

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра тракторов и автомобилей

А. В. Захаров, А. В. Ващула, И. О. Захарова

ТЕОРИЯ ТРАКТОРОВ И АВТОМОБИЛЕЙ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по образованию в области сельского хозяйства в качестве
лабораторного практикума для студентов высших учебных
заведений, обучающихся по специальностям 1-74 06 01 Техническое
обеспечение процессов сельскохозяйственного производства,
1-36 12 01 Проектирование и производство
сельскохозяйственной техники*

Минск
БГАТУ
2011

УДК 629.3(07)

ББК 39.33я7

3-38

Рецензенты:

кафедра «Техническая эксплуатация автомобилей» Учреждения образования «Белорусский национальный технический университет»;
зав. лабораторией электрогидравлических систем управления
ОИМ НАН Беларуси, кандидат технических наук, доцент *Е. Я. Строк*

Захаров, А. В.

3-38 Теория тракторов и автомобилей : лабораторный практикум /
А. В. Захаров, А. В. Ващула, И. О. Захарова. – Минск : БГАТУ,
2011. – 140 с.

ISBN 978-985-519-510-9.

В издании на основе новой нормативной базы приведены методики и условия проведения испытаний тракторов и автомобилей; описаны современные системы измерения и регистрации экспериментальных данных, используемые Белорусской машинно-испытательной станцией.

УДК 629.3(07)

ББК 39.33я7

ISBN 978-985-519-510-9

© БГАТУ, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
РАЗДЕЛ 1. ТЯГОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ЭНЕРГООЦЕНКА ТРАКТОРОВ.....	5
Лабораторная работа 1. Тяговые испытания трактора. Тяговые классы.....	5
Лабораторная работа 2. Измерительная и регистрирующая аппаратура для тяговых испытаний и энергооценки тракторов	15
Лабораторная работа 3. Построение тяговой характеристики по результатам испытаний.....	30
Лабораторная работа 4. Методы энергетической оценки сельскохозяйственных машинных комплексов	38
Лабораторная работа 5. Методика калибровки динамометра общего назначения ДПУ-50-1-У2.....	47
Лабораторная работа 6. Методика тарирования и калибровки расходомера топлива «Flow-FCS-3-250»	52
РАЗДЕЛ 2. СТЕНДОВЫЕ И ДОРОЖНЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЯ	61
Лабораторная работа 1. Стендовые и дорожные испытания автомобиля измерительная и регистрирующая аппаратура	61
Лабораторная работа 2. Тягово-скоростные свойства автомобиля с механической трансмиссией.....	73
Лабораторная работа 3. Тормозные свойства автомобиля	83
Лабораторная работа 4. Топливная экономичность автомобиля с механической трансмиссией.....	94
ЛИТЕРАТУРА.....	103
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	107

ВВЕДЕНИЕ

В развитии отечественного сельскохозяйственного машиностроения проявились тенденции применения энергонасыщенных тракторов, в конструкции которых использованы новые технические достижения двигателестроения, электрогидравлики и т. д. В связи с концепцией перехода АПК к предприятиям с большим охватом территории и соответствующим увеличением объема транспортной работы, развитие сельскохозяйственного транспорта становится одним из решающих звеньев производственного процесса.

В связи с этим современная испытательная база тракторов и автомобилей и соответствующая нормативная документация за последние 10 лет получила огромное развитие. Для ее систематизации и принятия общих требований были разработаны ряд международных правил ЕЭК ООН, а на их базе — отечественных ГОСТов.

Поэтому в настоящем лабораторном практикуме, основываясь на современных нормативных документах и литературных источниках по испытаниям, приведены методики и условия проведения тяговых испытаний и энергооценки современных тракторов, а также стендовых и дорожных испытаний автомобилей, измерительная и регистрирующая аппаратура, используемая при их проведении.

Достаточно актуальным является проведение на лабораторных работах экспериментов с использованием компьютера по определению различных свойств и показателей тракторов и автомобилей. Для этого в них изложены подробные алгоритмы, которые могут быть заложены в компьютерные программы расчета. Это позволит на каждом занятии задавать различные исходные данные, а также получать новые результаты и выводы.

