяйственных машин с активными рабочими органами с приводом от ВОМ трактора или гидравлическим приводом, формула (2) примет вид

$$N_{\text{м}} = 10^{-3} Rv + 1,047 \cdot 10^{-4} M_{\text{ВОМ}} n_{\text{ВОМ}}, \quad (6)$$

$$N_{\text{м}} = 10^{-3} Rv + \Delta p Q_{\text{ж}}, \quad (7)$$

где  $M_{\text{ВОМ}}$  – крутящий момент на хвостовике ВОМ, Н·м;

$n_{\text{ВОМ}}$  – частота вращения хвостовика ВОМ, мин<sup>-1</sup>;

$\Delta p$  – перепад давлений между входящей и выходящей гидравлическими линиями привода, МПа;

$Q_{\text{ж}}$  – расход рабочей жидкости, дм<sup>3</sup>/с.

Мощность  $N_{\text{т.с}}$  можно определить как

$$N_{\text{т.с}} = 10^{-3} R_{\text{т.с}} v + N_{\text{б}} + N_{\text{м.п}}, \quad (8)$$

где  $R_{т.с}$  – тяговое сопротивление, оказываемое трактором, при его буксировании с поступательной скоростью  $v$ , Н;

$N_б$  – мощность, необходимая на преодоление буксования двигателей трактора при тяговом усилии на крюке  $R_м$ , кВт;

$N_{м.п}$  – мощность, затрачиваемая на преодоление механических потерь в трансмиссии трактора, кВт.

Также, если обеспечить возможность буксирования всего МТА при выполнении технологического процесса, общую мощность  $N_{т.а}$  можно определить, как

$$N_{т.а} = 10^{-3}v(R_{т.а} - R_{т.с}) + N_б + N_{м.п}, \quad (9)$$

где  $R_{т.а}$  – тяговое сопротивление, оказываемое агрегатом, при его буксировании с поступательной скоростью  $v$ , Н.

Для определения крутящего момента на ВОМ, трактор необходимо оборудовать специализированным датчиком-преобразователем крутящего момента (рисунок 9) [24].



Рисунок 9 – Датчик-преобразователь крутящего момента на ВОМ тракторов модель 425 РТО производства фирмы Datum Electronics Limited

Практическую сложность при определении мощности трактора по формулам (8), (9) представляет измерение мощности, необходимой для преодоления буксования  $N_{\text{б}}$ , кВт, и мощности механических потерь  $N_{\text{м.п}}$ , кВт

$$N_{\text{м.п}} = \frac{N_{\text{в.к}}(1 - \eta_{\text{в.к}})}{\eta_{\text{в.к}}} + \frac{N_{\text{ВОМ}}(1 - \eta_{\text{ВОМ}})}{\eta_{\text{ВОМ}}} + \frac{N_{\text{г}}(1 - \eta_{\text{г}})}{\eta_{\text{г}}}, \quad (10)$$

$$N_{\text{б}} = 0,01N_{\text{в.к}}\delta, \quad (11)$$

где  $N_{\text{ВОМ}}$  – мощность на привод машины от ВОМ, кВт;

$N_{\text{г}}$  – мощность на привод машины от гидросистемы трактора, кВт;

$N_{\text{в.к}}$  – мощность на ведущих органах движителя, кВт;

$\eta_{\text{ВОМ}}, \eta_{\text{г}}, \eta_{\text{в.к}}$  – КПД механических потерь в трансмиссии привода от двигателя к ВОМ, насосу гидросистемы и полуосям ведущих колес соответственно.

Мощность на привод машины от ВОМ  $N_{\text{ВОМ}}$ , кВт, рассчитывается по формуле

$$N_{\text{ВОМ}} = 1,047 \cdot 10^{-4} M_{\text{ВОМ}} n_{\text{ВОМ}}, \quad (12)$$

$n_{\text{ВОМ}}$  – частота вращения ВОМ, мин<sup>-1</sup>.

Мощность на привод машины от гидросистемы трактора  $N_{\text{г}}$ , кВт, рассчитывается аналогично формуле (12) при измерении крутящего момента на приводе гидронасоса трактора.

Мощность на ведущих органах движителя  $N_{\text{в.к}}$ , кВт, рассчитывается аналогично формуле (12) при измерении крутящего момента на полуосях ведущих колес.

ГОСТ Р 52777 [1] допускает определение мощности  $N_{\text{т.с}}$ , кВт, по зависимости эксплуатационной мощности двигателя трактора  $N_{\text{эксп}}$ , кВт, полученной

при определении его регуляторной характеристики по ГОСТ 7057 [25] и ГОСТ 18509 [26] от часового расхода топлива по формуле

$$N_{т.с} = N_{эксп}(G_{ТХХ}, n_{д}), \quad (13)$$

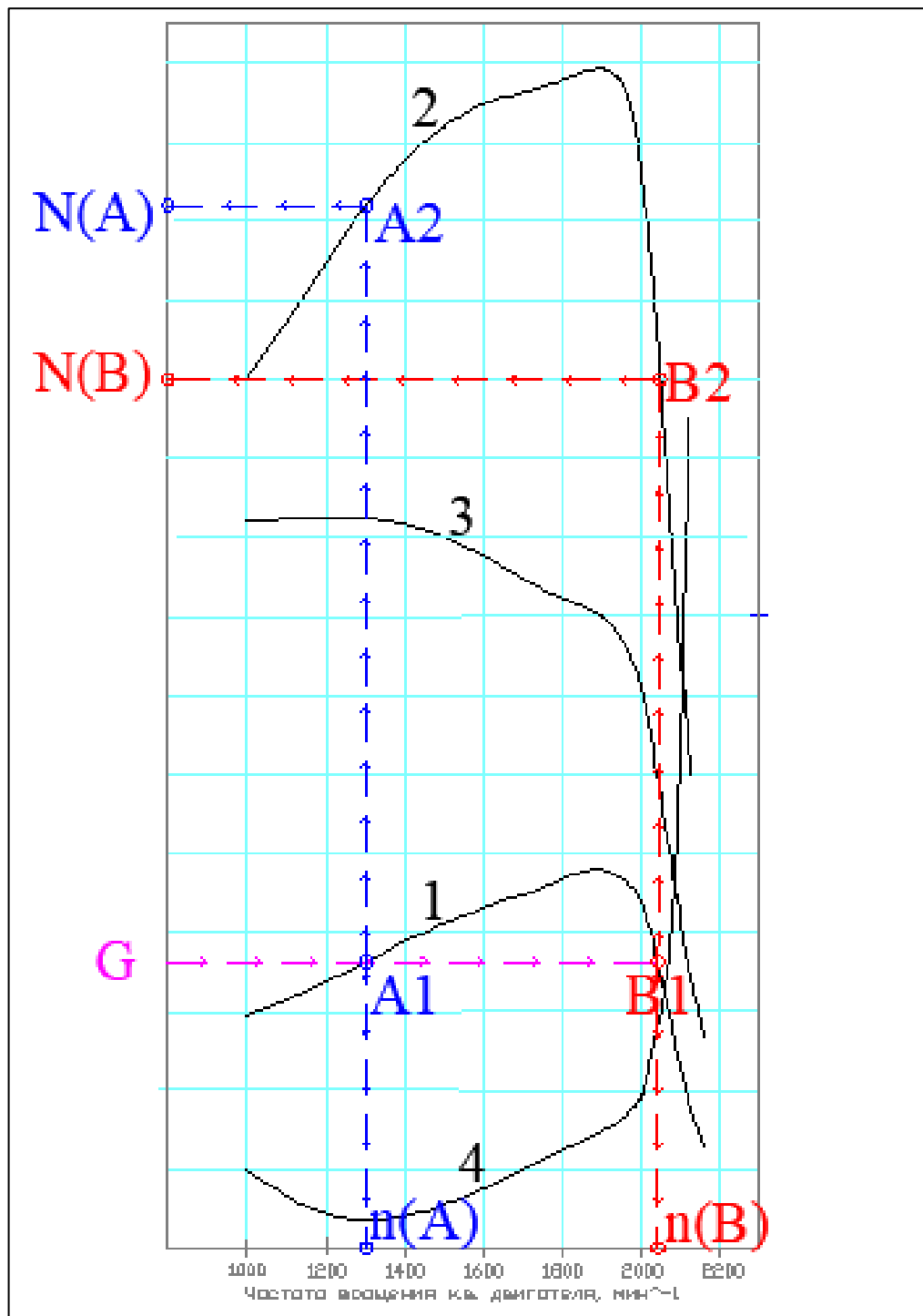
где  $G_{ТХХ}$  – часовой расход топлива, определенный при движении трактора с поступательной скоростью  $v$  без сельскохозяйственной машины, кг/ч;  
 $n_{д}$  – частота вращения коленчатого вала двигателя трактора, мин<sup>-1</sup>.

Для этого, на графике, полученном при определении регуляторной характеристики двигателя трактора (рисунок 10), из точки  $G$ , соответствующей расходу топлива  $G_{ТХХ}$ , кг/ч, параллельно оси абсцисс откладывается луч до пересечения с кривой графика расхода топлива. В случае, если луч пересекает график в 2-х точках (точки  $A1$  и  $B1$  на рисунке 10), выбирается та из них, которая соответствует измеренной во время опыта частоте вращения коленчатого вала двигателя  $n_{д}$  (точка  $n(A)$  или точка  $n(B)$  на рисунке 9), далее из этой точки, параллельно оси ординат, откладывается луч до пересечения с графиком эксплуатационной мощности (точка  $A2$  или  $B2$  на рисунке 9). Значение ординаты этой точки ( $N(A)$  или  $N(B)$  на рисунке 10) принимается равным мощности на самопередвижение  $N_{т.с}$  трактора.

Аналогичным образом, ГОСТ Р 52777 [1] допускает определение мощности  $N_{т.а}$ , кВт, затрачиваемой машинно-тракторным агрегатом при выполнении технологических операций. В этом случае, формула (13) примет вид

$$N_{т.а} = N_{эксп}(G_{Та}, n_{д}), \quad (14)$$

где  $G_{Та}$  – часовой расход топлива, определенный при выполнении агрегатом технологического процесса с поступательной скоростью  $v$ , кг/ч.



1 – график расхода топлива двигателя в функции частоты вращения к.в.; 2 – график эксплуатационной мощности двигателя в функции частоты вращения к.в.; 3 – график крутящего момента в функции частоты вращения к.в.; 4 – график удельного расхода топлива в функции частоты вращения к.в.

Рисунок 10 – Определение мощности  $N_{T.C}$  по зависимости эксплуатационной мощности двигателя трактора  $N_{\text{эксп}}$ , полученной при определении его регуляторной характеристики от часового расхода топлива

Тяговое сопротивление машины  $R_M$ , Н, можно вычислить по формуле

$$R_M = \frac{(N_{T.a} - N_{T.c} - N_{BOM} - N_G)}{v} 10^3, \quad (15)$$

где  $N_{BOM} = N_{эксп}(G_{T_{BOM}}, n_d)$  – мощность, потребляемая на привод рабочих органов от ВОМ трактора, кВт;

$N_G = N_{эксп}(G_{TG}, n_d)$  – мощность, потребляемая на привод рабочих органов от гидросистемы трактора, кВт;

$G_{T_{BOM}}$  – расход топлива, измеренный при выполнении технологического процесса рабочими органами с приводом от ВОМ при скорости поступательного движения агрегата  $v = 0$ , кг/ч;

$G_{TG}$  – расход топлива, измеренный при выполнении технологического процесса рабочими органами с приводом от гидросистемы трактора при скорости поступательного движения агрегата  $v = 0$ , кг/ч;

Следует отметить, что мощность на самопередвижение трактора  $N_{T.c}$ , кВт, определенная по методу измерения расхода топлива по формуле (13) не учитывает мощности потерь на буксование  $N_6$ , кВт, поскольку при холстом (без нагрузки на тягово-сцепном устройстве трактора) проезде, буксование ведущих движителей пренебрежимо мало и принимается равным нулю. Это соответственно вносит дополнительную погрешность при определении тягового сопротивления сельскохозяйственной машины по формуле (15), однако методика [1] данной погрешностью пренебрегает.

Часовой расход топлива  $G_T$ , измеряется расходомером (рисунки 11–13), предварительно установленным на трактор и определяется по формуле

$$G_T = 3,6 \frac{V_T \rho}{t}, \quad (16)$$

где  $V_T$  – объем топлива, израсходованного двигателем трактора за время измерения,  $\text{см}^3$ ;

$\rho$  – плотность топлива при стандартной температуре,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;

$t$  – время измерения, с.



1 – датчик расходомера; 2 – электронный блок регистрации сигналов датчика

Рисунок 11 – Однопоточный расходомер топлива ИП-179 разработки КубНИИТиМ



1 – датчик расходомера; 2 – электронный блок регистрации сигналов датчика

Рисунок 12 – Однопоточный расходомер топлива ИП-204 разработки КубНИИТиМ

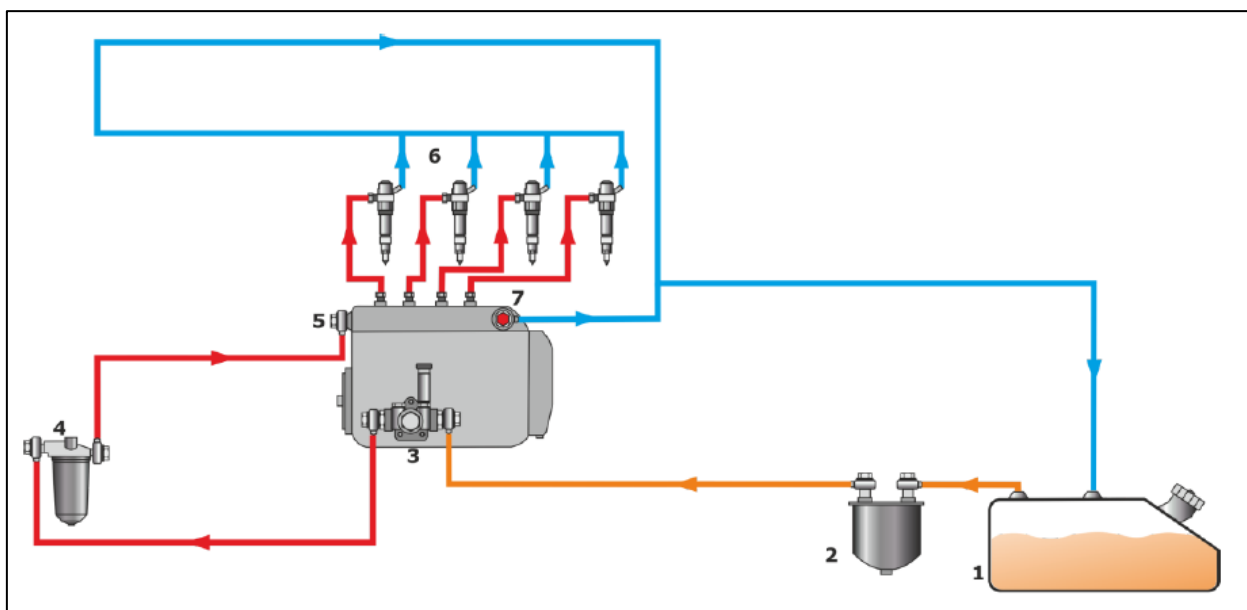


1 – датчик расходомера; 2 – электронный блок регистрации сигналов датчика;  
3 – теплообменник

Рисунок 13 – Двухпоточный дифференциальный расходомер топлива ИП-260 разработки КубНИИТиМ



Для целей энергетической оценки применяются объемные расходомеры проточного типа [27], которые встраиваются в топливную магистраль системы питания двигателя (рисунок 14). Системы питания современных дизельных двигателей довольно широко варьируются по конструкции, параметрам работы и т.п., но все они представляют из себя отдельную топливную аппаратуру, состоящую из систем низкого и высокого давления. Система низкого давления включает в себя топливный бак 1, фильтры предварительной 2 и тонкой 4 очистки топлива, ТННД 3 и топливопроводы низкого давления. Система высокого давления состоит из топливного насоса высокого давления 5, форсунок 6 и топливопроводов высокого давления. В топливных аппаратах с насос-форсунками система высокого давления объединена в один корпус для каждого цилиндра, а в системах типа «Common Rail» в топливную систему высокого давления, между ТНВД и форсунками включен еще один элемент – топливная рампа.



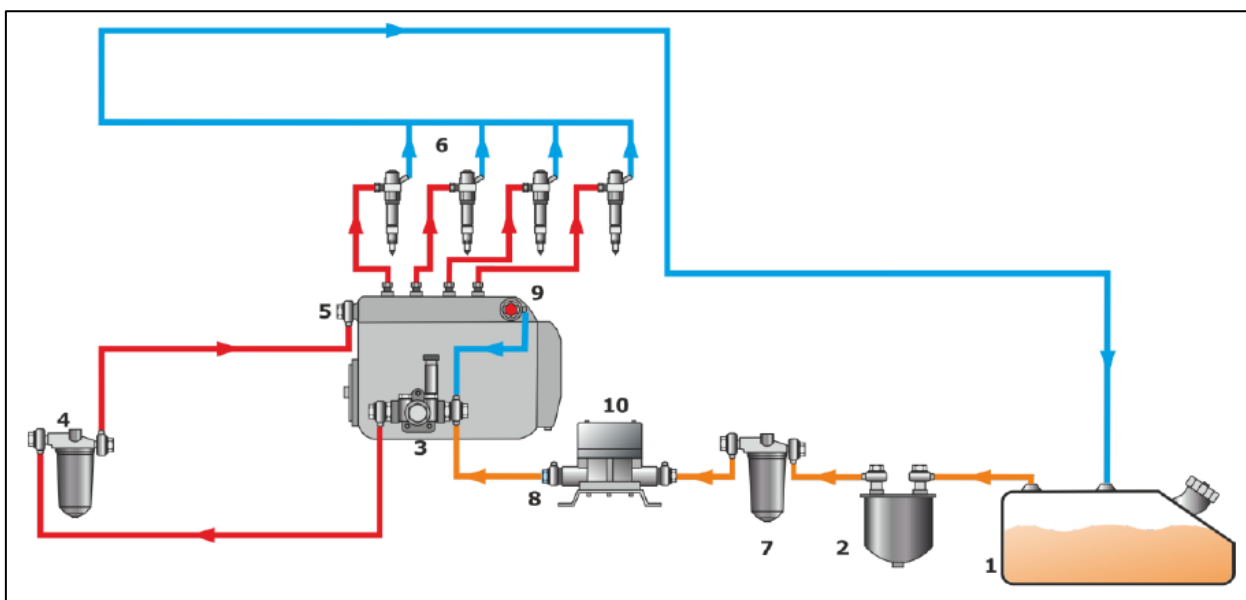
- 1 – топливный бак; 2 – фильтр грубой очистки топлива;  
 3 – топливный насос низкого давления; 4 – фильтр тонкой очистки топлива;  
 5 – топливный насос высокого давления; 6 – форсунки

Рисунок 14 – Система питания дизельного двигателя

Топливо из бака 1 по трубопроводам и через фильтр предварительной очистки топлива 2, топливным насосом низкого давления 3 подается по топливопроводу к фильтру тонкой очистки топлива 4, а из него – в питающую полость насоса высокого давления 5, затем по трубопроводу высокого давления в форсунку 6, а из форсунки впрыскивается в камеру сгорания. Топливный насос низкого давления качает на вход топливного насоса высокого давления значительно больший объем топлива, чем расходуется в любом из режимов работы двигателя, поэтому избыток топлива из питающей полости ТНВД и после форсунок по топливопроводу направляется обратно в топливный бак.