РАЗДЕЛ 1

ТЯГОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ЭНЕРГООЦЕНКА ТРАКТОРОВ

Лабораторная работа 1

ТЯГОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТРАКТОРА. ТЯГОВЫЕ КЛАССЫ

Цель работы: изучить методику тяговых испытаний тракторов, измеряемые и рассчитываемые величины; усвоить принятые термины и определения, а также системы классификации тракторов.

Содержание работы

Тяговые испытания проводятся для оценки тягово-динамических и экономических свойств трактора в заданных условиях.

Тяговые показатели определяют в функции от крюковой нагрузки, приложенной к тягово-сцепному устройству.

Методика тяговых испытаний тракторов регламентируется ГОСТ 30745–2001 (ИСО 789–9–90) «Тракторы сельскохозяйственные: определение тяговых показателей».

1. Область применения

ГОСТ 30745–2001 (ИСО 789–9–90) распространяется на сельскохозяйственные тракторы, развивающие тяговое усилие 6 кН и выше, в том числе тракторные самоходные шасси, сельскохозяйственные модификации промышленных тракторов и лесохозяйственные тракторы (далее — тракторы). Стандарт пригоден для целей сертификации.

2. Определения

В данном нормативном документе применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Тяговое усилие — сила, приложенная к сцепному устройству движущегося трактора в горизонтальной плоскости в направлении его продольной оси, поддерживаемая в течение не менее 20 с или времени, необходимого для прохождения расстояния не менее 20 м, в зависимости от того, какое время больше.

Максимальное тяговое усилие — наибольшее горизонтальное усилие в точке соединения со сцепным устройством, ограниченное началом неустойчивой работы двигателя или предельным буксованием движителей.

3. Обозначения и сокращения по ГОСТ 30745–2001

В стандарте применяют следующие обозначения и сокращения:

- $P_{кр. max}$ — максимальное тяговое усилие, Н;
 $P_{кр}$ — тяговое усилие на сцепном устройстве, Н;
 $P_{кр. ср}$ — среднее тяговое усилие, Н;
 h_{max} — высота линии тяги над грунтом, м;
 $G_{п.к}$ — статическая нагрузка передних колес на грунт, Н;
 L — база трактора, м;
 $t_{оп}$ — время опыта, с;
 S — путь, пройденный трактором за опыт, м;
 V_t — расход топлива за опыт, л;
 n_d — частота вращения коленчатого вала двигателя, мин⁻¹;
 m_t — масса трактора, кг;
 $P_{пр}$ — давление в шине (предельное), кПа;
 $v_{ср}$ — средняя скорость трактора за пройденный путь S , км/ч;
 $N_{ср}$ — средняя тяговая мощность за пройденный путь S при средней скорости на участке измерения $v_{ср}$, кВт;
 G_m — расход топлива, кг/ч;
 $\Delta m, \Delta V$ — разности показаний весового устройства или измерителя объема топлива соответственно до и после проведения опыта, кг, см³;
 ρ — плотность топлива при опыте, кг/л;
 q — удельный расход топлива, г/кВт·ч;
 δ — буксование движителя, %;
 n_0, n_0 — частота вращения ведущего колеса при движении трактора без нагрузки и с нагрузкой на крюке за один и тот же отрезок пути, мин⁻¹;
 $\eta_{т.у}$ — тяговый условный коэффициент полезного действия;
 $N_{кр. max}$ — максимальная тяговая мощность на данной передаче, кВт;
 $N_{0 max}$ — максимальная мощность двигателя, определяемая по регуляторной характеристике по данным его тормозных испытаний до и после тяговых испытаний, кВт;
ВОМ — вал отбора мощности.

4. Термины, применяемые в ГОСТ 27021–86

«Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные.

Тяговые классы» и пояснения к ним

Номинальное тяговое усилие сельскохозяйственного и лесохозяйственного трактора — усилие, которое трактор развивает на стерне средней плотности и нормальной влажности почвы (от 8 до 18 %) в зоне максимального значения тягового КПД при эксплуатационной массе, предусмотренной технической характеристикой (для колесных тракторов с балластным грузом) при предельном буксовании, значения которого указаны.

Эксплуатационная масса трактора — масса, состоящая из конструкционной массы трактора с основным оборудованием, массы груза на сиденье, соответствующей массе оператора, массы полной заправки всех емкостей горюче-смазочными материалами и охлаждающей жидкостью, массы инструмента и массы балластных грузов (для колесных тракторов).