Для измерения расхода топлива однопоточным расходомером необходимо обеспечить, чтобы через измерительный датчик протекал только тот объем топлива, который потребляется двигателем. Для выполнения данного условия требуется изменение стандартной схемы топливоподачи. Имеется два возможных варианта установки однопоточного расходомера: установка «на разрежение» и установка «на давление».

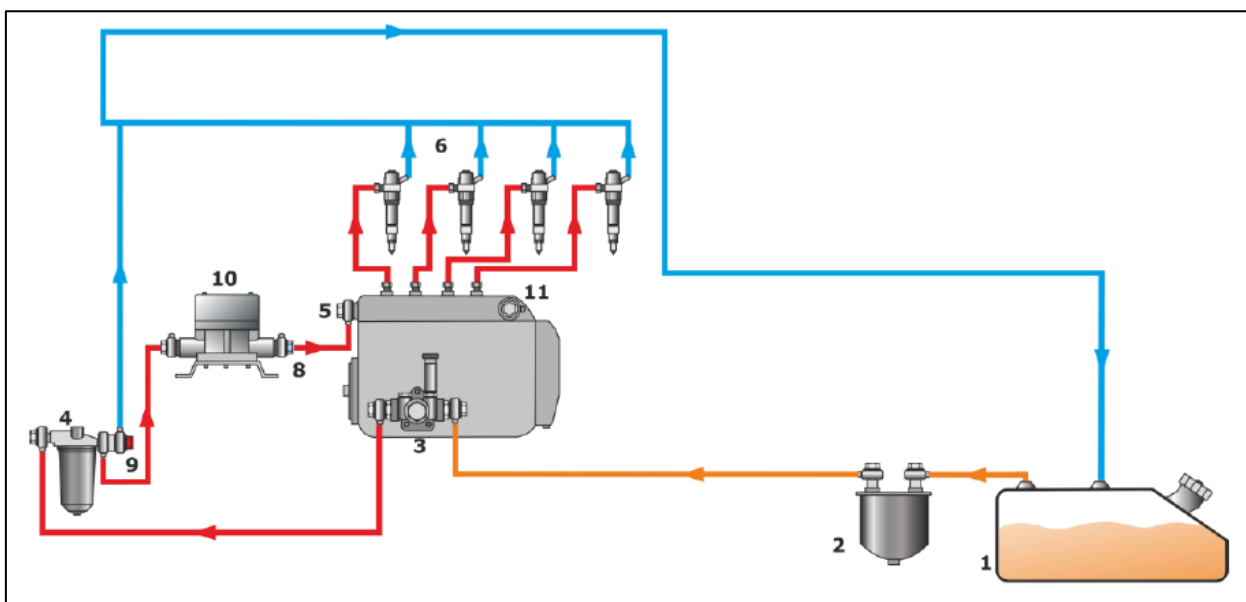
При установке расходомера топлива «на разрежение» (рисунок 15), используется участок топливопровода между фильтром предварительной очистки и входом топливного насоса низкого давления, а для предотвращения измерения объема топлива, возвращаемого в бак, схема обратного трубопровода изменяется таким образом, что излишки топлива из питающей полости ТНВД подаются на вход ТННД. Исключением из измерения излишков топлива после форсунок обычно пренебрегают, считая, что на исправных форсунках, объем топлива, сливаемого в бак, не превышает 0,1 % от общего расхода топлива. Кроме того, для обеспечения работы такой измененной топливной системы, на выходе ТНВД необходимо установить перепускной клапан 9, позволяющий поддерживать рабочее давление в питающей полости ТНВД. А на выходе расходомера – обратный клапан 8, который должен предотвратить протекание топлива через расходомер в обратном направлении и снизить влияние гидроудара на работу расходомера.



1 – топливный бак; 2 – фильтр предварительной очистки топлива; 3 – топливный насос низкого давления; 4 – фильтр тонкой очистки топлива; 5 – топливный насос высокого давления; 6 – форсунки; 7 – дополнительный фильтр тонкой очистки; 8 – обратный клапан; 9 – перепускной клапан; 10 – расходомер

Рисунок 15 – Схема установки расходомера «на разрезе»

Для установки однопоточного расходомера «на давление» в топливную систему двигателя (рисунок 16), необходимо использовать участок топливопровода между фильтром тонкой очистки и входом ТНВД. Обратная топливная магистраль ТНВД при этом необходимо также изменить на циркуляцию по малому кругу, однако в этом случае, обратная магистраль с выхода ТНВД переносится на выход из фильтра тонкой очистки топлива, а на выход из ТНВД устанавливается заглушка. Для обеспечения работоспособности топливной системы с такими изменениями, на выход фильтра тонкой очистки топлива необходимо поставить перепускной клапан, отрегулированный таким образом, чтобы он поддерживал постоянное необходимое давление на участке «фильтр тонкой очистки – вход топливного насоса высокого давления». Как и в случае установки «на разрезе», на выход расходомера нужно также установить обратный клапан, а излишки топлива после форсунок не исключаются.



1 – топливный бак; 2 – фильтр предварительной очистки топлива; 3 – топливный насос низкого давления; 4 – фильтр тонкой очистки топлива; 5 – топливный насос высокого давления; 6 – форсунки; 7 – дополнительный фильтр тонкой очистки; 8 – обратный клапан; 9 – перепускной клапан; 10 – расходомер; 11 – заглушка

Рисунок 16 – Схема установки расходомера «на давление»

Как видно, оба описанных варианта подключения требуют существенного изменения штатной схемы топливоподачи двигателя, что приводит к:

- повышению нагрузки на топливный насос низкого давления;
- ухудшению охлаждения топливного насоса высокого давления;
- нарушению температурного режима топлива (топливо в баке не подогревается, а в питающей полости топливного насоса высокого давления наоборот, излишне нагревается, что в первом случае критически влияет на работоспособность трактора при низких температурах окружающей среды, а во втором – приводит к снижению мощности двигателя);

- нарушению режима удаления паровоздушной смеси из топливной магистрали и питающей полости топливного насоса высокого давления, что приводит к снижению мощности, повышению неравномерности либо полному прекращению работы двигателя, ускорению выхода из строя деталей топливной аппаратуры и кривошипно-шатунного механизма двигателя.

Кроме того, установка расходомеров по данным схемам подключения невозможна на топливные системы типа «Common Rail» и, в большинстве случаев, на топливные системы с насос-форсунками.

Более предпочтительным вариантом является установка двух расходомеров: один на подающую магистраль системы питания двигателя, а второй – на сливную. В этом случае, расход топлива, потребленного двигателем будет рассчитываться как разница между количеством топлива, прошедшим через расходомер, установленный на подающей топливной магистрали и количеством топлива, вернувшимся в топливный бак через расходомер, установленный на сливной магистрали топливной системы и формула (16) примет вид

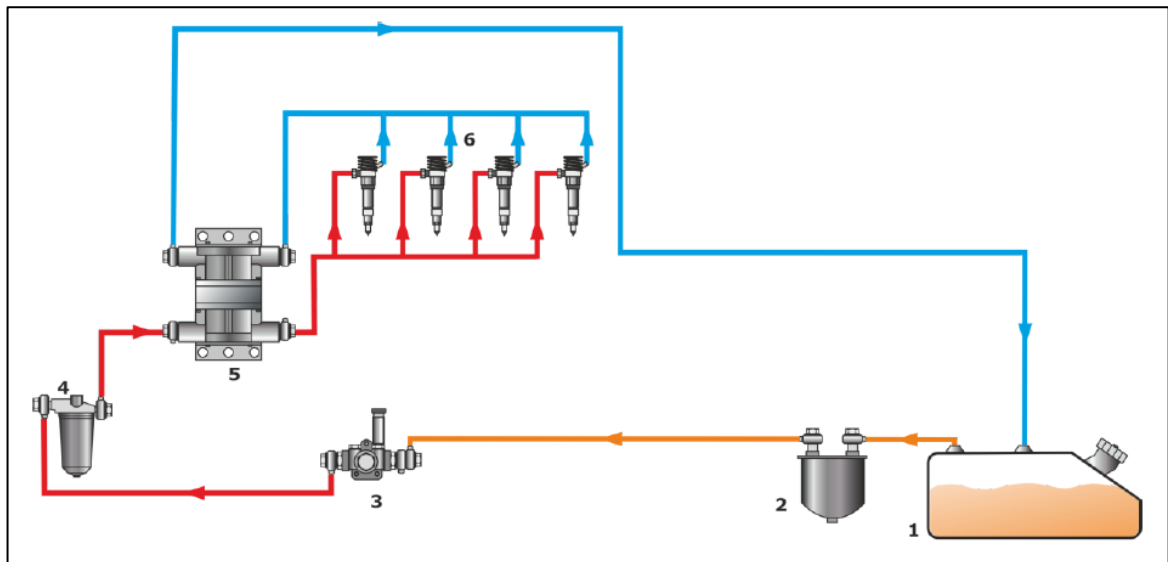
$$G_T = 3,6 \frac{(V_1 - V_2)\rho}{t}, \quad (17)$$

где  $t$  – время измерения, с;

$V_1$  и  $V_2$  – объем топлива, прошедшего через подающую и сливную магистрали соответственно, за время измерения, см<sup>3</sup>;

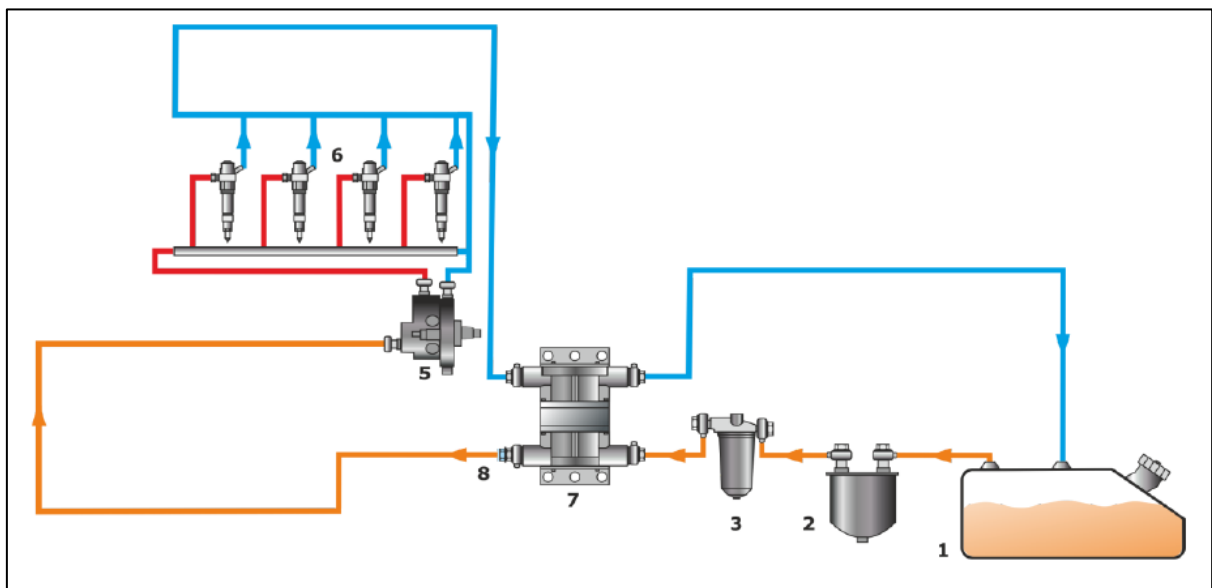
$\rho$  – плотность топлива при стандартной температуре, г/см<sup>3</sup>.

Зачастую, два расходомера (на подающую и сливную магистраль) объединяют в одном корпусе, такие расходомеры называют двухпоточными или дифференциальными (рисунок 13). Схемы установки в этом случае, также могут быть «на давление» или «на разрежение» (рисунки 17, 18). Эти схемы установки актуальны и для варианта с двумя однопоточными расходомерами и для варианта с одним двухпоточным (дифференциальным) расходомером. Различие заключается в месте подключения «подающего» расходомера («подающей» секции двухпоточного расходомера), «сливной» же расходомер («сливная» секция двухпоточного расходомера) всегда устанавливается на участке сливной магистрали «выход ТНВД – топливный бак». Вариант установки «на давление» применяется для установки в топливную систему с насос-форсунками, вариант «на разрежение» – только для установки в топливную систему типа «Common Rail».



- 1 – топливный бак; 2 – фильтр предварительной очистки топлива;  
 3 – топливный насос низкого давления; 4 – фильтр тонкой очистки топлива;  
 5 – двухпоточный (дифференциальный) расходомер; 6 – насос-форсунки

Рисунок 17 – Схема установки двухпоточного (дифференциального) расходомера «на давление» в топливную систему с насос-форсунками



- 1 – топливный бак; 2 – фильтр предварительной очистки топлива; 3 – фильтр тонкой очистки топлива; 5 – топливный насос высокого давления; 6 – форсунки;  
 7 – двухпоточный (дифференциальный) расходомер; 8 – обратный клапан

Рисунок 18 – Схема установки двухпоточного (дифференциального) расходомера «на разрежение» в топливную систему типа «Common Rail»

При установке двух однопоточных (либо одного двухпоточного) расходомеров, поскольку не изменяется штатная схема топливной магистрали двигателя, снижаются дополнительные нагрузки на топливный насос, не изменяются штатные температурные режимы топлива и деталей топливной аппаратуры, не происходит «завоздушивания» топливной магистрали паровоздушной смесью, однако и этот способ измерения расхода топлива имеет существенные недостатки и ограничения:

1) топливо, проходящее через «подающий» расходомер (секцию дифференциального расходомера) и через «сливной» расходомер (секцию дифференциального расходомера) имеет разницу в температурах, которая, в определенных условиях, может достигать 50 °С и более. Соответственно, при значении температурного коэффициента теплового расширения  $0,0012 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , ошибка в расчетах разности в объеме топлива прошедшем через «подающий» и «сливной» расходомеры может достигать 6 % и более. При обычной, для двигателей сельскохозяйственных тракторов, производительности топливных насосов 200-300 л/ч эта ошибка может превышать 12-18 л/ч. Для решения данной проблемы, могут устанавливаться дополнительные теплообменники 3 (рисунок 13), назначением которых является снижение разницы в температурах топлива поступающего на вход «подающего» и «сливного» расходомеров, измерение температуры топлива в измерительной камере расходомеров и внесение соответствующих поправок в расчет и т. п.;

2) при установке двух расходомеров, соответственно в 2 раза увеличивается погрешность определения количества топлива, израсходованного двигателем.

Все перечисленные особенности, связанные с установкой и эксплуатацией расходомеров на тракторы, существенно ограничивают, и в определенных случаях делают невозможным определение мощности  $N_{\text{т.а}}$ , кВт, и составляющих мощностного баланса МТА по формулам (13)–(15).

Таким образом, можно выделить три основных существующих метода определения энергетических параметров работы машинно-тракторных агрегатов:

1) Метод тензометрирования. Этот метод устанавливает определение показателей тягового и мощностного балансов МТА прямым измерением. На текущий момент этот метод является самым точным и предоставляет возможность получения наиболее полной кинематически-силовой картины работы МТА, с теоретически неограниченным уровнем поэлементной детализации. Это единственный из перечисленных методов, позволяющий определять не только усредненные, но и мгновенные значения измеряемых параметров без потери точности. Однако практическое применение данного метода ограничено сложностью и стоимостью переоборудования энергосредства, которая может превысить стоимость самого трактора.

2) Метод буксирования. Этот метод устанавливает определение среднего тягового сопротивления машины и предполагает наличие трактора – «тягача». Несмотря на кажущуюся доступность с технической точки зрения, этот метод довольно редко применяется в чистом виде, поскольку обладает низкой точностью, информативностью и детализацией процесса, не позволяет в точности воспроизвести тягово-динамическую картину самостоятельной работы МТА при выполнении технологических операций.

3) Определение показателей по расходу топлива. Этот метод устанавливает определение средней за опыт реализуемой мощности двигателя трактора при выполнении технологического процесса по фактическому расходу топлива и предусматривает наличие конкретной для используемого двигателя зависимости между расходом топлива и мощностью двигателя. До недавнего времени этот метод был наиболее широко распространен в случаях, когда не требуется определение динамического характера изменения составляющих тягово-мощностного баланса машинно-тракторных агрегатов, однако, со все большим распространением электронно-управляемых топливных систем типа



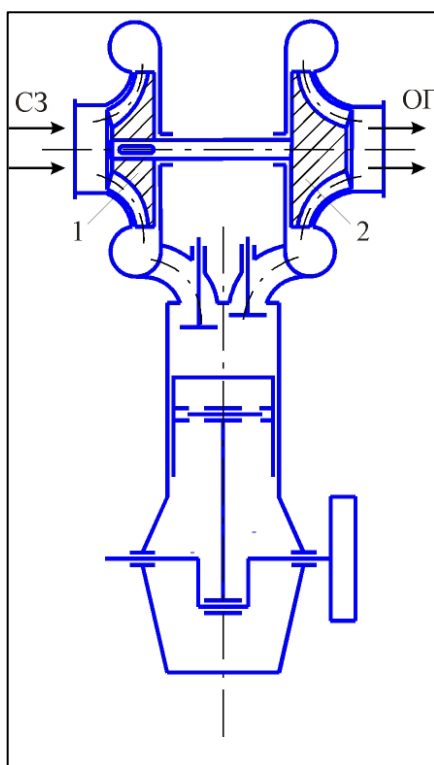
«Common Rail» и систем с насос-форсунками, возможность применения данного метода стала ограничиваться.

На практике, в исследовательских целях и целях испытаний, в зависимости от поставленных задач, технических и финансовых возможностей, применяются комбинации из перечисленных трех основных методических подходов, однако для решения задачи определения в режиме реального времени нагрузочного и скоростного режима работы двигателя МТА, степени и потенциала использования его мощности, не подходит ни один из этих методов, методы расхода топлива и буксирования – в силу невозможности определения мгновенных значений и динамической составляющей измеряемых параметров, а метод тензометрирования – по причине сложности и высокой стоимости.

Таким образом, для решения поставленной задачи, необходима разработка нового метода, позволяющего при доступности и точности подхода, реализуемого в методе расхода топлива, определять мгновенные значения и динамическую составляющую реализуемой мощности трактора при выполнении технологического процесса в составе МТА.

## 2 Теоретическое обоснование метода определения загрузки двигателя по давлению наддува

Современная тенденция развития автотракторных двигателей характеризуется увеличением их полной эффективной и литровой мощностей, снижением удельного расхода топлива и масел, уменьшением металлоемкости и токсичности выбросов отработавших газов, повышением надежности и долговечности. Этим объясняется широкое применение дизелей с газотурбинным наддувом, имеющим промежуточное охлаждение воздуха, поступающего в цилиндры, для повышения наполнения их воздухом [28]. Принципиальная схема двигателя с газотурбинным наддувом приведена на рисунке 19.



1 – колесо компрессора; 2 – колесо турбины

Рисунок 19 – Принципиальная схема двигателя с газотурбинным наддувом

При реализации такой схемы наддува энергия выпускных газов используется для привода колеса турбины, установленного на одном валу с колесом компрессора (нагнетателя). Таким образом, ротор турбокомпрессора вращается с высокой частотой, обеспечивая сжатия и подачу воздуха в цилиндр двигателя. Так как ротор турбокомпрессора при такой схеме кинематически не связан с коленчатым валом, количество подаваемого компрессором воздуха с изменением нагрузки на двигатель тоже изменяется.

Поскольку газовая турбина и нагнетатель имеют с двигателем лишь газовую связь, мощность турбины  $N_T$ , кВт, на любом из установившихся режимов работы равна мощности, расходуемой на привод компрессора  $N_K$ , кВт, а степень понижения давления газов в турбине  $\Pi_T$ , кПа, и степень повышения давления газов в компрессоре  $\Pi_K$ , кПа, взаимосвязаны [29]

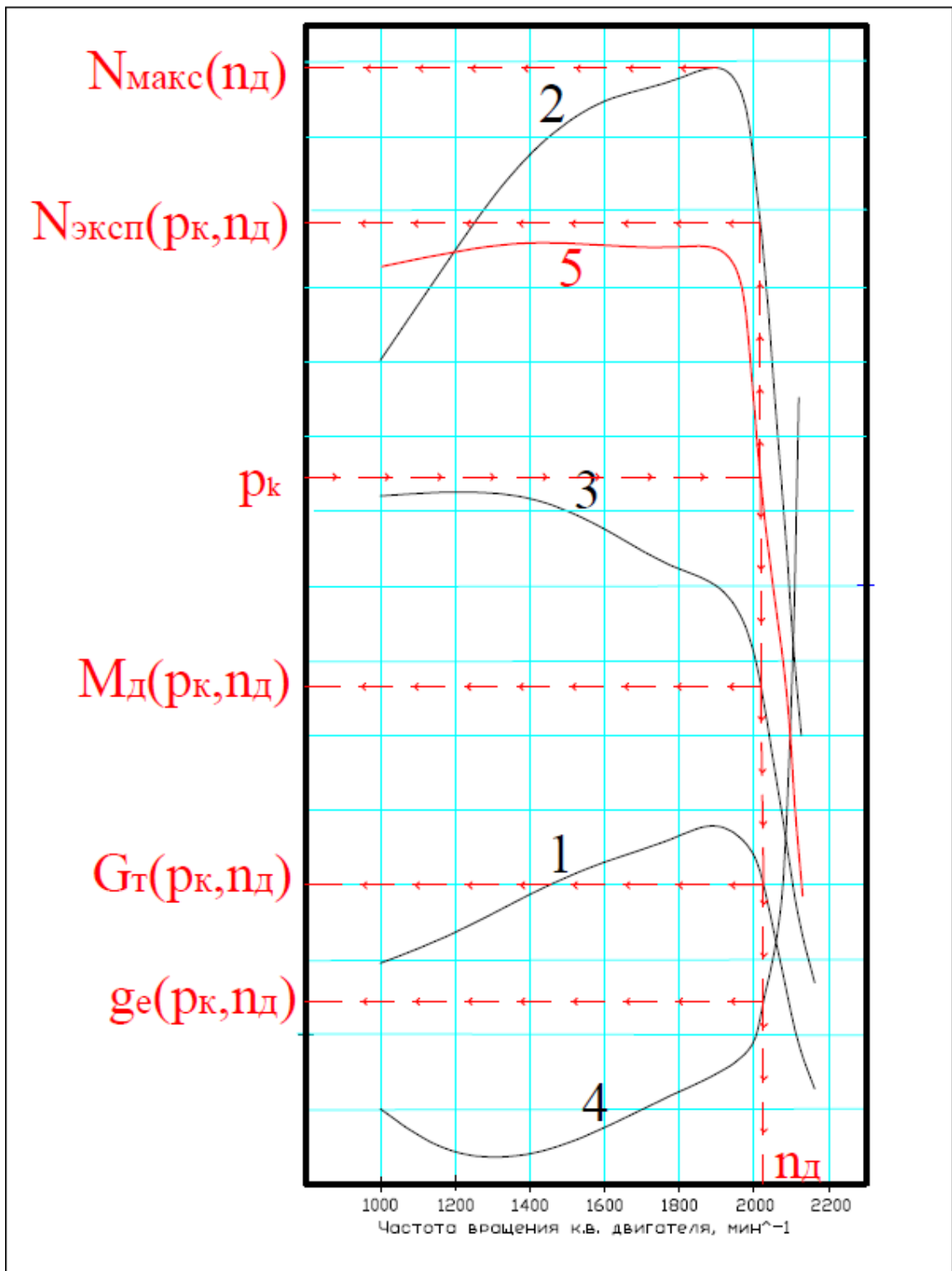
$$\Pi_K^{\frac{k-1}{k}} = 1 + \beta\tau \left[ 1 - \left( \frac{1}{\Pi_T} \right)^{\frac{k_T-1}{k_T}} \right], \quad (18)$$

где  $k, k_T$  – отношение теплоемкостей свежего заряда и выпускных газов соответственно (переменная величина, зависящая от температуры рабочего тела  $T$ , доли выгоревшего воздуха  $x$  и коэффициента избытка воздуха  $\alpha$   $k = \Phi(T, x, \alpha)$ ;

$\beta$  – параметр, определяемый теплофизическими свойствами  $k$  и  $R$  (газовая постоянная) свежего заряда и выпускных газов;

$\tau$  – тактность двигателя (2 или 4).

Таким образом, одним из параметров, характеризующихся наличием устойчивой для используемого двигателя связью с крутящим моментом независимо от скоростного режима работы двигателя, является давление наддува  $p_K$  (рисунок 20).



1 – график расхода топлива двигателя; 2 – график эксплуатационной мощности двигателя; 3 – график крутящего момента; 4 – график удельного расхода топлива; 5 – график давления наддува

Рисунок 20 – Определение показателей работы двигателя по зависимостям, полученным при определении его регуляторной характеристики от давления наддува

Применяя подход измерения давления воздуха во впускном коллекторе, становится возможным определение основных связанных показателей:

- общая потребляемая мощность  $N_{Т.а}$ , кВт, по формуле

$$N_{Т.а} = N_{\text{эксп.}}(p_k, n_d); \quad (19)$$

- расход топлива  $G_{Т.а}$ , кг/ч, по формуле

$$G_{Т.а} = G_T(p_k, n_d); \quad (20)$$

- крутящий момент двигателя  $M_d(p_k, n_d)$ , Н·м;

- удельный расход топлива  $g_d(p_k, n_d)$ , г/кВт·ч;

- коэффициент использования мощности двигателя  $K_N$  по формуле

$$K_N = \frac{N_{\text{эксп.}}(p_k, n_d)}{N_{\text{макс.}}(n_d)}, \quad (21)$$

где  $N_{\text{макс.}}(n_d)$  – максимальная эффективная мощность, развиваемая двигателем при частоте вращения коленчатого вала двигателя  $n_d$ , кВт.

### **3 Экспериментальные исследования**

#### **3.1 Методика экспериментальных исследований**

Для проверки работоспособности нового метода определения загрузки двигателя по давлению наддува в программу полевых исследований включены следующие этапы:

- экспериментальная оценка зависимости давления наддува во впускной магистрали двигателя от нагрузки на трактор во время выполнения технологической операции;
- сравнительная оценка результатов определения энергетических показателей работы МТА по предлагаемому и известным методам;
- оценка возможности применения нового метода определения загрузки двигателя по давлению наддува для выбора оптимального режима работы МТА.

Место проведения исследований – валидационный полигон Новокубанского филиала ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТиМ).

Для реализации поставленных в программе исследований задач необходимо разработать и изготовить:

- устройство измерения давления наддува во впускной магистрали двигателя;
- устройство измерения тягового сопротивления, оказываемого сельскохозяйственным орудием во время выполнения технологической операции;
- измерительно-регистрирующую аппаратуру, обеспечивающую прием, сигналов с первичных преобразователей давления наддува и тягового усилия;
- специализированное программное обеспечение для обработки и сохранения информации, поступающей от первичных преобразователей и измерительно-регистрирующей аппаратуры;

- оборудовать трактор преобразователем давления наддува, устройством измерения тягового сопротивления и измерительно-регистрирующей аппаратурой и провести измерения во время выполнения технологической операции.

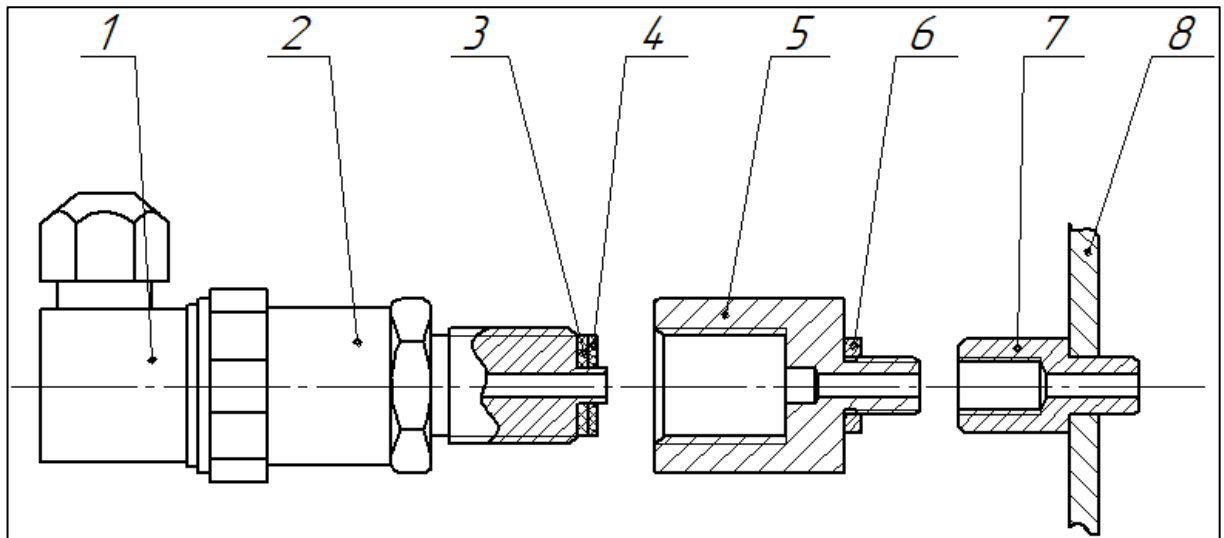
### 3.2 Разработка устройства определения давления наддува во впускной магистрали двигателя

Для измерения давления наддува во впускной магистрали двигателя был приобретен микропроцессорный датчик давления, предназначенный для непрерывного преобразования абсолютного давления измеряемой среды в унифицированный сигнал постоянного тока 4...20 мА ПД100И-ДА1,0-111-0,25 производства компании ОВЕН. Краткая техническая характеристика датчика представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Краткая характеристика датчика давления ОВЕН ПД100И-ДА1,0-111-0,25

Наименование показателя	Значение показателя
Измеряемое давление	Абсолютное
Верхний предел измерений	1,0 МПа
Выходной сигнал постоянного тока	4...20 мА, 2-проводная схема
Основная приведенная погрешность	0,25 % ВПИ
Диапазон рабочих температур измеряемой среды	минус 40...+100 °С
Напряжение питания	12...24 В постоянного тока
Сопротивление нагрузки	0...1,0 кОм (в зависимости от напряжения питания)
Потребляемая мощность	не более 0,8 Вт
Устойчивость к механическим воздействиям	группа исполнения V3 по ГОСТ Р 52931
Степень защиты корпуса	IP65
Устойчивость к климатическим воздействиям	УХЛ3.1
Диапазон рабочих температур окружающего воздуха	минус 40...+80 °С
Атмосферное давление рабочее	66...106,7 кПа

Для подключения датчика ко впускной магистрали двигателя изготовлен специализированный адаптер (рисунки 21, 22).



1 – соединитель угловой; 2 – силоизмерительный тензорезисторный датчик Мерадат К-20Г-10-СЗ; 3 – прокладка уплотнительная резиновая; 4 – прокладка изолирующая бакелитовая; 5 – переходник; 6 – кольцо уплотнительное медное; 7 – вставка; 8 – стенка впускной магистрали двигателя

Рисунок 21 – Адаптер для подключения датчика ПД100И-ДА1,0-111-0,25 к впускной магистрали двигателя

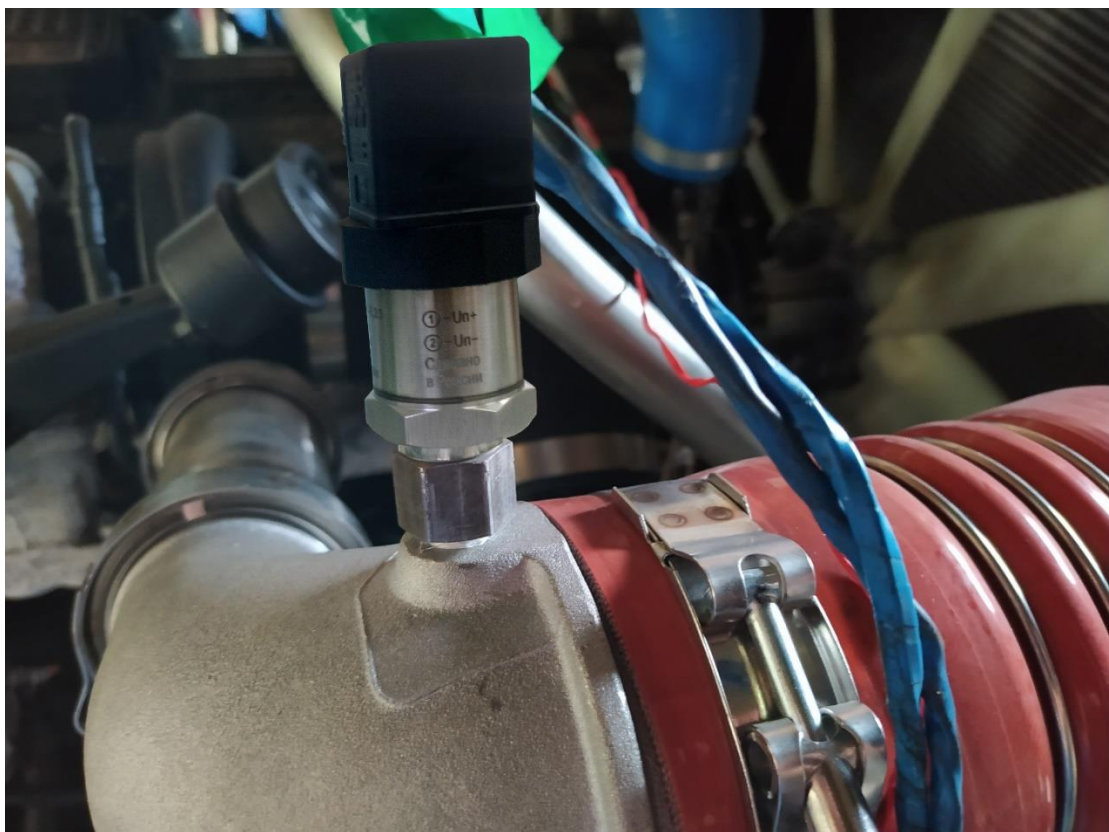


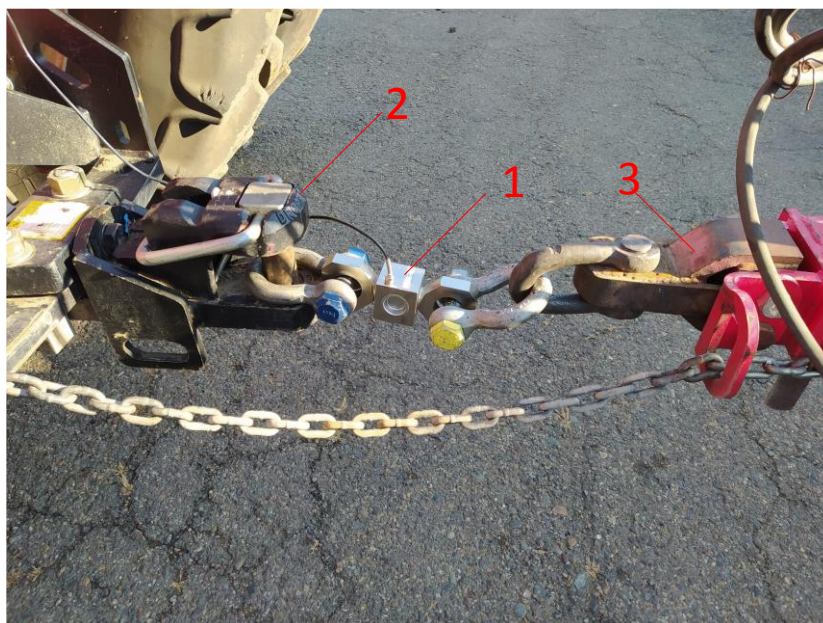
Рисунок 22 – Установка датчика ПД100И-ДА1,0-111-0,25 на впускную магистраль двигателя



### 3.3 Разработка устройства для измерения тягового сопротивления сельскохозяйственного орудия

Для измерения тягового сопротивления сельскохозяйственного орудия применялся силоизмерительный тензорезисторный датчик Мерадат К-20Г-10-С3 производства ООО НПП «Системы контроля».

Датчик предназначен для преобразования воздействующей на него растягивающей силы в нормированный электрический сигнал. Для измерения тягового сопротивления сельскохозяйственного орудия, датчик 1 одним концом присоединяется к ТСУ трактора 2, а другим – к прицепной снице орудия 3 (рисунок 23). Измеряемое усилие, воздействующее через силовыводящий узел на упругий элемент датчика, вызывает появление деформации в местах наклейки тензорезисторов. На диагональ питания подается питающее напряжение, с диагонали измерения снимается выходное напряжение. Деформация упругого элемента вызывает изменение сопротивления тензорезисторов, которое преобразуется мостовой электрической схемой в выходной сигнал.



- 1 – силоизмерительный тензорезисторный датчик Мерадат К-20Г-10-С3;
- 2 – ТСУ трактора Versatile 2375;
- 3 – прицепная сница дисковой бороны Challenger Sunflower 1435-29

Рисунок 23 – Установка силоизмерительного тензорезисторного датчика Мерадат К-20Г-10-С3 на МТА

Краткая техническая характеристика силоизмерительного тензорезисторного датчика Мерадат К-20Г-10-С3 приведена в таблице 2.

Т а б л и ц а 2 – Краткая характеристика силоизмерительного тензорезисторного датчика Мерадат К-20Г-10-С3

Наименование показателя	Значение показателя
Наибольший предел измерения (НПИ), т	10
Класс точности по ГОСТ 8.631–2013 [30]	С3
Направление измеряемой силы, условное обозначение по ГОСТ 8.631–2013 [30]	↑ ↓
Рабочий коэффициент передачи (РКП), мВ/В	1,8007
Входное электрическое сопротивление, Ом	404,3
Выходное электрическое сопротивление, Ом	352,6
Допустимая перегрузка в течение не более 30 мин, % от НПИ	25
Разрушающая нагрузка, % от НПИ	200
Рекомендуемое напряжение питания, В	5...12
Потребляемая мощность, Вт	0,5
Рабочий диапазон температур окружающей среды, °С	минус 30...+50
Длина кабеля, м	16
Масса, кг	4,1

### **3.4 Измерительно-регистрирующая аппаратура и программное обеспечение**

Для организации приема данных от датчиков, применялась измерительная информационная система ИП-264 [31], [32] разработки КубНИИТиМ (рисунк 24).

Система ИП-264 обеспечивает прием дискретных и аналоговых сигналов от различных типов первичных преобразователей.