Тяговые классы. Тяговые классы тракторов и их номинальные тяговые усилия должны соответствовать величинам, указанным в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Тяговые классы тракторов и соответствующие
им номинальные тяговые усилия

Тяговый класс	Номинальное тяговое усилие, кН
0,2	От 1,8 до 5,4
0,6	Св. 5,4 до 8,1
0,9	» 8,1 » 12,6
1,4	» 12,6 » 18,0
2	» 18,0 » 27,0
3	» 27,0 » 36,0
4	» 36,0 » 45,0
5	» 45,0 » 54,0
6	» 54,0 » 72,0
8	» 72,0 » 108,0

Тяговый класс трактора, указанный в таблице, определяют по значению номинального тягового усилия.

Соотношение между тяговыми классами, представленными в табл. 1.1 стандарта ГОСТ 27021–86, и категориями трактора, установленными международными стандартами ИСО, указано в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Соотношение между тяговыми классами, установленными в табл. 1.1 (ГОСТ 27021–86), и категориями трактора, установленными международными стандартами ИСО 730/1–77, 730/2–79 и 730/3–82

Тяговый класс трактора по табл. 1.1	Ниже 0,6	0,6; 0,9	0,9; 1,4; 2	2; 3; 4	5; 6; 8
Категории трактора по ИСО 730/1–77, ИСО 730/2–79, ИСО 730/3–82	1	1	2	3	4

5. Общие требования к трактору

Испытуемый трактор должен соответствовать спецификации, приведенной в протоколе испытаний.

Перед испытаниями трактор необходимо обкатать с учетом рекомендаций изготовителя в объеме, допускающем последующую полную загрузку трактора по мощности.

Комплектация трактора должна соответствовать указанной изготовителем в руководстве по эксплуатации для использования на работах, требующих максимального тягового усилия.

Типоразмеры шин и давление в них должны соответствовать рекомендациям изготовителя, высота почвозащепов должна быть не менее 65 % от номинальной, а шаг гусеницы не должен превышать номинальный более, чем на 3 %.

Линия действия тягового усилия должна быть горизонтальной и лежать в продольной плоскости симметрии трактора, отклонение от нее не должно превышать 3°.

Высоту сцепного устройства следует оставлять зафиксированной в самом высоком положении, указанном в руководстве по эксплуатации. Для колесных тракторов максимальную высоту приложения тягового усилия $h_{\max}$ в мм рассчитывают по формуле

$$h_{\max} = \frac{0,8 G_{\text{п.к}} L}{P_{\text{кр. max}}},$$

где $G_{\text{п.к}}$ — статическая нагрузка передних колес на грунт, Н;

L — база трактора, м;

$P_{\text{кр. max}}$ — максимальное тяговое усилие на крюке (принимают по конструктивной документации на конкретную модель трактора), Н;

0,8 — коэффициент нагрузки на передние колеса трактора.

Дизельное топливо и смазочные масла, применяемые в тракторе при испытаниях, должны соответствовать требованиям техниче-

ских условий и эксплуатационной документации на трактор конкретной модели. Применяемое дизельное топливо должно иметь плотность $(0,83 \pm 0,01) \text{ т/м}^3$. Рекомендуется применять эталонное дизельное топливо.

Вспомогательное оборудование трактора (например, воздушный компрессор или насос гидросистемы подъемного устройства) при испытаниях отключают только в том случае, если это предусмотрено в руководстве по эксплуатации трактора и может быть выполнено без применения инструмента. В других случаях оборудование должно оставаться включенным и работать с минимальной нагрузкой.

Температура окружающего воздуха в период снятия тяговой характеристики составляет $(23 \pm 7) ^\circ\text{C}$.

Температура охлаждающей жидкости и моторного масла должна соответствовать указанной в руководстве по эксплуатации трактора конкретной модели. При отсутствии таких указаний температура охлажденной жидкости на выходе из двигателя и моторного масла в поддоне двигателя или перед масляным радиатором должна быть в диапазоне от 85 до $95 ^\circ\text{C}$.

Питание двигателя осуществляется через расходомер из его топливного бака. Во время измерения показателей топливный бак должен быть заполнен на $(60 \pm 10) \%$.