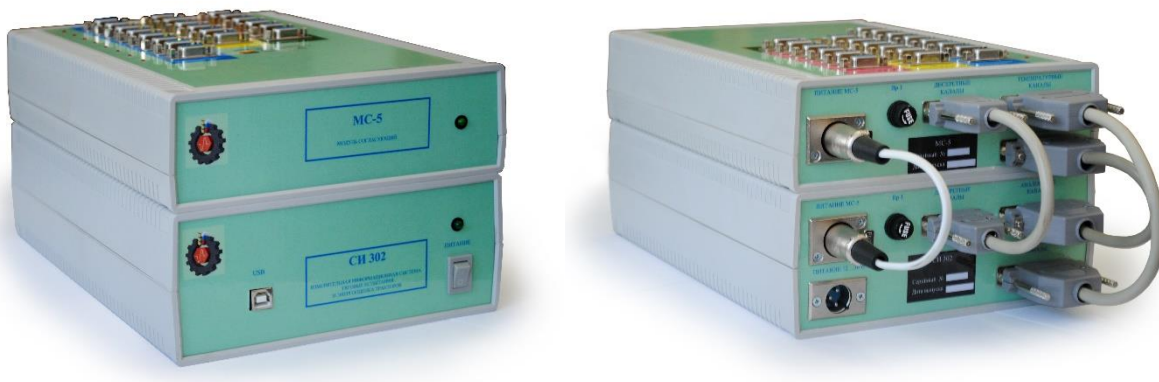


Рисунок 24 – Измерительная информационная система ИП-264

Система отличается компактными размерами, широким диапазоном напряжения питания и мощным программным обеспечением, работающем в среде Windows. Связь между электронным измерительным блоком и компьютером осуществляется через USB-интерфейс.

Также система может быть оборудована модулем беспроводной связи ИП-294 для подключения беспроводных датчиков буксования ИП-291.

В состав системы входит ноутбук с программным обеспечением «Исследователь».

Программа «Исследователь» (рисунок 25) функционирует в среде «Windows XP/Vista/7/8» и предназначена для реализации функциональных возможностей измерительной информационной системы ИП-264.

Программа может работать в следующих основных режимах:

- 1) режим проведения простых измерений сигналов по всем каналам с непрерывной регистрацией показателей в виде графиков;
- 2) режим проведения энергетической оценки сельскохозяйственных машин и тяговых испытаний тракторов в соответствии с действующими стандартами на методы испытаний.



Рисунок 25 – Окно проведения опыта при измерении тягового сопротивления

Программа выполняет следующие основные функции:

- 1) производит конфигурирование функциональной схемы измерительных информационных систем ИП-264 и установку программируемых рабочих параметров;
- 2) производит измерение физических параметров контролируемых входными первичными преобразователями;
- 3) отображает в реальном времени на виртуальных приборах и в виде графиков значения измеряемых и рассчитываемых физических величин;
- 4) осуществляет обработку и сохранение на жестком диске полученных от первичных преобразователей величин.

Данные хранятся в формате базы данных MS SQLServer с возможностью их передачи для обработки в другие программные среды (MS Excel, MS Word).

Настройки программы позволяют гибко менять минимальные и максимальные значения шкал виртуальных приборов, количество и размерность, отображаемых графиков значений тензометрических каналов.

Программа позволяет работать с подключаемой к компьютеру по USB-интерфейсу Web-камерой для визуального контроля оператором наиболее значимых зон испытываемой машины.

Программы написаны в среде Visual Studio 2010 и функционируют в операционных системах Windows 7/10.

Краткая техническая характеристика системы ИП-264 приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Краткая характеристика системы ИП-264

Наименование показателя	Значение показателя
Измерительная информационная система ИП-264	
Число входных каналов для тензодатчиков, шт.	2
- питание тензомоста, В	от 1 до 10 В
- ток питания тензомоста, мА, не менее	20
- входное сопротивление, Мом	20
- разрядность АЦП, бит	24
- тип преобразования АЦП	Сигма-дельта
- частота преобразования АЦП, Гц	10
- погрешность измерения, %	0,1
Число температурных каналов, шт	6
- тип термопреобразователя сопротивления, подключение	ГОСТ 6651-2009 [33] трехпроводное
Число дискретных входов, шт.	8
- тип дискретного входа	TTL, открытый коллектор
- абсолютная погрешность измерения, имп.	± 1
Контрольные индикаторы дискретных каналов	Имеются
Число дискретных выходов, шт.	1
Интерфейс связи	USB 2.0
Напряжение питания системы, В	от 10 до 30
Потребляемая мощность, Вт, не более	20
Рабочие условия эксплуатации:	
- температура окружающей среды, °С	от +5 до +50
Габаритные размеры, мм	
- блок электронный ИП-264	200×280×80
- устройство согласования	95×185×70
Масса, кг, не более	
- блок электронный ИП-264	2,0
- устройство согласования	0,5

## Окончание таблицы 3

Наименование показателя	Значение показателя
Персональный компьютер (входит в состав системы)	
Тип	Ноутбук
Количество	1
Объем ОЗУ, Гбайт, не менее	2
Рабочая частота процессора, ГГц, не менее	1,5
Разрешение дисплея, пкс., не менее	1366×768
Программное обеспечение (входит в состав ИП-264)	
«Исследователь»	Версия 5.6 и выше
Режимы работы программы	
- мониторинг каналов	Имеется
- тяговые испытания по ГОСТ Р 52777-2007 [1]	Имеется
Виртуальные приборы	Имеется
Отображение результатов в реальном времени	Имеется
Работа с USB-камерой	Имеется

## **4 Результаты экспериментальных исследований**

### **4.1 Результаты экспериментальной оценки зависимости давления наддува во впускной магистрали двигателя от нагрузки на трактор во время выполнения технологической операции**

Для оценки возможности получения информации о энергетических параметрах работы МТА при выполнении технологического процесса, произведены замеры давления наддувочного воздуха во впускном коллекторе двигателя трактора Versatile 2375. Замеры производились при выполнении лущения стерни озимой пшеницы (первый проход) дисковой бороны Challenger Sunflower 1435-29 в агрегате с трактором Versatile 2375. В качестве эталонного показателя принималось значение тягового сопротивления, оказываемого орудием. Значения давления наддува и тягового сопротивления регистрировались синхронно с частотой 20 Гц. В качестве устройства регистрации применялась измерительная информационная система ИП-264.

На рисунке 26 представлен участок диаграмм значений измеряемых показателей, гистограммы распределения (рисунки 27, 28) и графики спектральных плотностей (рисунок 29) на режиме заглабления рабочих органов дисковой бороны и начале устойчивого выполнения технологического процесса.

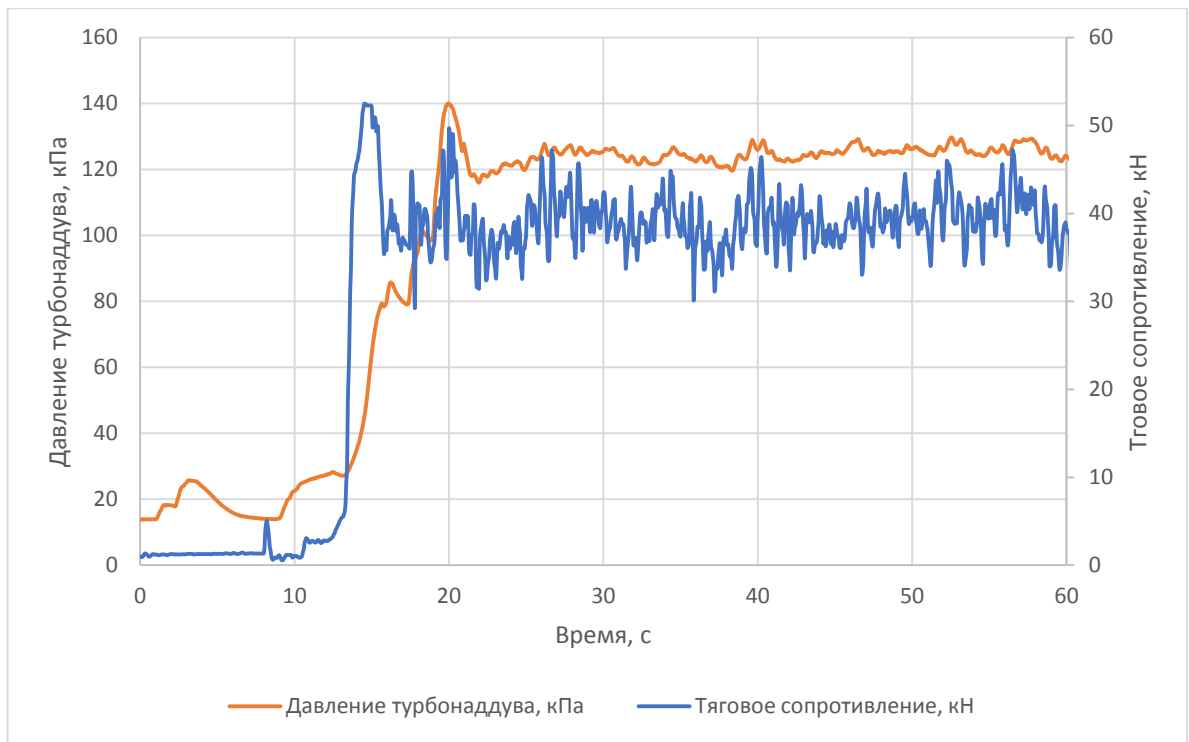


Рисунок 26 – Диаграммы значений тягового сопротивления бороны Challenger Sunflower 1435-29 и давления турбонаддува двигателя трактора Versatile 2375 на лушении стерни озимой пшеницы

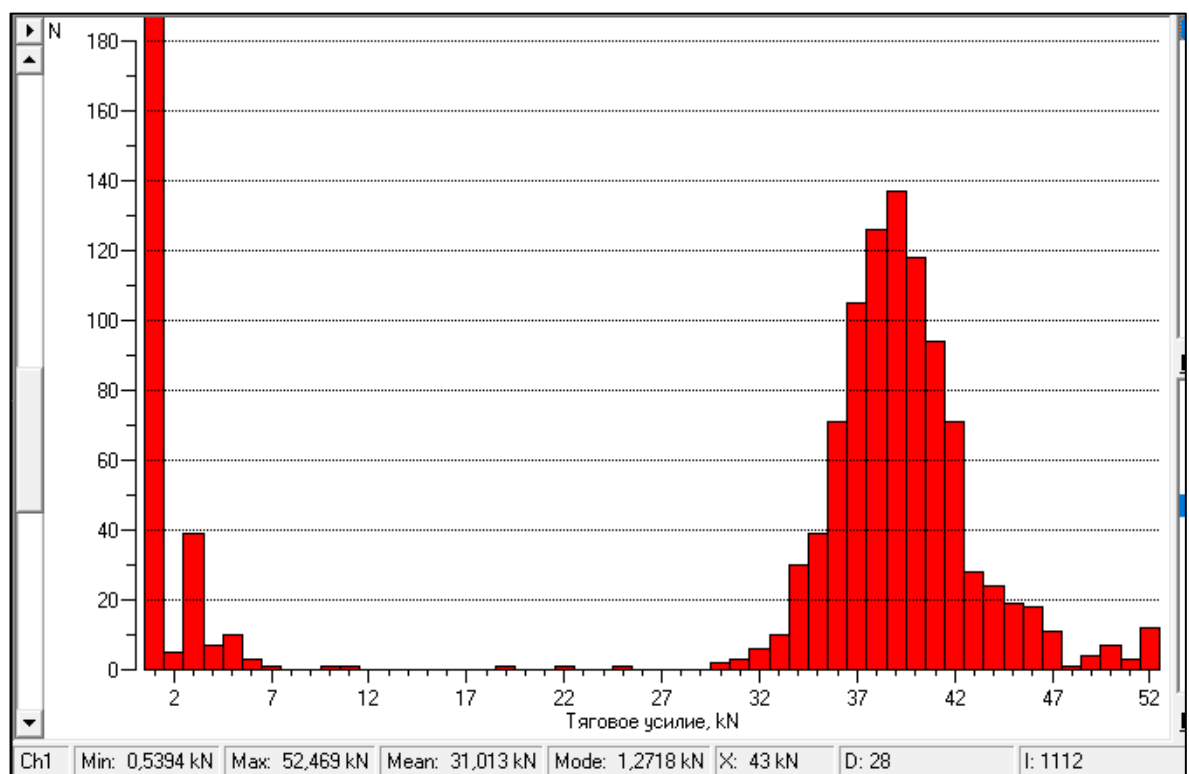


Рисунок 27 – Гистограмма распределения значений тягового сопротивления бороны Challenger Sunflower 1435-29 на лушении стерни озимой пшеницы



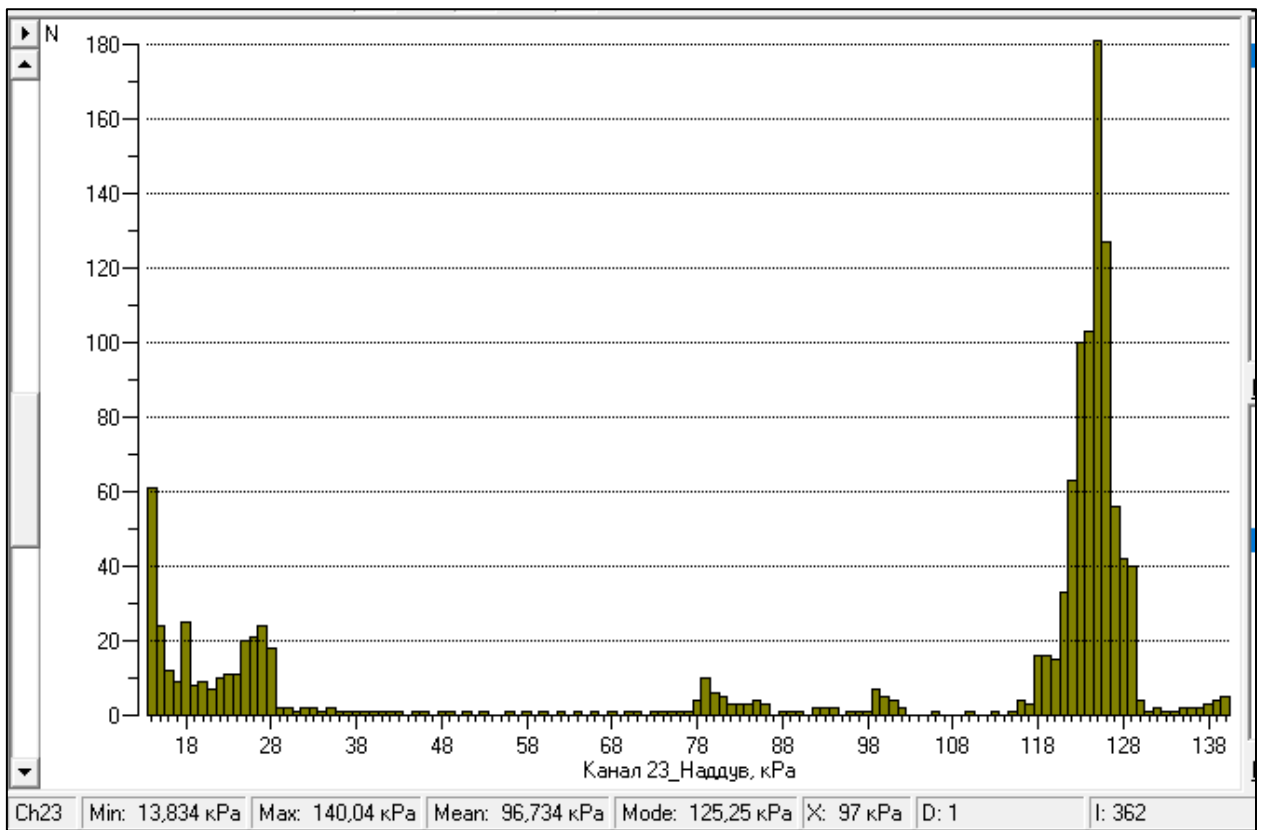


Рисунок 28 – Гистограмма распределения значений давления наддува двигателя трактора Versatile 2375 на лущении стерни озимой пшеницы

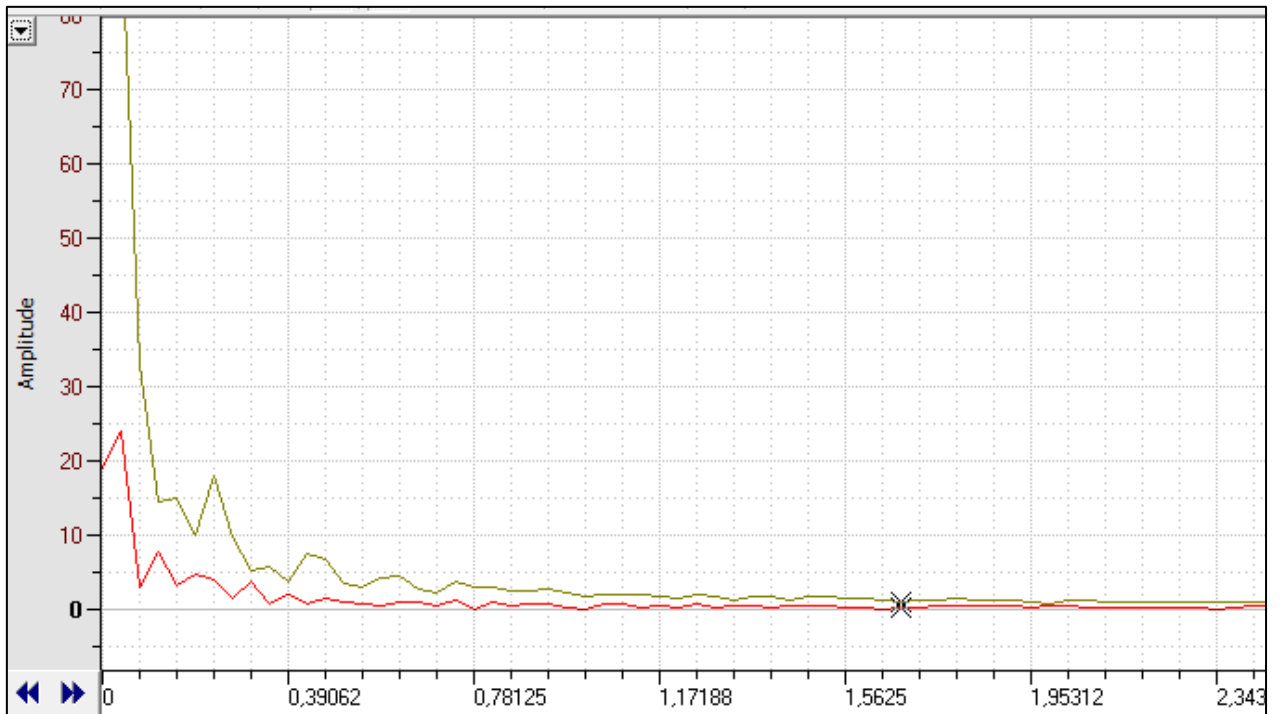


Рисунок 29 – Спектральные плотности изменения давления наддува двигателя трактора Versatile 2375 и тягового сопротивления бороны Challenger Sunflower 1435-29 на лущении стерни озимой пшеницы

В результате анализа полученных данных следует, что характер изменения значений давления наддува достаточно точно повторяет колебания тягового сопротивления, оказываемого бороной, хотя на режиме заглубления рабочих органов, рост давления наддува несколько запаздывает от роста тягового сопротивления. На установившемся режиме работы, значения тягового сопротивления орудия и давления наддува трактора подчиняются нормальному закону распределения.

Спектральный анализ амплитудно-частотных характеристик тягового сопротивления и давления наддува показал, что частота значимых воздействий не превышает 2 Гц. Расчет данных, полученных в результате опыта, показал, что коэффициент корреляции значений давления во впускном коллекторе и тягового сопротивления орудия, на режиме динамического наброса нагрузки во время заглубления рабочих органов, составил 0,895.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой степени зависимости значения давления наддува от тягового сопротивления орудия и, соответственно, нагрузки на двигатель трактора.