Подсоединение устройства для измерения топлива не должно изменять давление перед топливоподкачивающим насосом более чем на 10 кПа .

Допускается питание двигателя топливом из специального бака (например, установленного на динамическом устройстве) при условии сохранения давления перед топливоподкачивающим насосом.

Скорость движения трактора при испытаниях не должна превышать границ безопасности, указанных в технических условиях (ТУ) на конкретную модель трактора.

6. Порядок испытаний

Тяговые показатели определяют нагружением трактора внешней силой, приложенной к сцепному устройству.

При тяговых испытаниях трактор наиболее рационально загружать при помощи специальных тормозных, или динамометрических, тележек. Чаще всего такие тележки создают на базе трактора или автомобиля, у которого вместо двигателя установлен тормоз того или иного типа — механический, гидравлический или электрический. Тележка работает на прицепе у испытываемого трактора. Во время опытов колеса тележки

через трансмиссию вращают вал тормоза, преодолевая приложенный к валу тормозной момент. Регулируя величину тормозного момента, можно менять тяговое сопротивление на крюке трактора. Величина тягового сопротивления замеряется динамометром, устанавливаемым между трактором и тележкой.

В качестве загрузочного устройства можно применять также обычные дизельные тракторы или автомобили, используя дизель как компрессор (рис. 1). Величина тягового сопротивления регулируется путем изменения количества топлива, подаваемого в цилиндры двигателя, и переключения передач в трансмиссии загрузочного трактора.

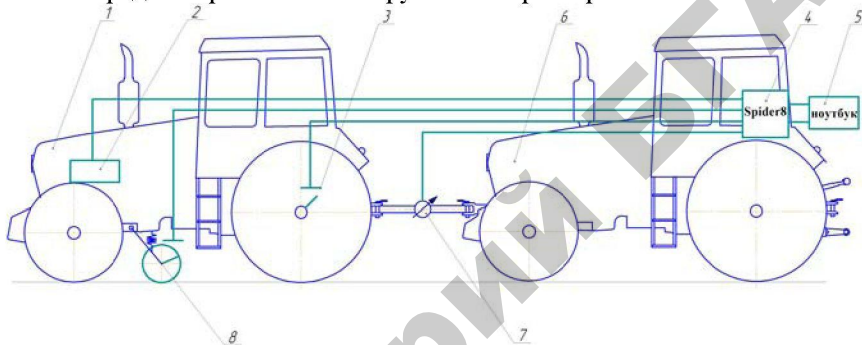


Рис. 1. Принципиальная схема для проведения тяговых испытаний трактора: 1 – испытываемый трактор; 2 – устройство для регистрации расхода топлива за опыт; 3 – устройство для измерения частоты вращения ведущих колес; 4 – цифровой преобразователь (*Spider8*); 5 – устройство для регистрации результатов измерений (ноутбук); 6 – грузочное устройство (трактор); 7 – тяговый динамометр; 8 – путеизмерительное колесо

Почвенные и другие фоны, на которых проводят испытания, приведены в табл. 1.3. Допускается проводить испытания на подвижной поверхности (например, на вращающемся барабане или испытательном стенде с бесконечной лентой), если их результаты соответствуют полученным при испытаниях колесных тракторов на бетонной поверхности, а гусеничных тракторов — на глинистом треке.

Испытания следует проводить при всех вариантах силового привода ведущих колес, предусмотренных конструкцией конкретного трактора и руководством по его эксплуатации.

Измерения начинают после достижения стабильного режима работы трактора. Положение органов управления регулятором частоты вращения коленчатого вала двигателя должно соответствовать полной подаче топлива.

Тяговая нагрузка при испытаниях на почвенных фонах на каждой передаче измеряется последовательно от нуля до максимального значения. Число ступеней нагрузки должно быть достаточным для определения максимальной тяговой мощности.

Таблица 1.3

Почвенные и другие фоны для проведения испытаний

Фоны	Тип трактора	Неплоскостность поверхности в пределах габаритных размеров трактора, мм, не более	Уклон плоскости, прилегающей к поверхности фона, в пределах габаритов трактора, %, не более		Влажность почвы по ГОСТ 20915-86, %	Твердость фона по ГОСТ 20915-86, МПа (кгс/см ²)	Число ударов плотномера, шт. (Твердость фона - по ГОСТ 23734)
			вдоль движения	поперек движения			
Трек с асфальтобетонным или термокадамовым покрытием	Колесный	10	1	1	–	–	–
Глинистый трек	Гусеничный	20	2	6	8–15	4–6 (40–60)	5–12
Стерня колосовых	Колесный и гусеничный	20	2	6	8–22	1,0–1,5 (10–15)	1–3
Поле, подготовленное к посеву	Колесный и гусеничный	20	2	6	8–22	0,1–0,7 (1–7)	5–15

Примечания.

1. Бетон, асфальт или термокадам должны быть очищены от грязи и следов масла.
2. Влажность и твердость почвы определяют в слое глубиной 0–15 см.
3. Площадь наконечника плотномера ДорНИИ при определении твердости фона должна быть 10 см².
4. Высота стерни колосовых не более 15 см, участок должен быть очищен от пожнивных остатков и не иметь свальных и развальных борозд.
5. Твердость фона (см. далее по тексту).
6. В период между последней обработкой почвы и испытаниями общая сумма остатков должна быть не более 3 мм.
7. Выбор почвенных фонов указывается в программе испытаний трактора конкретной модели.
8. Допускается определять тяговые показатели на уклоне 5 % при агрегатировании трактора с различными видами сельскохозяйственных машин.

Максимальное тяговое усилие должно ограничиваться началом неустойчивой работы двигателя или буксованием, предельное значение которого должно быть: на треках не более 7 % — для гусеничных и 15 % — для колесных тракторов и гусеничных с эластичной (резиновой) гусеницей, а на почвенных фонах — 15 и 30 % соответственно.

Измерения проводят при поддержании заданного тягового усилия в течение не менее 20 с или времени, необходимого для прохождения расстояния не менее 20 м, в зависимости от того, какое время больше. На режимах максимальной тяговой мощности на каждой передаче расход топлива измеряют за время прохождения трактором не менее 100 м.

Максимальная тяговая мощность определяется не менее, чем на шести передачах, начиная с передачи, соответствующей скорости движения трактора около 16 км/ч, и заканчивая передачей, на которой допускается развивать максимальное тяговое усилие, не превышая указанный предел буксования.

Если трактор имеет бесступенчатую трансмиссию, то испытания следует проводить при шести значениях передаточных чисел коробки передач, равномерно распределенных в диапазоне скоростей и тяговых усилий.

Если трактор имеет трансмиссию с гидротрансформатором, который может быть заблокирован оператором, то испытания проводят как с работающим, так и с заблокированным трансформатором.

Параметры и пределы основных погрешностей применяемых средств измерений должны соответствовать указанным в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Погрешности средств измерений по ГОСТ 30745–2001

№ п/п	Параметр	Значение, не более
1	Тяговое усилие на сцепном устройстве $P_{кр}$, Н	$0,01 P_{кр}$
2	Продолжительность опыта $t_{оп}$, с	0,2
3	Путь, пройденный трактором $S_{оп}$, м	$0,005 S_{оп}$
4	Суммарное число оборотов ведущих колес за опыт (испытание) n_k	0,2
5	Расход топлива за опыт $\Delta V (\Delta m)$, л (г)	1 % от расхода топлива при работе трактора с номинальной мощностью
6	Частота вращения коленчатого вала двигателя $n_{дв}$, мин ⁻¹	$0,005 n_{д}$

№ п/п	Параметр	Значение, не более
7	Масса трактора m_T , кг	$0,005 m_T$
8	Атмосферное давление, кПа	0,2
9	Давление в шине (предельное) $P_{пр}$, кПа	$0-0,5 P_{пр}$
10	Температура топлива, °С	1,0
11	Температура охлаждающей жидкости в двигателе, °С	2,0
12	Температура масла в двигателе и трансмиссии, °С	2,0
13	Температура окружающей среды, °С	0,5

Примечание. Измерения параметров, указанных в следующих пунктах таблицы, проводят: перед началом испытаний (7, 9); перед каждым испытанием (10–12); в течение испытания (1–6); ежедневно в начале, середине и конце испытаний (8, 13).

В процессе испытаний на основе визуальных наблюдений регистрируют:

- любые значительные вертикальные колебания колес и буксование, при котором они возникли;
- потерю управляемости трактора при максимальных тяговых усилиях.