#### **4.2 Результаты сравнительной оценки результатов определения энергетических показателей работы МТА по новому и известным методам**

Сравнительная оценка нового метода определения энергетических показателей работы МТА по давлению наддува проводилась с целью установления сходимости значений тягового сопротивления, полученного расчетным методом по формулам 14 и 18 и измеренного с помощью силоизмерительного тензорезисторного датчика Мерадат К-20Г-10-СЗ.

Замеры производились при выполнении дискового луцения пожнивных остатков кукурузы (второй проход) дисковой бороной Challenger Sunflower 1435-29 в агрегате с трактором Versatile 2375 (рисунок 30).



Рисунок 30 – Дисковая борона Challenger Sunflower 1435-29 в агрегате с трактором Versatile 2375 на лущении пожнивных остатков кукурузы

Краткая техническая характеристика трактора Versatile 2375 представлена в таблице 4, краткая техническая характеристика дисковой бороны Challenger Sunflower – в таблице 5.

Таблица 4 – Краткая техническая характеристика трактора Versatile 2375

Наименование показателя	Значение показателя
Тип движителя	колесный
Номинальная мощность двигателя, л.с.	375
Рабочий объем двигателя, л	10,8
Число передач вперед/назад	12/4
Емкость топливного бака, л	871
Обороты ВОМ, об/мин	1000
Производительность гидросистемы, л/мин	170
Длина/высота трактора, мм	6750/3720
Колея, мм:	
- внешние колеса	3260
- внутренние колеса	1830
Дорожный просвет, мм	430
Масса, кг	11690
Изготовитель	ООО "КЗ "Ростсельмаш", г. Ростов-на-Дону

Таблица 5 – краткая техническая характеристика дисковой бороны Challenger Sunflower 1435-29

Наименование показателя	Значение показателя
Тип изделия	прицепная двухрядная
Агрегатирование	кл. 6-7
Рабочая скорость движения, км/ч	до 12
Ширина захвата, м	8,9
Масса, кг	7380
Глубина обработки почвы, см	до 15
Угол атаки, ...°	
- переднего ряда	20
- заднего ряда	19
Тип рамы	Х-образная
Подвеска дисков к раме	батарейная
Тип дисков	сферические гладкие
Количество рядов дисков, шт.	2
Число дисков, шт.	82
Диаметр диска, мм	610
Нагрузка на диск, кг	90
Дополнительные рабочие органы	пружинные боронки
Изготовитель	корпорация «AGCO», США

Для расчета энергетических и топливно-экономических показателей работы МТА по давлению наддува, на базе информации, полученной из руководства по эксплуатации трактора Versatile 2375 и открытых источников [7], [34]–[36], были смоделированы регуляторные характеристики двигателя Cummins QSM-11 (рисунок 31).

Диаграммы значений тягового сопротивления бороны, давления наддува и мощности двигателя, рассчитанной по регуляторной характеристике, представлены на рисунке 32.

Результаты сравнительной оценки нового метода определения энергетических показателей работы МТА по давлению наддува представлены в таблице 6.

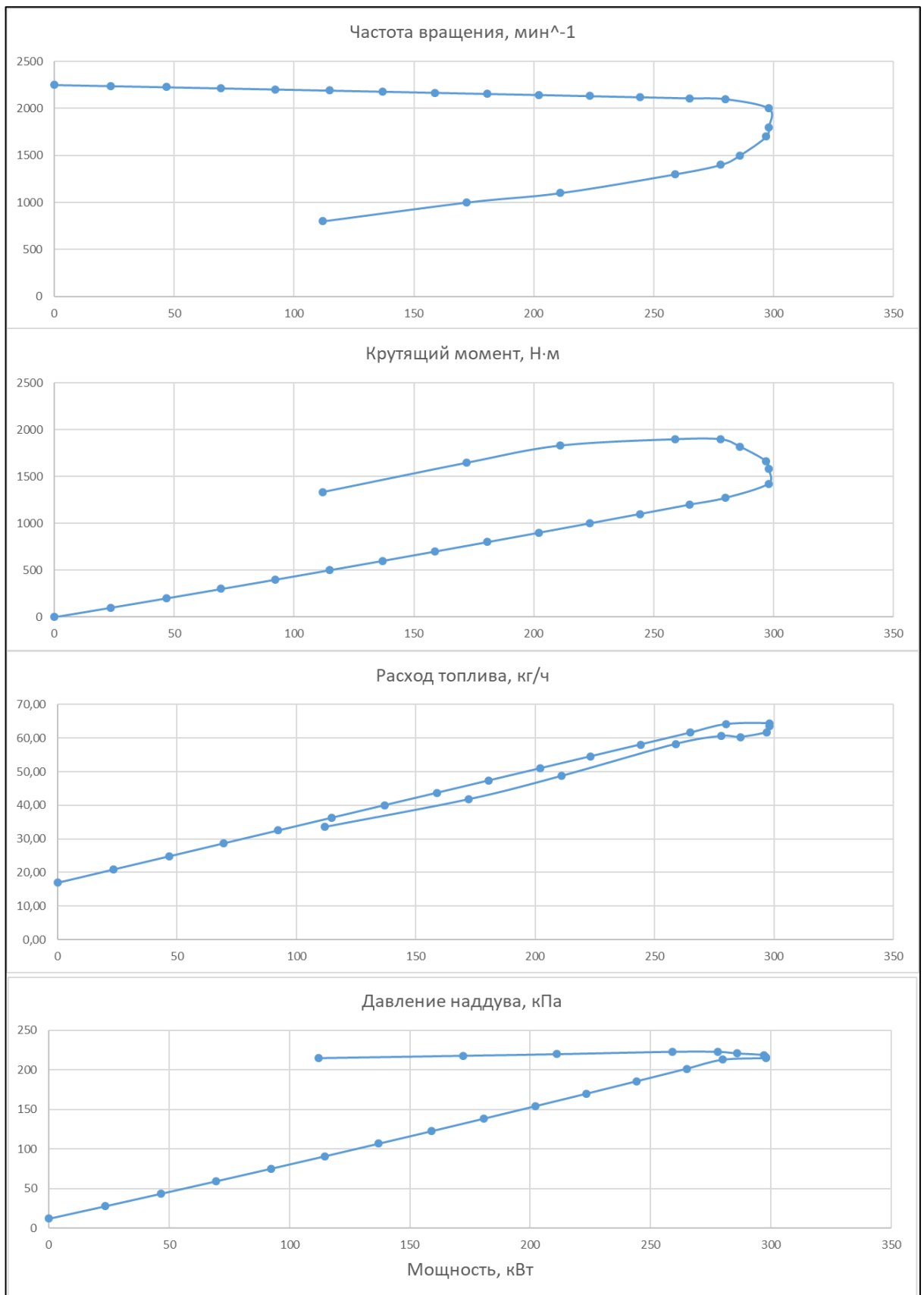


Рисунок 31 – Регуляторные характеристики двигателя Cummins QSM-11

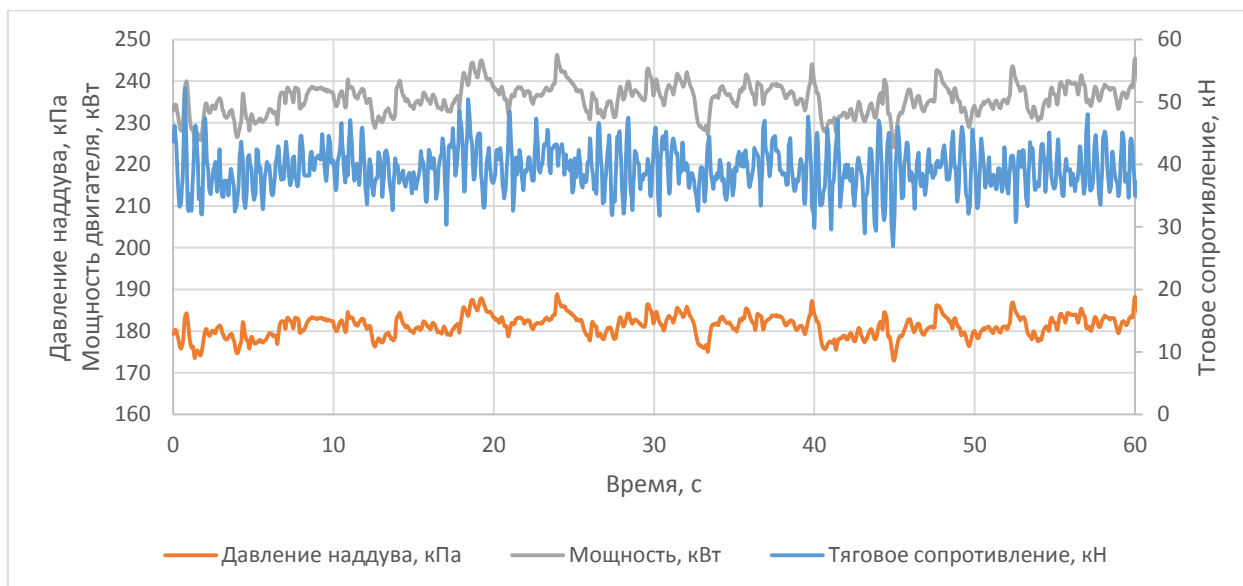


Рисунок 32 – Диаграммы значений тягового сопротивления бороны Challenger Sunflower 1435-29, давления наддува и расчетной мощности двигателя трактора Versatile 2375 на лущении пожнивных остатков кукурузы (второй след)

По результатам проведения сравнительной оценки нового метода определения энергетических показателей работы МТА по давлению наддува, можно сделать выводы о высокой сходимости значений энергетических показателей работы МТА, полученных новым и стандартными методами. Расхождение между значением тягового сопротивления, полученным расчетным методом по измеренным значениям давления наддува и значением тягового сопротивления, полученным прямыми измерениями составило 4,8 % при том, что расчеты производились не по действительной, а по приближенной (смоделированной) характеристике двигателя Cummins QSM-11. В то же время, сравнительная оценка показала, что новый метод позволяет получить значительно более полную картину мощностных и топливно-экономических показателей работы МТА, чем стандартный метод измерения тягового сопротивления. В отличие от стандартного метода расчета энергетических показателей работы МТА по расходу топлива [1], новый метод позволяет определять динамическую составляющую энергетических параметров работы МТА и их мгновенные значения в реальном режиме времени.

Таблица 6 – Результаты оценки точности нового метода определения энергетических показателей МТА по давлению наддува

Показатель	Значение показателя по методу	
	Новый	Тензометрирование
Марка машины	Борона дисковая Challenger Sunflower 1435-29	
Агрегатирование	Versatile 2375	
Вид работы	Лушение пожнивных остатков кукурузы, второй след	
Дата, место выполнения работы	09.09.2020 Валидационный полигон КубНИИТиМ	
Поступательная скорость движения агрегата, км/ч	11,9	11,9
Рабочая ширина захвата, м	7,8	7,8
Производительность агрегата, га/ч - основного времени - сменного времени	9,3 -	9,3 -
Средняя глубина хода рабочих органов, см	6,7	6,7
Давление наддува во время основной работы, кПа: - среднее - среднеквадратическое отклонение	181,29 2,51	- -
Тяговое сопротивление, кН - среднее - среднеквадратическое отклонение	37,39	39,28 3,48
Расход топлива, кг/ч - за 1 час основного времени - за 1 час сменного времени	58,1 -	- -
Мощность, кВт: - потребляемая машиной - потребляемая агрегатом: - среднее - среднеквадратическое отклонение - потребляемая на самопередвижение трактора, кВт	123,39  238,31 3,50 114,92	129,8  - - -

#### 4.3 Оценка возможности применения нового метода определения загрузки двигателя по давлению наддува для выбора оптимального режима работы МТА

Для определения возможности повышения эффективности работы МТА Versatile 2375 + Challenger Sunflower 1435-29 на лушении пожнивных остатков кукурузы, была смоделирована комбинированная характеристика двигателя

Cummins QSM-11 (рисунок 33), которая представляет собой контурный график удельного расхода топлива в координатах частоты вращения и крутящего момента двигателя. На этот график наложены изолинии равных мощностей (пунктирные линии на рисунке 33) и график внешней характеристики крутящего момента, определяемый настройками регулятора и ограничивающий область возможной работы двигателя (линия М на рисунке 33).

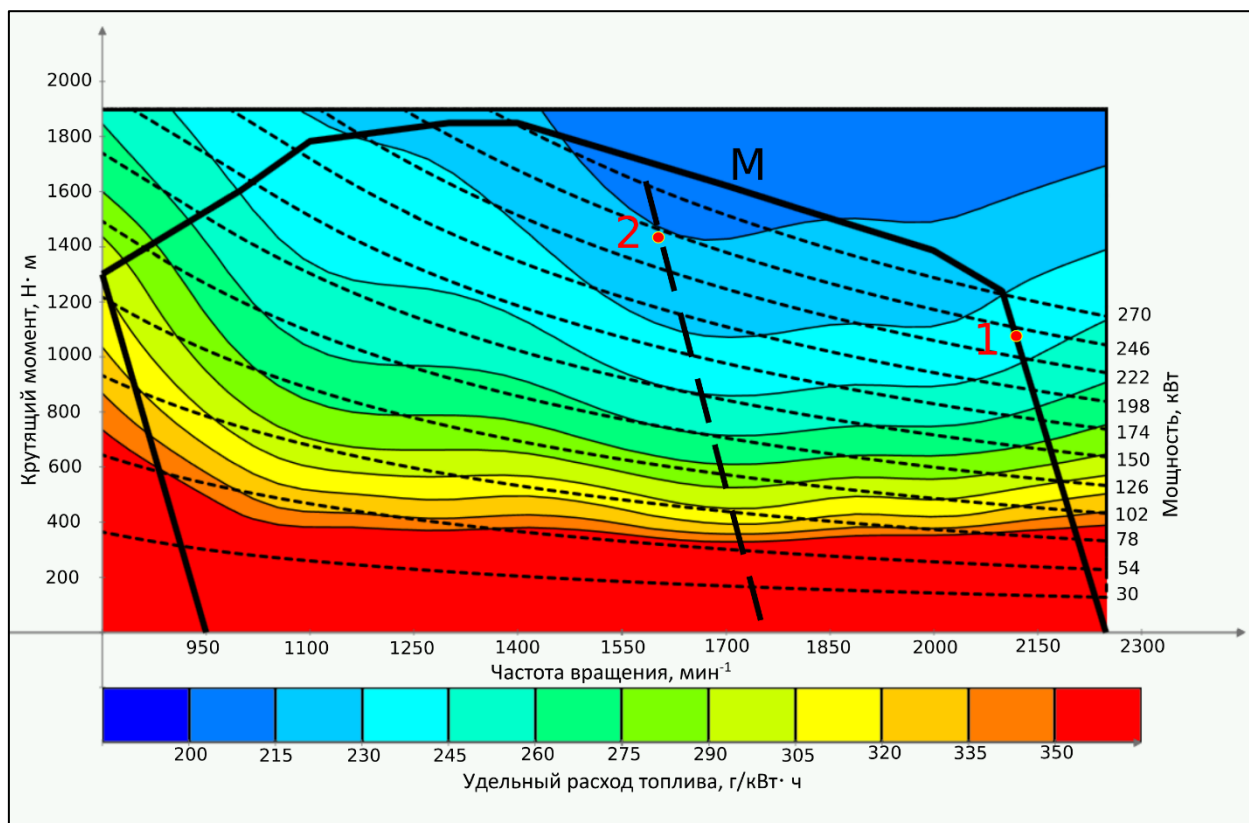


Рисунок 33 – Комбинированная характеристика двигателя Cummins QSM-11

Во время работы трактора на 4 передаче среднего диапазона, положении акселератора, соответствующем максимальной частоте вращения (работа по внешней характеристике, линия М), средней поступательной скорости движения 11,9 км/ч и потребляемой мощности 238,31 кВт, режим работы двигателя соответствует точке 1 на рисунке 33. Частота вращения коленчатого вала двигателя при этом составляет 2130 мин<sup>-1</sup>, а удельный расход топлива – 244 г/кВт·ч. На рисунке 33 видно, что для данная мощность (с не меньшим



запасом крутящего момента, обеспечивающем работу без выхода на коррекционный участок характеристики), обеспечивается при снижении частоты вращения до 1400 мин<sup>-1</sup>, но при более низком удельном расходе топлива (минимум удельного расхода топлива для данной мощности соответствует частоте вращения 1600 мин<sup>-1</sup> и составляет 203 г/кВт·ч (точка 2 на рисунке 33)). Принимая буксование движителей постоянной величиной и зная расчетные скорости движения на передачах при номинальной частоте вращения, возможно рассчитать, что при переходе на 1 передачу повышенного диапазона и одновременном снижении частоты вращения коленчатого вала до 1600 мин<sup>-1</sup>, будет обеспечиваться та же поступательная скорость ≈12 км/ч.

Таким образом, расчеты показывают, что при альтернативном режиме работы следует ожидать повышения топливной экономичности на 17 % при сохранении производительности. Для проверки расчетных данных, была проведена ЭТО агрегата на альтернативном режиме.

Эксперимент показал, что агрегат устойчиво выполняет технологический процесс на расчетном режиме. Сравнительные результаты ЭТО на базовом и альтернативном режиме представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты ЭТО при работе агрегата на базовом и альтернативном режиме

Показатель	Значение показателя на режиме:	
	базовый	альтернативный
Марка машины	Борона дисковая Challenger Sunflower 1435-29	
Агрегатирование	Versatile 2375	
Вид работы	Лушение пожнивных остатков кукурузы, второй след	
Дата, место выполнения работы	Валидационный полигон КубНИИТиМ	
	10.09.2020	10.09.2020
Рабочая скорость движения агрегата, км/ч	11,9	12,1
Рабочая ширина захвата, м	7,8	7,8
Производительность агрегата, га/ч:	9,3	9,4
	- основного времени - сменного времени	7,5 7,5
Средняя глубина хода рабочих органов, см	6,7	6,7
Удельный расход топлива за 1 ч сменного времени, кг/га	5,7	5,0

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения НИР проанализированы современные методы и технические средства для определения энергетических показателей машино-тракторных агрегатов. Выделены их главные недостатки, такие как невозможность получения значений в реальном режиме времени или высокая стоимость переоборудования энергосредства, кроме того, оборудование трактора измерительными преобразователями делает невозможным, либо накладывает существенные ограничения на дальнейшую его эксплуатацию в нормальном режиме, как обычное энергосредство при выполнении технологических операций. Теоретически обоснован метод определения энергетических показателей, таких как общая потребляемая мощность, крутящий момент двигателя, расход топлива, удельный расход топлива, коэффициент использования мощности через измерение давления наддувочного воздуха во впускном коллекторе двигателя, который позволит получать энергетические показатели агрегата в реальном режиме времени. На основании полученной информации можно рассчитать и установить наиболее оптимальный режим работы МТА. Для реализации метода требуется установка только одного датчика избыточного давления.

В результате выполнения НИР:

- разработан новый метод определения энергетических показателей МТА в реальном режиме времени;
- разработан метод расчета наиболее оптимального режима работы МТА в сложившихся условиях работы;
- проведены полевые исследования разработанных методов.

По результатам полевых исследований установлена работоспособность нового метода определения энергетических показателей, таких как общая потребляемая мощность, крутящий момент двигателя, расход топлива, удельный расход топлива, коэффициент использования мощности через измерение давления наддувочного воздуха во впускном коллекторе двигателя. Установлена

высокая сходимость результатов, полученных с помощью нового метода с результатами, полученными прямыми измерениями.

Применение нового метода определения оптимального режима работы дизельных двигателей в реальном режиме времени, по результатам полевого опыта, позволило снизить затраты топлива на выполнение технологической операции на 12 %.

Рекомендуется продолжить развитие предложенного метода с целью доведения его до сельхозтоваропроизводителя.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 ГОСТ Р 52777–2007 Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки. – М.: Стандартинформ, 2008. – 10 с.

2 Курасов В.С., Трубилин Е.И., Тлишев А.И. Тракторы и автомобили, применяемые в сельском хозяйстве: Учебное пособие. Краснодар: Кубанский ГАУ, 2011. – 132 с.: ил.

3 Трепененков И.И. Номинальная сила тяги сельскохозяйственного трактора И.И. Трепененков, А.А. Юшин // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1970. – №12. – С. 17–18.

4 Оловников И.В. Методы обработки информации, полученной от экспертов // Вестник ИрГСХА. – 2009. – № 36. – С. 74–86.

5 Кринко М.С. Рациональное сочетание тракторов, основных агрегатов, полевых условий и технологических операций: Автореф. Дис. канд. наук. – Мн., 1984.

6 ГОСТ 27021–86 Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 8 с.

7 Institute of Agriculture and Natural Resources NEBRASKA TRACTOR TEST LABORATORY [Электронный ресурс]. – URL: <https://tractortestlab.unl.edu/> (дата обращения 10.02.2020).

8 Грибов И.В., Перевозчикова И.В. Мощность – основной показатель для трактора тягово-энергетической концепции // Техника и технологии АПК. – 2017. – № 5. – С. 18–21.

9 Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. – М.: Инфра-М, 2014. – 506 с.

10 Кутьков Г.М. Трактор второго поколения. – М.: ФБГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина», 2013. – 104 с.

11 Чухчин Н.Ф., Мусин А.Р. Технологические и агротехнические основы развития МЭС как трактора второго поколения тягово-энергетической концепции. – М.: ГОНТИ-НПО «НАТИ», 1983. – С. 3–12.

12 T. Jokiniemi, H. Rossner, J. Ahokas Simple and cost effective method for fuel consumption measurements of agricultural machinery // Agronomy Research Biosystem Engineering. Special Issue. – 2012. – № 1. – P. 97–107.

13 OECD STANDARD CODE FOR THE OFFICIAL TESTING OF AGRICULTURAL AND FORESTRY TRACTOR PERFORMANCE. CODE 2 – February 2020 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.oecd.org> (дата обращения 18.02.2020).

14 M. F. Kocher, B. J. Smith, R. M. Hoy, J. C. Woldstad, S. K. Pitla. FUEL CONSUMPTION MODELS FOR TRACTOR TEST REPORTS // American Society of Agricultural and Biological Engineers. – 2017. – № 60 (3). – P. 693–701.

15 Таран Д.А., Таран А.Д. Устройство для определения буксования колёсных тракторов с одной ведущей осью // Концепции фундаментальных и прикладных научных исследований: Материалы междунар. науч.-практ. конф. / – Казань: Издательство ООО «АТЭРНА», 2017. – С. 56–58.

16 Лопарев А.А., Комкин А.С. Исследование буксования ведущих колес трактора в транспортно-технологическом сельскохозяйственном агрегате // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Материалы 9-й междунар. науч.-практ. конф. «Наука – Технология – Ресурсосбережение.» / – Киров: Издательство Вятская ГСХА, 2016. – С. 158–161.

17 Кузнецов Н.Г., Гапич Д.С., Ширяева Е.В. К вопросу об определении допустимого коэффициента буксования полноприводного колесного трактора // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 2 (34). – С. 176–179.

18 Горшков Ю.Г., Четыркин Ю.Б., Калугин А.А. Регистрирующий комплекс для исследования буксования и КПД дифференциала и движителя колесной машины // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – № 11. – С. 13–15.

19 Венглинский А.М. Контроль буксования колесных тракторов МТЗ при возделывании сельскохозяйственных культур // Улучшение эксплуатационных показателей с.-х. энергетики: Материалы IV междунар. науч.-практ.

конф. «Наука – технология – ресурсосбережение». / – Киров: Издательство Вятская ГСХА, 2011. – С. 10–12.

20 Видикер А.А., Бережнов Н.Н. Адаптация аппаратных средств измерительно-информационного комплекса для проведения контрольного динамометрирования энергонасыщенных МТА: материалы VIII региональной науч.-практ. конф. студентов и аспирантов, посвященной 80-летию НГАУ-НСХИ (10-11 ноября 2016 г.). / – Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет, 2016. – С. 52–58.

21 Куликов Н.К. Элементы динамики процесса буксования трактора // Машиностроение: Изв. вузов. – 1961. – № 2. – С. 111–118.

22 Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Трубицын Н.В., Таркинский В.Е. Применение инерциальной навигации для определения буксования сельскохозяйственных тракторов // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Т. 28. – Вып. 1. – С. 8–23.

23 Таркинский В.Е. Исследование методов получения и цифровой обработки сигнала датчика поворота колеса сельскохозяйственного трактора // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ им. В.П. Горячкина». – 2018. – № 5 (87). – С. 11–20.

24 Datum Electronics. Система мониторинга вала отбора мощности. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.datum-electronics.ru/pto-power-monitoring-system.aspx.htm> (дата обращения 12.03.2020).

25 ГОСТ 7057–2001 Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 11 с.

26 ГОСТ 18509–88 Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний – М.: Издательство стандартов, 1988. – 77 с.

27 Трубицын, Н.В. Современные принципы измерения расхода топлива и первичные преобразователи для испытаний сельскохозяйственной техники / Н.В. Трубицын, В.Е. Таркинский // Техника и оборудование для села. – 2013. – № 6. – С. 42–44.

28 Курасов В.С., Трубилин Е.И., Глишев А.И. Тракторы и автомобили, применяемые в сельском хозяйстве: учебное пособие. Краснодар: Кубанский ГАУ, 2011. – 132 с.

29 Шароглазов Б.А, Фарафонов М.Ф., Клементьев В.В. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2005. – 404 с.

30 ГОСТ 8.631–2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Датчики весоизмерительные. Общие технические требования. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2014. – 79 с.

31 Таркинский В.Е., Трубицын Н.В., Воронин Е.С. Программное обеспечение измерительных информационных систем для испытаний сельскохозяйственной техники // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 9. – С. 12–15.

32 Федоренко В.Ф., Таркинский В.Е. Цифровые беспроводные технологии для оценки показателей сельскохозяйственной техники // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2020. – № 1. – С.10–15.

33 ГОСТ 6651–2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2011. – 32 с.

34 КАМСС. Дизельные двигатели Cummins – запчасти, обслуживание, ремонт. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kamss.ru/supply/cummins/docs/> (дата обращения 10.08.2020).

35 Cummins Inc. Двигатели для сельскохозяйственной техники. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cummins.com/ru/engines/agriculture> (дата обращения 10.08.2020).

36 Техноактив инвест. Двигатели КАММИНЗ. Полная информация. [Электронный ресурс]. – URL: <https://technoaktyv.com.ua/cp66174-polnaya-informatsiya-o-dvigatelyah-cummins.html> (дата обращения 10.08.2020).

37 ГОСТ Р 52517–2005 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Характеристики. Часть 1. Стандартные исходные условия, объявление мощности, расхода топлива и смазочного масла. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2008. – 35 с.



ПРИЛОЖЕНИЕ А  
(обязательное)

ОТЧЕТ  
О ПАТЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Задание 2.1.9 «Проведение исследований и разработка современного испытательного оборудования, приборного и программного обеспечения для оценки потребительских свойств высокотехнологичных машин»

Тема 2.1.9.4

«Проведение исследований и разработка нового метода определения оптимального режима работы дизельных двигателей в реальном режиме времени»

## **А.1 Общие данные об объекте исследований**

Основанием для проведения работ является тематический план на 2020 г. научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ, выполняемых Новокубанским филиалом ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТиМ), задание 2.1.9, тема 2.1.9.4.

Объектом исследования являются системы мониторинга и средства измерения скоростных характеристик двигателей внутреннего сгорания и методики и способы такого измерения, а из подобных устройств и разработок приоритетно рассмотреть такие, которые наиболее подходят для определения мощностных характеристик движителей машинно-тракторных агрегатов сельскохозяйственного назначения, работающих на дизельном топливе.

Разработка элементов интеллектуальных систем для сбора данных при определении потребительских свойств сельскохозяйственной техники проводится с целью модернизации существующих систем и средств измерений, а также датчиков для повышения их эксплуатационных, технических и потребительских свойств до современного уровня.

Целью разработки НИР является:

- разработка и создание нового метода определения оптимального режима работы дизельных двигателей в реальном режиме времени с учетом развития технического уровня как отечественной, так и зарубежной техники, и требований, предъявляемых к средствам испытаний сельхозтехники;
- повышение достоверности и воспроизводимости результатов измерения;
- решение проблемы повышения эффективности использования машинно-тракторных агрегатов;
- уменьшение капитальных затрат испытаний при определении мощностных, скоростных и топливно-экономических показателей работы двигателя МТА.

Исходными данными для проведения НИР по разработке являются требования нормативных документов на методы испытаний (ГОСТ Р 52777-2007 [1], ГОСТ 7057-2001 [25], ГОСТ Р 52517-2005 [37], ГОСТ 18509-88 [26]).

## **А.2 Аналитическая часть**

А.2.1 Патентные исследования проведены по заданию тематики «Проведение исследований и разработка нового метода определения оптимального режима работы дизельных двигателей в реальном режиме времени».

Патентный поиск проводился на сайтах Российского Патентного ведомства – Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (Роспатент), Европейской патентной организации (EPO-espace.net), Всемирной организации интеллектуальной собственности (WIPO), научной электронной библиотеки (elibrary.ru) и других информационных ресурсах сети Интернет.

Основной запрос проводился по следующим техническим средствам и направлениям:

- устройства и системы измерения, а также части конструкции машин для определения рабочей мощности в реальном времени двигателей внутреннего сгорания для МТА;

- устройства и системы измерения, а также части конструкции машин для определения рабочего момента передающегося на ходовые части МТА как параметра выходной мгновенной мощности двигателей внутреннего сгорания;

- методики, способы и теоретическое обоснование систем измерения мощностных характеристик двигателей внутреннего сгорания.

В результате проведенных патентных исследований выделено ряд показательных методик измерения, измерительных устройств и технических средств, описание и рисунки которых приведены ниже.

А.2.2 Прежде всего нас интересуют способы и устройства измерения мощности для дизельных двигателей внутреннего сгорания. Еще более интересны такие средства измерения, если они применяются для контроля и регу-

лирования режимов работы двигателей, включая двигатели с наддувом. Техническое средство с подобными возможностями можно назвать режимомером. Подобное устройство описано в патенте на изобретение RU2344386 МПК G01L3/24, опубликованном 20.01.2009 (таблица А.2, «Устройство для контроля и регулирования загрузки дизеля»).

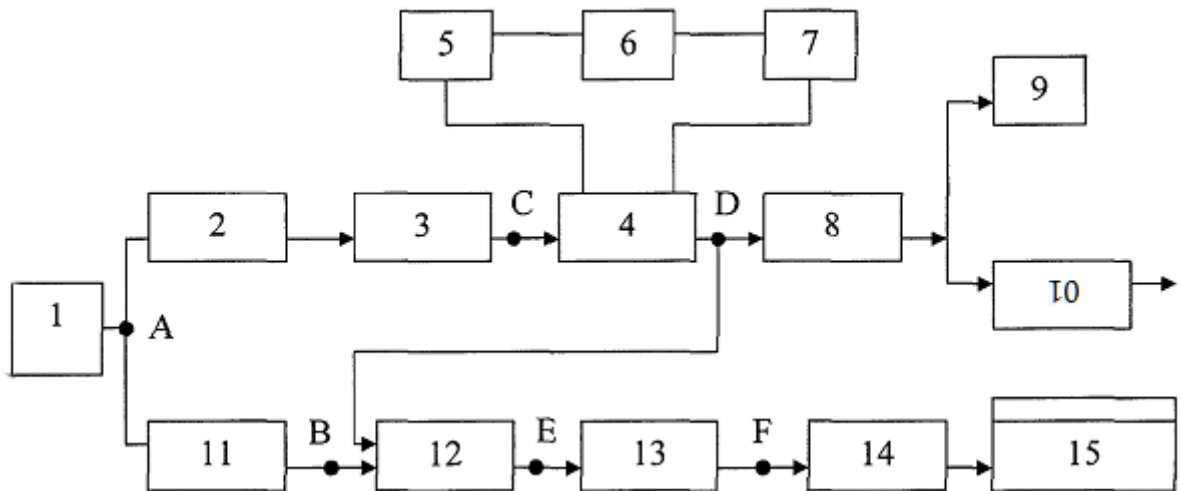


Рисунок А.1 – Блок-схема устройства для контроля и регулирования загрузки дизеля

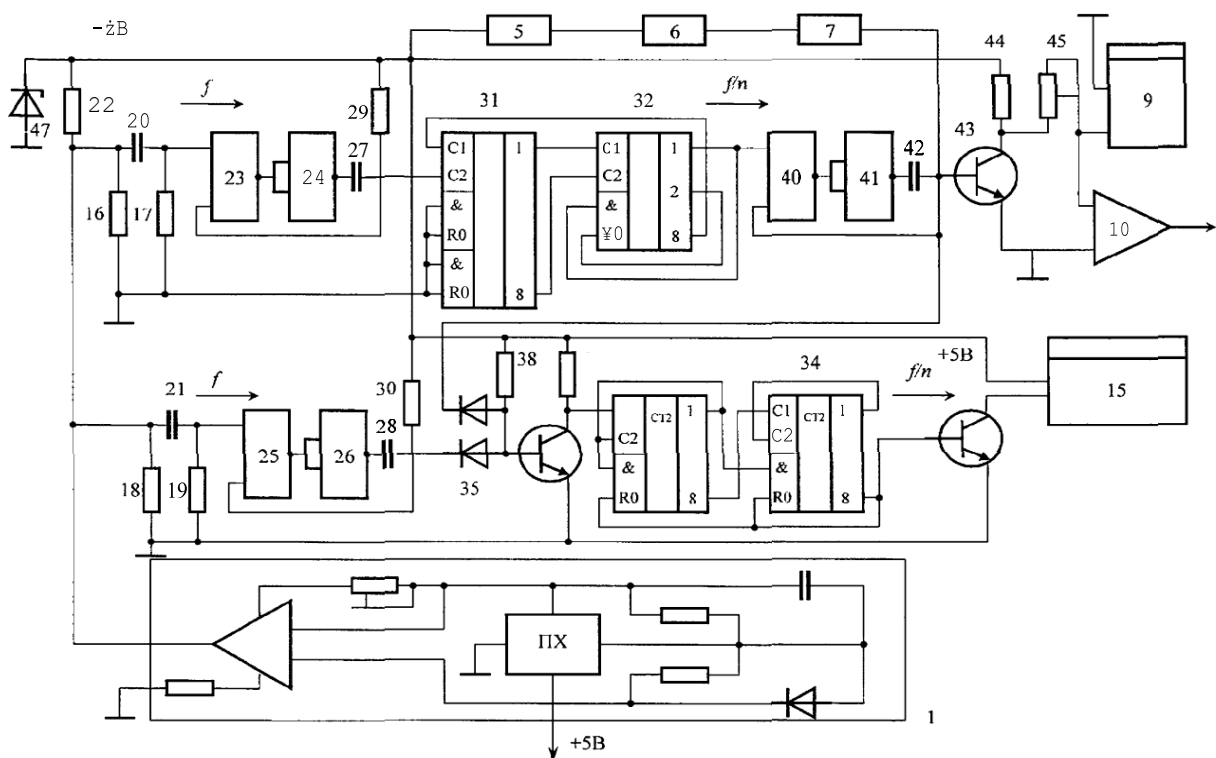


Рисунок А.2 – Принципиальная схема устройства для контроля и регулирования загрузки дизеля

Устройство для контроля и регулирования загрузки дизеля (рисунок А.1) содержит датчик частоты вращения дизеля 1, блок запуска формирователя импульсов 2, выполненный в виде ждущего мультивибратора со входом запуска А и выходным импульсом постоянной длительности, первый делитель частоты 3, формирователь импульсов 4, выполненный в виде ждущего мультивибратора с входом запуска С, входом управления длительностью импульсов М и выходом D, датчик положения дозирующего органа топливного насоса 5, датчик давления наддува 6, датчик температуры воздуха 7 во впускном коллекторе, первый согласующий элемент 8, индикатор мощности 9, усилительно-преобразовательный элемент 10 для подачи управляющих сигналов на исполнительные органы автоматических систем управления дизелем или трансмиссией транспортного средства, блок 11 запуска счета работы, выполненный в виде ждущего мультивибратора, схему 12 совпадений со входами В и D и выходом E, второй делитель 13 частоты, второй согласующий элемент 14, счетчик 15 эффективной работы дизеля, например, электромагнитного типа. При этом входные блоки 2 и 11 запуска состоят из дифференцирующих цепочек на резисторах 16, 17, 18 и 19 (рисунок А.2), конденсаторов 20 и 21 с общим ограничительным резистором 22, логических элементов 2И-НЕ 23, 24, 25 и 26, хранирующих цепочек на емкостях 27 и 28 и резисторов 29 и 30, первый делитель частоты 3 выполнен на двух триггерных счетчиках 31 и 32, второй делитель частоты 13 выполнен на триггерных счетчиках 33 и 34, схема совпадений 12 состоит из диодов 35 и 36, включенных в базу транзистора 37 с ограничительными резисторами 38 и 39, диод 35 соединен с выходом блока 11 запуска счета работы дизеля, а диод 36 – с выходом формирователя импульсов переменной длительности. Второй согласующий элемент выполнен на транзисторе 46 и служит для формирования и усиления выходных импульсов второго делителя 13 частоты для повышения надежности срабатывания счетчика 15, стабилизатор 47 служит для поддержания постоянного напряжения на шинах питания схемы.

В храниющую цепь формирователя импульсов введены датчик давления наддува резистивного типа и датчик температуры воздуха во впускном коллекторе резистивного типа с отрицательным коэффициентом сопротивле-

ния. Датчики давления наддува, температуры воздуха и положения дозирующего органа топливного насоса соединены между собой последовательно и их общее сопротивление служит для определения длительности выходных импульсов формирователя. Техническим результатом изобретения является повышение точности измерения мощности дизеля.

А.2.3 Рассмотрим еще одно решение для конструкции измерительного устройства рабочего крутящего момента двигателя, разработанного специально под дизель. Такое устройство описано в патенте на изобретение RU2382997 МПК G01L3/00, опубликованном 27.02.2010 (таблица А.2, «Устройство для измерения крутящего момента двигателя трактора типа “Кировец”»).

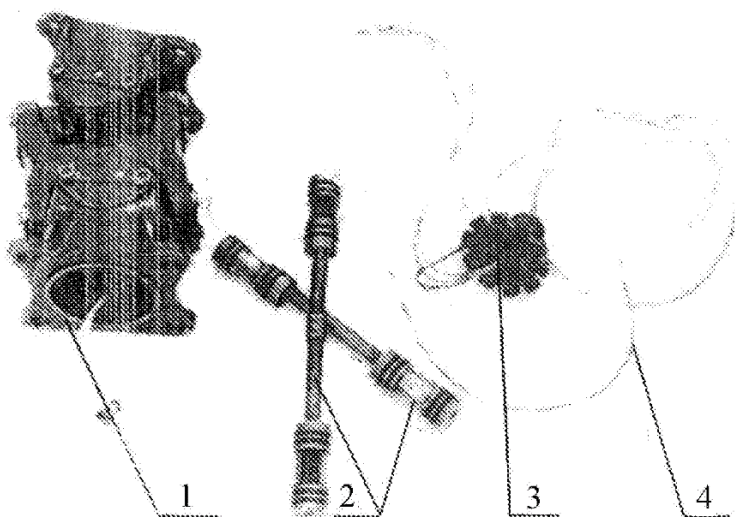


Рисунок А.3 – Беспроводная система измерения тяговых характеристик, применяемая для сельхозтехники

Для измерения крутящего момента двигателя предлагается использовать тензорезисторы, которые наклеиваются на карданный вал двигателя 1 (рисунок А.3) (передающий крутящий момент от двигателя к КПП) и включаются в мостовую схему.