Твердость и влажность почвенных фонов во время испытаний измеряют ежедневно не менее чем в десяти местах, равномерно расположенных по участку испытаний на глубине 5, 10 и 15 см в каждом месте.

До начала и после испытаний по определению тяговых показателей проводят испытания по определению мощности двигателя через ВОМ в соответствии с ГОСТ 30747–2001.

Результаты измерений обрабатывают в соответствии с целью определения основных тяговых показателей: тяговых усилий, скорости, тяговой мощности, расхода топлива, топливной мощности, расхода топлива, буксования и условного тягового КПД.

Результаты испытаний оформляют в виде отчета.

Содержание отчета по работе

1. Привести краткую методику тяговых испытаний.
2. Дать перечень показателей, замеряемых при тяговых испытаниях.
3. Сформулировать общие требования к испытываемому трактору.
4. Привести допустимые погрешности средств измерений.

Контрольные вопросы

1. Перечислите почвенные фоны, на которых проводят тяговые испытания тракторов.
2. Каким требованиям должны удовлетворять подобранные почвенные и другие фоны для проведения тяговых испытаний?
3. Какие показатели замеряют при тяговых испытаниях?
4. Какие общие требования предъявляются к испытываемому трактору?
5. Какова величина погрешности применяемых средств измерений?
6. Назовите допустимые пределы буксования колесных и гусеничных тракторов при тяговых испытаниях.

Лабораторная работа 2

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ И РЕГИСТРИРУЮЩАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ТЯГОВЫХ ИСПЫТАНИЙ И ЭНЕРГООЦЕНКИ ТРАКТОРОВ

Цель работы: изучить устройство и работу аппаратуры и приборов, применяемых при тяговых испытаниях и энергооценке тракторов, а также методики их калибровки.

Содержание работы

Для замеров, проводимых при тяговых испытаниях тракторов, требуется комплекс соответствующей измерительной и регистрирующей аппаратуры.

1. Регистрирующая аппаратура

Многоканальный накопитель данных и измерительный усилитель Spider8 представляет собой измерительный усилитель, предназначенный для электрических измерений механических величин: деформации, усилия, давления, перемещения, ускорения и температуры (рис. 2).

Общее предварительное формирование сигналов — питание пассивных датчиков и усиление, сканирование — аналогово-цифровое преобразование, оцифровка, сопряжение с компьютером и технология соединения максимум 8 каналов — все это объединено в одном корпусе прибора *Spider8*. Он соединяется с компьютером через порт принтера или через интерфейс RS232.

Все необходимые установки производятся с компьютера с помощью команд; усилитель не имеет потенциометров, переключателей, паяных или вставных перемычек. Необходимость открыть корпус *Spider8* появляется только при установке дополнительных модулей.

Программный комплекс «Catman» многоканального накопителя данных и измерительного усилителя *Spider8*, регистрируя сигналы с датчиков в виде напряжения и других электрических сигналов, пересчитывает в численное значение физической величины на основе заложенной перед измерениями в процессе тарировки зависимости величины электрического сигнала от физической величины. При этом весь процесс регистрации происходит в реальном времени. Отображаются графически полученные данные в зависимости от времени (ось X).