Выводы от тензорезистора сведены в кабель 4 маслостойким кембригом, соединяются с мостовой схемой через концевой токосъемник. Кабель от тензокардана к токосъемнику протягивается через полости ведущего вала коробки передач, используя для этого специально просверленные отверстия в торцовых гайках 3 и маслопроводах 2 ведущего вала. Для удобства монтажа кабеля передний маслопровод предусматривается разборным. Щели между

кембригом и стенками отверстий в торцовых гайках затираются эпоксидной шпаклевкой и оставляются до полного застывания. Защитный корпус токосъемника с концевым токосъемником монтируется на заднем фланце ведущего вала коробки передач.

Недостатком такого устройства является сложность изготовления и сложность реализации на практике (отсутствие универсальности), так как приходится вмешиваться в конструкцию двигателя машины. Так же стоит отметить, что для получения рабочей мощности кроме крутящего момента нужно знать частоту вращения двигателя.

А.2.4 Большинство устройств, датчиков, средств измерения для измерения мощностных характеристик двигателей МТА измеряют рабочий момент напрямую, устанавливаются непосредственно на приводном валу и требуют переоборудования энергосредства. Датчиком для таких средств измерения обычно являются торсиометры. Примером такого средства измерения может послужить комплект для измерения мощности на валу Datum 430 (рисунок А.4).



Рисунок А.4 – Комплект для измерения мощности на валу Datum 430

Комплект для испытания крутящего момента серии 430 создан для измерения крутящего момента на валу в испытываемых установках на вращающихся валах диаметром от 30 мм до 1100 мм. Он может быть использован для простого тестирования уровней мощности или для серьезных испытаний с целью повышения производительности и экономии топлива.

Система создана для измерения мощности и крутящего момента на приводных валах, системах, включающих в себя судовые валы, гребные валы и приводные валы автомобилей. Комплект для испытаний измеряет крутящий момент на валу, кроме того, он обеспечивает второй канал данных о деформации. Он может быть настроен на измерение крутящего момента и другого показателя, например, скорости, чтобы рассчитать мощность на валу. Другим полезным примером измерения может служить крутящий момент, сила тяги, сгибание и нагрузка.

Комплект для испытаний крутящего момента от Datum Electronics не просто измеряет крутящий момент, он может быть использован для проверки мощности на выходе двигателей и моторов. Следующие данные могут быть измерены и проанализированы:

- передача мощности;
- испытания крутящего момента;
- торсионное ускорение;
- мощностные переходные процессы;
- пиковые уровни крутящего момента;
- вибрация вала.

Преимуществом данного комплекта является большая точность и разнообразие полученных данных, недостатком – большая стоимость.

А.2.5 Рассмотрим еще одно устройство, которое можно назвать режимом работы двигателя МТА. Устройство описано в патенте на полезную модель RU174467 МПК G01L3/24, опубликованном 16.10.2017 (таблица А.2, «Устройство контроля загрузочно-скоростных режимов работы машинно-тракторного агрегата»). Полезная модель относится к измерительной технике, в частности к устройствам контроля режимов работы технических устройств, и может быть использована в сельскохозяйственной технике для контроля загрузочно-скоростных режимов работы машинно-тракторного агрегата в эксплуатационных условиях.



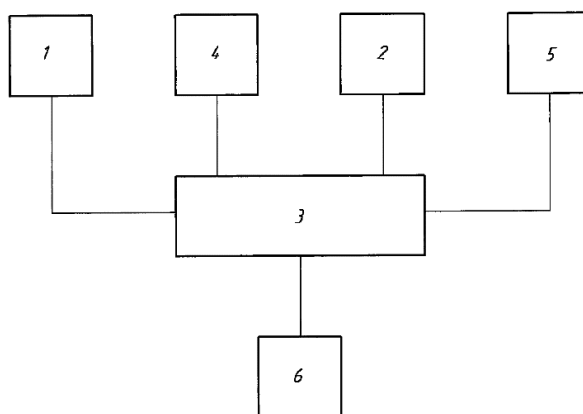


Рисунок А.5 – Блок-схема устройства контроля загрузочно-скоростных режимов работы

Устройство контроля загрузочно-скоростных режимов работы машинно-тракторного агрегата (рисунок А.5) содержит датчик мощности и частоты вращения вала двигателя 1, датчик скорости движения 2, компаратор 3, датчик окружного усилия двигателя 4, датчик тягового сопротивления машинно-тракторного агрегата 5, блок индикации 6.

Устройство контроля загрузочно-скоростных режимов работы машинно-тракторного агрегата работает следующим образом. При работе машинно-тракторного агрегата сигналы от датчика мощности и частоты вращения вала двигателя 1 и датчика окружного усилия двигателя 4 поступают на один из входов компаратора 3, где рассчитываются фактическая мощность двигателя на его коленчатом валу и крюковая мощность. Одновременно на другой вход компаратора поступают сигналы от датчика скорости движения 2 и датчика тягового сопротивления машинно-тракторного агрегата 5, и рассчитывается мощность, затрачиваемая на работу машинно-тракторного агрегата.

Затем компаратор 3 вычисляет загрузенность двигателя, равную мощности, затрачиваемой на работу машинно-тракторного агрегата, деленной на крюковую мощность, и передает значения загрузенности двигателя и скорости движения машинно-тракторного агрегата на блок индикации 6. Это позволяет контролировать требуемую скорость движения машинно-тракторного агрегата и загрузенность двигателя машинно-тракторного агрегата в соответствии с его техническим состоянием.

Устройство на основании величин крюковой мощности, мощности, затрачиваемой на работу машинно-тракторного агрегата, и скорости движения машинно-тракторного агрегата обеспечивает высокую точность определения загрузочно-скоростных режимов работы машинно-тракторного агрегата.

Опытный образец устройства контроля загрузочно-скоростных режимов работы машинно-тракторного агрегата был изготовлен и испытан в лабораторных условиях кафедры технического сервиса, механики и электротехники ФГБОУ ВО Омский ГАУ.

Заявлено, что использование заявляемого устройства контроля загрузочно-скоростных режимов работы машинно-тракторного агрегата позволяет на 30 % увеличить межремонтную наработку двигателя машинно-тракторного агрегата и в 2,5 раза сократить простои машинно-тракторного агрегата во время полевых работ.

А.2.6 Так же за последнее время появилось много способов определения рабочей мощности двигателя с помощью современных систем навигации. Такие примеры описаны в патенте на изобретение CN110702429 МПК G01L3/24, опубликованном 17.01.2020 «Метод мгновенного определения мощности ведущего колеса при вождении автомобиля» и в заявке GR20080100583 МПК G01L3/00, опубликованном 21.04.2010 (таблица А.2, «Метод и устройство для измерения мощности двигателя транспортного средства при движении»).

Изобретение, описанное в патенте GR20080100583, относится к способу, посредством которого, при использовании подходящего устройства выполнения метода, которым может быть, например, устройство определения местоположения (GPS) или устройство мобильной телефонной связи, в которое встроено устройство определения местоположения (GPS) или портативный компьютер, который имеет доступ к устройству GPS – достигается приблизительный расчет мощности или, что то же самое, крутящего момента, который развивает двигатель транспортного средства, движущегося прямо по горизонтальной поверхности. Метод состоит из записи (с помощью устройства определения местоположения) в реальном времени сдвигов ускоряющегося

транспортного средства (первоначально), а затем – свободно замедляющегося (выбегающего) транспортного средства и сохранения в подходящей базе данных мгновенные скорости и ускорения/замедления. Затем, посредством выполнения расчетов по конкретному алгоритму с помощью запрограммированного компьютерного блока, мощность транспортного средства рассчитывается в зависимости от частоты вращения двигателя.

Недостатком такого метода является примерная точность и необходимость разгона энергосредства.

А.2.7 В устройства, регулирующие работу двигателей внутреннего сгорания, которые можно назвать режимомерами, в большинстве случаев заложено управление процессом работы самого двигателя по средствам снятия рабочей мощности или рабочего момента. Пример подобного устройства приводится в патенте на изобретение RU2529983 (приоритетный US2010122688) МПК G01L3/10, опубликованном 20.01.2013 (таблица А.2, «Система управления двигателем с обратной связью»).

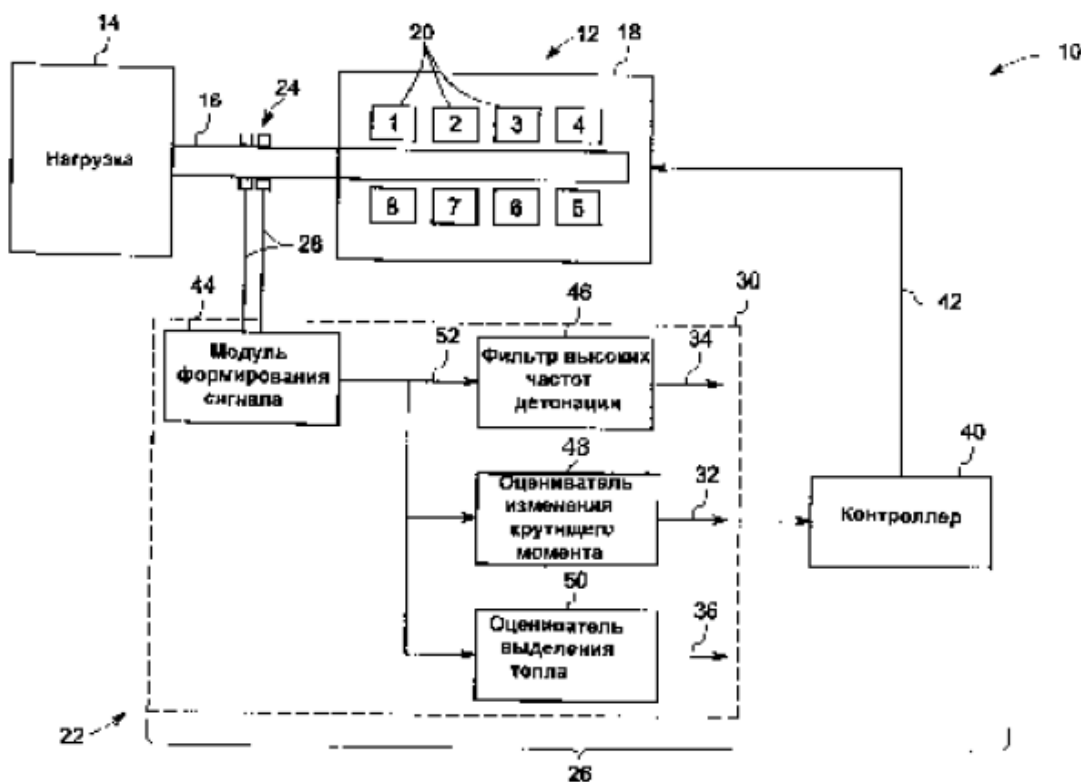


Рисунок А.6 – Принципиальная схема устройства управления двигателем с обратной связью

Изобретение относится к системам обратной связи для двигателей внутреннего сгорания (рисунок А.6). Устройство 10 содержит многоцилиндровый двигатель 12, нагрузку 14, взаимодействующую с двигателем через коленчатый вал 16, магнитный датчик крутящего момента 24, расположенный между двигателем 12 и нагрузкой 14, и модуль управления 26. При этом упомянутый магнитный датчик крутящего момента 24 выполнен с возможностью прямого измерения крутящего момента двигателя 12 и формирования выходного сигнала 28 крутящего момента, указывающего крутящий момент двигателя. Модуль 26 управления соединен с магнитным преобразователем крутящего момента 24 для взаимодействия с ним. Модуль 26 управления содержит модуль 30 сбора данных для приема сигнала крутящего момента 28 и генерации одного или нескольких сигналов управления 32, 34, 36, 38, соответствующих одному или нескольким параметрам сгорания, на основе сигнала крутящего момента 28. Модуль сбора данных 30 включает в себя ВЧ-фильтр для генерации выходного сигнала детонации, сконфигурированного для приема сигнала крутящего момента и генерации выходного сигнала детонации, соответствующего каждому цилиндру двигателя. Модуль 26 управления может управлять одним или несколькими параметрами управления двигателем 12 на основе одного или нескольких параметров сгорания для управления сгоранием в каждом цилиндре двигателя 12. Модуль сбора данных содержит фильтр высоких частот детонации 46, выполненный с возможностью приема сигнала крутящего момента и формирования выходного сигнала детонации, соответствующего цилиндру двигателя из множества цилиндров двигателя, а также оценщик изменения крутящего момента 48, выполненный с возможностью приема сигнала крутящего момента и формирования выходного сигнала, указывающего на пропуск зажигания, соответствующий цилиндру двигателя из множества цилиндров двигателя и оценщик выделения тепла 50, выполненный с возможностью приема сигнала крутящего момента и формирования выходного сигнала, указывающего время сгорания, соответствующее цилиндру двигателя из множества цилиндров двигателя.

Магнитострикционный датчик крутящего момента содержит множество обнаруживающих катушек, расположенных в металлическом корпусе для за-

щиты обнаруживающих катушек от электромагнитных возмущений и обеспечивающих получение измерения крутящего момента, которое не зависит от поперечных движений коленчатого вала, он размещен вокруг коленчатого вала.

А.2.8 Стоит отметить, что существуют также системы измерения мощностных характеристик двигателей, установленные непосредственно на самой сельскохозяйственной машине, на приводном валу энергосредства. При этом такая система измерения является частью оборудования трактора или машины и имеет достаточно сложную структуру. Такой пример приводится в патенте на изобретение SE1650139 МПК G01L5/13, опубликованном 06.08.2017 (таблица А.1 «Метод оценки характеристик двигателя, компьютерная программа и транспортное средство»).

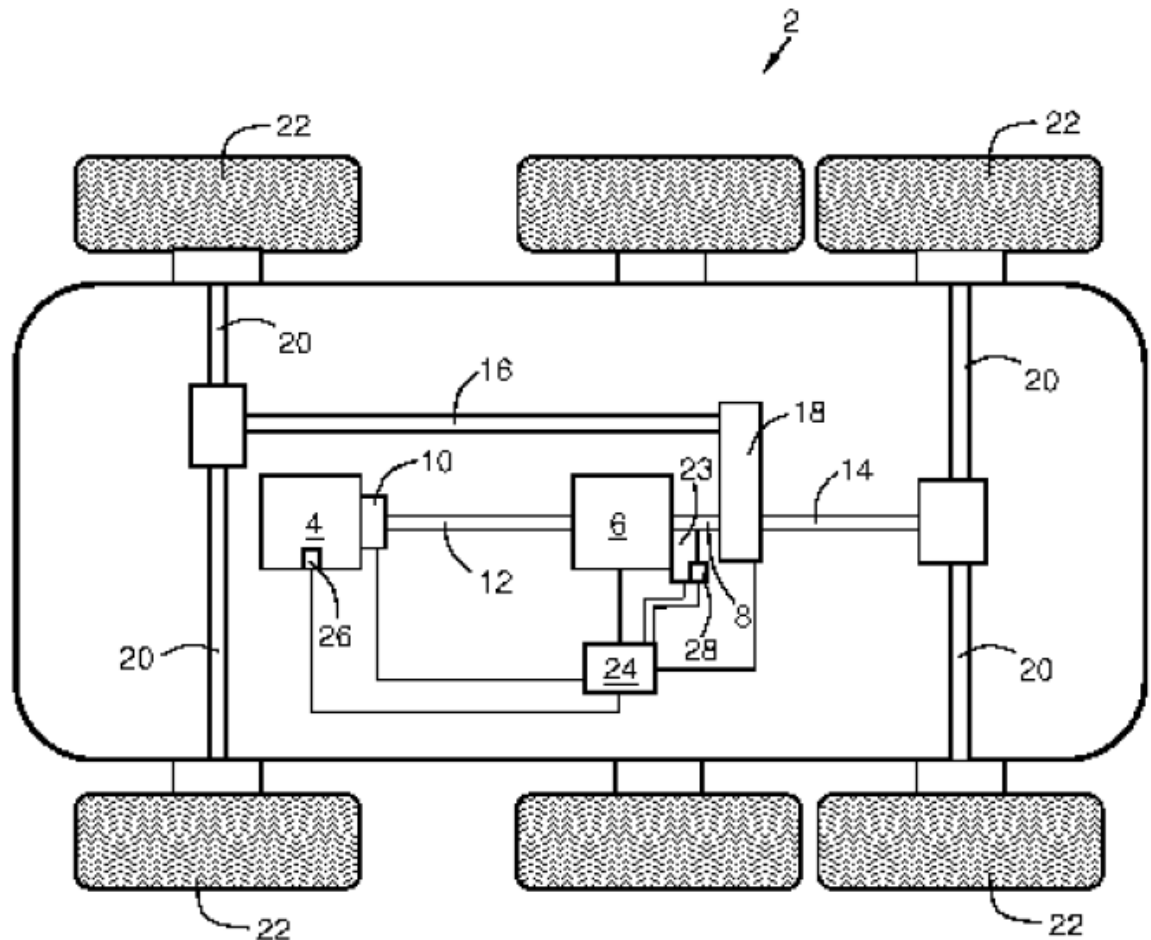


Рисунок А.7 – Принципиальная схема устройства, представленного в патенте SE1650139

Согласно патенту SE1650139, разработанному в Швеции, изобретение (рисунок А.7) описывает способ оценки характеристики двигателя транспортного средства, который включает в себя двигатель 4, трансмиссию 6, соединенную с двигателем 4, выходной вал 8, соединенный с трансмиссией 6, вспомогательный тормоз 23, сконфигурированный для приложения тормозного момента к выходному валу 8, и ведущие колеса 22, приводимые в движение двигателем 4 через трансмиссию 6 и выходной вал 8, при этом способ включает этапы:

- отсоединение выходного вала 8 от ведущих колес 22;
- вращение выходного вала 8 при работающем двигателе 4;
- торможение выходного вала 8 вспомогательным тормозом 23;
- измерение 108 параметра, относящегося к крутящему моменту, прилагаемому вспомогательным тормозом 23. Само измерение осуществляется следующим образом:

- торможение выходного вала первым тормозным моментом, а затем торможение выходного вала 8 вторым тормозным моментом, при этом этап измерения параметра, относящегося к вспомогательному тормозу 23, включает этапы:

- запись первого значения крутящего момента двигателя из устройства измерения крутящего момента двигателя при первом тормозном моменте, запись второго значения крутящего момента двигателя из устройства 26 измерения крутящего момента двигателя при втором тормозном моменте;

- сравнение записанного первого значения крутящего момента вспомогательного тормоза при первом тормозном моменте с зарегистрированным первым значением крутящего момента двигателя, и сравнение записанного второго значения крутящего момента вспомогательного тормоза 23 при втором тормозном моменте с записанным вторым значением крутящего момента двигателя.

- повторение этапов при другой постоянной частоте вращения двигателя.

Компьютерная программа для выполнения способа оценки характеристики двигателя транспортного средства 2 содержит машиночитаемый код,

сконфигурированный для побуждения центрального процессора выполнять способ в соответствии с любым из пунктов, описанных выше.

#### А.2.9 Заключение

На основании анализа технических решений устройств и систем измерения скоростных характеристик двигателей внутреннего сгорания, которые достаточно универсальны для применения в дизельных двигателях, а также методов и способов определения рабочей мощности и рабочего крутящего момента для двигателей энергосредств – предлагается разработать метод определения оптимального режима работы дизельных двигателей в реальном режиме времени, удовлетворяющее действующим требованиям нормативных документов. А также разработать актуальные технические требования к экспериментальному образцу средства измерения, которые удовлетворяли бы современным требованиям и характеристикам, предъявляемым к данному испытательному оборудованию. При разработке системы измерения необходимо использовать современные конструкторские решения.

Средство измерения найдет применение в системе МИС, НИИ Минсельхоза России и стран СНГ, а также в сельхозпредприятиях, занимающихся испытанием сельхозтехники.

Необходимо выполнить НИР с изготовлением экспериментального образца интеллектуальной системы сбора данных для определения потребительских свойств сельскохозяйственной техники и разработать методику измерений.

### А.3 Задание № 2.1.9.4-2020 на проведение патентных исследований

Наименование темы: «Проведение исследований и разработка нового метода определения оптимального режима работы дизельных двигателей в реальном режиме времени»

Шифр задания: 2.1.9

Шифр темы: 2.1.9.4

Этап работы: НИР

Сроки выполнения: январь – март 2020 г.

Задачи патентных исследований: определение технического уровня и разнообразие технологических решений измерительных систем для определения скоростных характеристик двигателей внутреннего сгорания.

Поиск путей решения проблемы конструктивного исполнения системы измерения рабочей мощности двигателя машинно-тракторного агрегата.

#### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Вид патентного исследования	Подразделение – исполнители (соисполнители)	Ответственный исполнитель (Ф.И.О.)	Сроки выполнения патентных исследований. Начало. Окончание.	Отчетный документ
Определение технического уровня и требований к измерительным системам для определения тяговых характеристик энергосредства	Лаборатория разработки средств измерений и программного обеспечения	Таркинский В.Е. Слесарев В.Н. Попелова И.Г.	15.01.2020 – 29.03.2020 г.	Отчет о патентных исследованиях

Руководитель патентного подразделения \_\_\_\_\_ И.Г. Попелова

Руководитель лаборатории \_\_\_\_\_ В.Е. Таркинский

Исполнители работы \_\_\_\_\_ В.Н. Слесарев



#### **А.4 Регламент поиска № 2.1.9.4-2020 от 23.03.2020 г.**

Наименование темы: «Проведение исследований и разработка нового метода определения оптимального режима работы дизельных двигателей в реальном режиме времени»

Шифр задания: 2.1.9

Шифр темы: 2.1.9.4

Номер и дата утверждения задания: № 2.1.9.4-2020 от 21.01.2020 г.

Цель поиска информации: анализ технических решений измерительных систем скоростных характеристик двигателей МТА.

Обоснование регламента поиска: проведен поиск по ОБ «Открытия изобретения», БД ФИПС и ЕРО и Р.Ж. «Изобретения стран мира». Глубина поиска – 12 лет.

Окончание поиска 29.03.2020 г.

Таблица А.1 – Таблица к регламенту поиска

Предмет поиска	Страна поиска	Источники информации, по которым проведен поиск								Ретро-спек- тив- ность	Наименова- ние информа- ционной базы
		Патентные		НТИ		Конъюктурные		другие			
		Наимено- вание	Классифика- ционные рубрики, МПК, МПКО, НКИ и др.	Наиме- нование	Рубрики УДК и др.	Наим енова- ние	Код то- вара: ГС, СМТК, БТН	Наи ме- нова- ние	Класси- фикаци- онные индексы		
Устройства для определе- ния и кон- троля рабочих мощностных характе- ристик двига- теля	РФ, Герма- ния, Китай, Великобри- тания, Швеция, Япония, Греция,	ОБ «От- крытия изобрете- ния»	G01L 3/00 G01L 3/10 G01L 3/24 G01L 3/26 G01L5/13 G01L 5/26 G01M15/00 G01M15/04	Р.Ж. «Со- времен- ные про- блемы науки и образова- ния»,						10 лет	ФГНУ «Рос- НИИТиМ», Изобретения стран мира, Евразийское патентное ве- домство,
Методики и способы определения мощности двигателя	США		G01M17/007 F02D41/00 F02D41/04	«Акту- альные вопросы аграрной науки», «Вестник НГИЭИ»							Банк патен- тов, НПО НАТИ, элек- тронный ре- сурс Internet

## **А.5 Отчет о поиске**

1 Поиск проведен в соответствии с заданием № 2.1.9.4-2020 от 21.01.2020 г и регламентом поиска № 2.1.9.4-2020 от 23.03.2020 г.

2 Этап работы – не имеется.

3 Начало поиска – январь 2020 г. Окончание поиска – март 2020 г.

4 Сведения о выполнении поиска (указывают степень выполнения регламента поиска, отступления от требований регламента, причины их отступления) – поиск выполнен в соответствии с регламентом.

5 Предложения по дальнейшему проведению поиска и патентных исследований – дальнейшее проведение патентного поиска нецелесообразно.

6 Материалы, отобранные для последующего анализа – для последующего анализа отобран следующий информационный материал

- по научно-техническим публикациям;
- по проведенным патентным исследованиям;
- по научно-технической, конъюнктурной, нормативной документации и материалам государственной регистрации;
- по Web-сайтам Интернета.

Патентный поиск проводился на сайтах:

- Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам – ФГУ ФИПС ([www.fips.ru](http://www.fips.ru));
- Евразийского патентного ведомства ([www.espacenet.ru](http://www.espacenet.ru)).

Патентная, научно-техническая, конъюнктурная, нормативная документация и материалы государственной регистрации (отчеты о научно-исследовательских работах) приведены в таблицах А.2, А.3.

Таблица А.2 – Патентная документация

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи, вид и номер охранного документа. Классификационный индекс	Заявитель (патентообладатель), страна, номер заявки, дата приоритета, конвенционный приоритет, дата публикации	Название изобретения (полезной модели, образца)	Сведения о действии охранного документа или причина его аннулирования (только для анализа патентной чистоты)
1	2	3	4	5
Устройства для определения и контроля рабочих мощностных характеристик двигателя	РФ Патент на полезную модель RU174467 G01L3/24	ФГБОУ ВО Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина Редреев Г. В., Козлихина Е. Е., 2017100831 опубл. 16.10.2017 заявл. 10.01.2017	Устройство контроля загрузочно-скоростных режимов работы машинно-тракторного агрегата	Не действует
	РФ Патент на изобретение RU2529983 G01L3/10	GEN ELECTRIC [US] KOPETSEK GERBERT, BIKAS GEORGIOS, ZIKHLER KRISTOF MARTIN 20110118987 опубл. 10.10.2014 заявл. 02.10.2009	Система управления двигателем с обратной связью	Не действует
	РФ Патент на изобретение RU2382997 G01L3/00	ФГОУ ВПО Горский государственный аграрный университет Абаев А. Х., Шанаева Д. А., Абаев А. А. 2008150996 опубл. 27.02.2010 заявл. 22.12.2008	Устройство для измерения крутящего момента двигателя трактора типа «Кировец»	Не действует

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5
	<p>РФ                      Патент на изобретение                      RU2344386                      G01L3/24</p>	<p>ФГБОУ ВПО Военно-технический университет при Федеральном агентстве специального строительства                      Вознюк С. Н.,                      Федоров П. В.,                      Трофимов С. В.,                      2007126827                      опубл. 20.01.2009                      заявл. 16.07.2007</p>	<p>Устройство для контроля и регулирования загрузки дизеля</p>	<p>Не действует</p>
	<p>Великобритания                      Патент на изобретение                      GB2579356                      G01L3/00; G01L5/26;</p>	<p>JAGUAR LAND ROVER LTD [GB]                      TIM KENNEDY, JAMES MCCORRIE, JAMES ANDERSON, RICHARD BUCKINGHAM, DAVID HOWARD SUMMERS                      GB20180019333                      опубл. 24.06.2020                      заявл. 28.11.2018</p>	<p>Метод и устройство контроля двигателя</p>	<p>Действует</p>
	<p>Китай                      Патент на изобретение                      CN108072470                      G01L3/00; G01M17/007</p>	<p>HUACHEN AUTO GROUP HOLDINGS CO LTD                      XU YONG, WANG HUI, ZHAO HENG                      CN20161110284                      опубл. 25.05.2018                      заявл. 17.11.2016</p>	<p>Устройство и способ определения величины колебаний крутящего момента для трансмиссии автомобиля</p>	<p>Действует</p>

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5
	<p>Швеция                      Патент на изобретение                      SE1650139                      G01L3/16; G01L5/13;                      G01M15/04</p>	<p>SCANIA CV AB [SE]                      PATRIK MOLIN                      20160050139                      опубл. 06.08.2017                      заявл. 05.02.2016</p>	<p>Метод оценки характери-                      стик двигателя, компью-                      терная программа и транс-                      портное средство</p>	<p>Действует</p>
	<p>Китай                      Патент на полезную модель                      CN1054242247                      G01L3/24</p>	<p>JINHUA COL PROFESSION                      &amp; TECH                      WANG ZHIMING, ZHOU                      XUAN, CHEN NI, MA                      GUANG, CHEN                      ZHONGZHE, WANG                      JINSHUANG                      CN20151122627                      опубл. 23.03.2016                      заявл. 31.12.2015</p>	<p>Устройство и способ опре-                      деления мощности ком-                      байна</p>	<p>Действует</p>
	<p>США                      Патент на изобретение                      US2016018287                      G01L3/10; G01L3/24</p>	<p>FORD GLOBAL TECH                      LLC[US]                      CIKANEK SUSAN                      REBECCA, BADREDDINE                      BADER M, LUEDTKE                      DANIEL RICHARD, SYED                      FAZAL URRAHMAN                      201414332893                      опубл. 21.06.2016                      заявл. 16.07.2014</p>	<p>Система обнаружения оши-                      бок момента и оценка мо-                      мента</p>	<p>Действует</p>
<p>Методики и способы                      определения мощности                      двигателя</p>	<p>РФ                      Патент на изобретение                      RU2722339                      G01L3/00; G01M15/00</p>	<p>ФГБОУ ВО Уфимский                      государственный нефтяной                      технический университет                      Галеев В. С.                      Сулейманов Р. Н.                      Филимонов О. В.                      2019131285, опубл. 29.05.2020                      заявл. 02.10.2019</p>	<p>Способ измерения крутя-                      щего момента на валу                      двигателя</p>	<p>Действует</p>

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5
	<p>РФ                      Патент на изобретение                      RU2677738                      G01L3/00; G01M17/007</p>	<p>ФГБУ 3 Центральный научно-исследовательский институт Минобороны РФ                      Устименко В. С.                      Орлов А. В.                      Титов Н. А.                      Волкова Ю. В.                      2017142118                      опубл. 21.01.2019                      заявл. 04.12.2017</p>	<p>Способ определения мощности двигателя транспортного средства при заданных полной массе, средней скорости движения и показателе категории испытательной дороги</p>	<p>Действует</p>
	<p>РФ                      Патент на изобретение                      RU2669224                      G01L3/24; G01M15/00</p>	<p>ФГБОУ ВО Новосибирский государственный аграрный университет                      Гуськов Ю. А.                      Курносов А. Ф.                      2017104068                      опубл. 07.08.2018                      заявл. 07.02.2017</p>	<p>Способ определения эффективной мощности двигателя внутреннего сгорания</p>	<p>Не действует</p>
	<p>РФ                      Заявка на изобретение                      RU2014148563                      G01L3/24; G01M15/00</p>	<p>ФГБОУ ВПО Иркутская государственная сельскохозяйственная академия                      Такаландзе Г. О.                      Хабардин В. Н.                      Хабардин С. В.                      Михайлов Н. А.                      2014148563                      опубл. 27.06.2016                      заявл. 02.12.2014</p>	<p>Компьютерный способ контроля эффективной мощности двигателя внутреннего сгорания</p>	<p>Не действует</p>

## Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5
	<p>РФ            Патент на изобретение            RU2589973            G01L3/24; G01M15/00</p>	<p>ФГБОУ ВПО Иркутская государственная сельскохозяйственная академия            Такаландзе Г. О.            Хабардин В. Н.            Хабардин С. В.            Михайлов Н. А.            2014148557            опубл. 20.06.2016            заявл. 02.12.2014</p>	<p>Способ определения эффективной мощности двигателя внутреннего сгорания в процессе разгона</p>	<p>Не действует</p>
	<p>РФ            Заявка на изобретение            RU2013132341            G01L5/13; G01L3/24</p>	<p>ВОЛЬВО ЛАСТВАГНАР АБ[SE]            БРОТЕ Ларс, ЭРИКССОН Андерс            20130132341            опубл. 20.01.2015            заявл. 15.12.2010</p>	<p>Способ калибровки вращающего момента</p>	<p>Действует</p>
	<p>РФ            Патент на изобретение            RU2422787            G01L3/00</p>	<p>ООО "ФЕРРУМ"            Фомин А. Н.            Березин И. Д.            2009146507            опубл. 27.06.2011            заявл. 14.12.2009</p>	<p>Способ контроля мощности двигателя транспортного средства и способ работы бортового компьютера автомобиля</p>	<p>Не действует</p>
	<p>Китай            Патент на изобретение            CN110702429            G01L3/24</p>	<p>LIAONING LONGMA ANTAI NETWORK TECHNOLOGY CO LTD            WU MING            CN20121073298            опубл. 17.01.2020            заявл. 10.06.2019</p>	<p>Метод мгновенного определения мощности ведущего колеса при вращении автомобиля</p>	<p>Действует</p>



Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5
	<p>Китай                      Патент на изобретение                      CN110542562                      G01L3/00; G01M15/04</p>	<p>WEICHAI POWER CO LTD                      TAN ZHIXUE, LIANG JIANXING, WU YUCHEN, LIU CHONG, YANG XINDA                      201910914818                      опубл. 06.12.2019                      заявл. 26.09.2019</p>	<p>Метод определения крутящего момента двигателя на основе сигнала ионизации зажигательного разряда</p>	<p>Действует</p>
	<p>Китай                      Патент на изобретение                      CN106679862                      G01L3/00; G01M15/00</p>	<p>WEICHAI POWER CO LTD                      ZHANG CHENGGUO, LI MING; LI GUANG                      201611269830                      опубл. 17.05.2017                      заявл. 30.12.2016</p>	<p>Метод и система измерения фактического выходного крутящего момента двигателя</p>	<p>Действует</p>
	<p>Китай                      Патент на изобретение                      CN106066222                      G01L3/00</p>	<p>CHANGZHOU ECTEK AUTOMOTIVE ELECTRONICS CO LTD                      SUN JINWEI; ZHANG KEXUN; HAO SHOUGANG; ZHOU TIANYUAN; WANG JINLI; DU JIAEN                      201610444124                      опубл. 02.11.2016                      заявл. 20.06.2016</p>	<p>Метод и система оценки крутящего момента двигателя</p>	<p>Действует</p>

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5
	<p>Япония                      Патент на изобретение                      JP2015113978                      G01L3/00</p>	<p>HYUNDAI MOTOR                      COMPANY CO LTD; KIA                      MOTORS CORP                      KIM JIN SUNG                      20140117807                      опубл. 22.06.2015                      заявл. 06.06.2014</p>	<p>Метод оценки момента                      сцепления трансмиссии</p>	<p>Действует</p>
	<p>Германия                      Заявка на изобретение                      DE102014016398                      G01L3/24; F02D41/04</p>	<p>MAN DIESEL &amp; TURBO                      SE[DE]                      BETZ MARIUS                      201911187579                      опубл. 12.05.2016                      заявл. 05.11.2014</p>	<p>Способ и устройство                      управления при эксплуа-                      тации двигателя внутрен-                      него сгорания</p>	<p>Действует</p>
	<p>Швеция                      Патент на изобретение                      SE1350707                      G01L3/24; F02D41/00</p>	<p>SCANIA CV AB[SE]                      JOHANSSON BJÖRN,                      LARSSON ANDERS                      20160050139                      опубл. 11.12.2014                      заявл. 10.06.2013</p>	<p>Метод оценки момента,                      созданным двигателем                      внутреннего сгорания</p>	<p>Действует</p>
	<p>Корея                      Патент на изобретение                      KR20150059926                      G01L3/24; F16H59/16</p>	<p>KIA MOTORS CORP                      [KR]; HYUNDAI MOTOR                      CO LTD[KR]                      BAEK SEUNG SAM, KIM                      JIN SUNG                      20130143664                      опубл. 03.06.2015                      заявл. 25.11.2013</p>	<p>Методика оценки момен-                      тов сцепления трансмис-                      сии</p>	<p>Действует</p>

Окончание таблицы А.2				
1	2	3	4	5
	Германия Заявка на изобретение DE102009031522 G01L3/00; G01L3/24	BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG[DE] ERBGUTH CARSTEN, KRAEMER GERD 20091031522 опубл. 05.01.2011 заявл. 03.07.2009	Способ определения рабочего крутящего момента в ведущем колесе двигателя внутреннего сгорания автотранспортного средства включает определение динамического крутящего момента на основе изменения квадрата скорости вращения с использованием коэффициента пропорциональности	Действует
	Германия Заявка на изобретение DE102009001128 G01L3/00; G01L3/24	BOSCH GMBH ROBERT [DE] MEHRINGER PAUL 20091001128 опубл. 17.06.2010 заявл. 25.02.2009	Метод определения крутящего момента на коленчатом валу, например, бензиновый двигатель автотранспортного средства, включает определение крутящего момента, лежащего на коленчатом валу, из диапазона колебаний мгновенной скорости вращения коленчатого вала в течение определенного периода	Действует
	Греция Заявка на изобретение GR20080100583 G01L3/00	CHOIDAS DIONYSIOS CHOIDAS DIONYSIOS 20080100583 опубл. 21.04.2010 заявл. 12.09.2008	Метод и устройство для измерения мощности двигателя транспортного средства при движении	Действует

Таблица А.3 – Научно-техническая, конъюнктурная, нормативная документация и материалы государственной регистрации (отчеты о научно-исследовательских работах)

Предмет поиска	Наименование источника с указанием страницы источника	Автор, фирма (держатель) технической документации	Год, место и организация (утверждения, депонирования источника)	Наименование
Методики и способы определения мощности двигателя	Издание «Современные методы диагностики мощностных и экологических характеристик автомобиля», 2010, С. 40 - 42.	Флориан Филлинг	2010, Издательство "Krafthand Walter Shultz GmbH " Haldenwang	
	Журнал «Актуальные вопросы аграрной науки», 2012, №3, С. 5-12.	Мальцев В. А. Упкунов Ю. Н. Иркутская государственная сельхозакадемия	2012 Изд-во «Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского» (Молодежный)	Анализ методов и средств определения мощностных показателей ДВС
Устройство с контролем мощностных характеристик двигателя	Журнал «Вестник НГИЭИ», 2017, №10, С. 45-53.	Габдрафиков Ф. З. Сафина Р. Р. Башкирский государственный аграрный университет	2015 Изд-во «Нижегородский государственный инженерно-экономический институт» (Княгинино)	Математическое описание дизеля машинно-тракторного агрегата с электронным регулятором позиционного воздействия
	<a href="http://www.datum-electronics.ru">http://www.datum-electronics.ru</a>	Datum Electronics Limited Великобритания		Комплект для измерения мощности на валу Серия 430