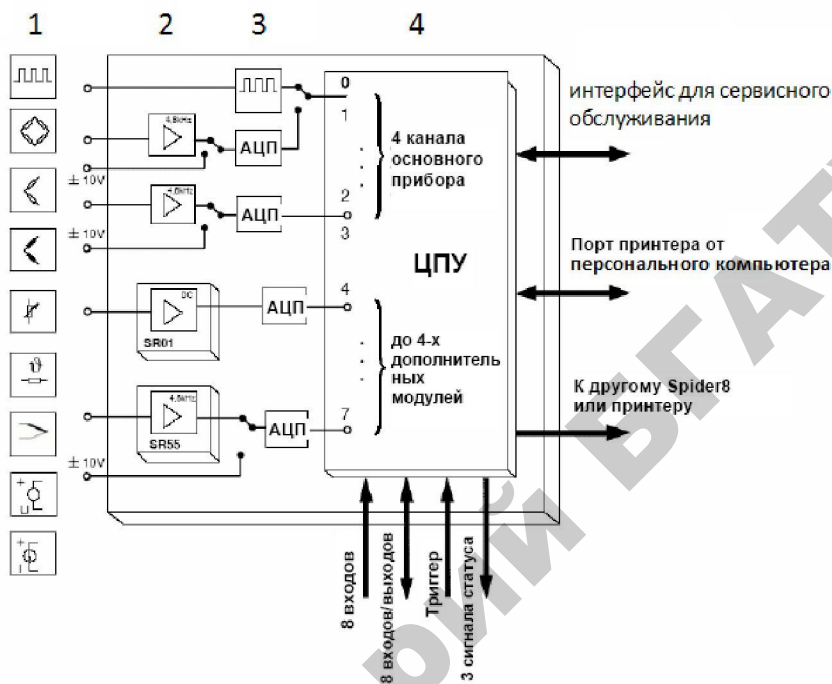


Рис. 2. Схематическое отображение обработки измеряемых сигналов в Spider8:

1 – датчики для измерения механических величин (тензометрические, индуктивные, пьезорезисторные (модуль несущей частоты SR55); канал регистрации внешних источников электрических сигналов (модуль SR01); термопары; 2 – усилители постоянного тока и несущей частоты измерения до 1200 Гц; 3 – аналогово-цифровой преобразователь; 4 – цифровое преобразующее устройство (ЦПУ)

2. Измерительная аппаратура

Тяговые динамографы. Они состоят из датчика силового звена, воспринимающего замеряемое усилие, и регистрирующего устройства, записывающего значения тяговых усилий на движущейся ленте или другом регистрирующем устройстве (экране монитора, дисковом накопителе, принтере).

Связь между измерительным и регистрирующим (обычно ноутбук) устройствами может осуществляться по одной из двух схем:

- аналоговой по пути *измеритель → усилитель → регистратор*;
- цифровой по пути *измеритель → (усилитель) → аналогово-цифровой преобразователь → регистратор*.

При тяговых испытаниях трактора преимущественно применяются гидравлические и тензометрические динамографы.

Принципиальная схема гидравлического динамографа представлена на рис. 3, а. Силовое звено 1 состоит из цилиндра с поршнем, пространство между которыми заполнено маслом. Под действием тягового усилия $P_{кр}$ масло сжимается и давит на плунжер 2, который упирается в рамку 3, подвешенную на пружине. Опускаясь под давлением масла, плунжер перемещает рамку вместе со стрелкой 4 регистрирующего механизма на величину, пропорциональную измеряемой силе $P_{кр}$. Конец стрелки воспроизводит перемещение рамки на градуированной шкале 7, по которой ведется визуальное наблюдение за тяговой нагрузкой. Одновременно игла 6 царапает на движущейся вошеной бумажной ленте динамографа тяговую диаграмму. Лентопротяжный механизм приводится от путеизмерительного колеса гибким валом 8. Игла пишет нулевую отметку. Игольчатый клапан 9 служит для дросселирования масла и гашения колебаний.

При тяговых испытаниях используют также тензометрические динамографы, у которых преобразование механических величин (деформаций силового звена) в электрические осуществляется при помощи проволочных или фольговых тензометрических датчиков омического сопротивления (тензорезисторов). Материал последних (константан или нихром) в процессе деформации меняет сопротивление. Будучи наклеены на деталь, датчики деформируются вместе с ней и реагируют на величину усилия, вызывающего деформацию, соответствующим изменением сопротивления, пропускаемому через них току. Датчики включаются в электрический измерительный мост, содержащий 4 плеча R_1 , R_2 , R_3 и R_4 , перед началом испытаний он приводится в сбалансированное состояние. По закону Кирхгофа условие равновесия измерительного моста имеет следующий вид: $R_1, R_3 = R_2, R_4$.

На рисунке 3, б представлена схема кольцевого тензометрического динамографа, у которого четыре тензорезистора R_1 , R_2 , R_3 , R_4 наклеены на внутренней поверхности стального кольца и включены в четыре плеча измерительного моста. Два тензорезистора R_1 и R_3 размещены в зоне растяжения и два R_2 и R_4 — в зоне сжатия. Результаты измерений регистрируют магнитографом М или милливольтметром Г, включенным в измерительную диагональ. Для ба-

лансировки моста служит потенциометр Б. В запитываемую диагональ от аккумуляторной батареи подается напряжение 12 В.

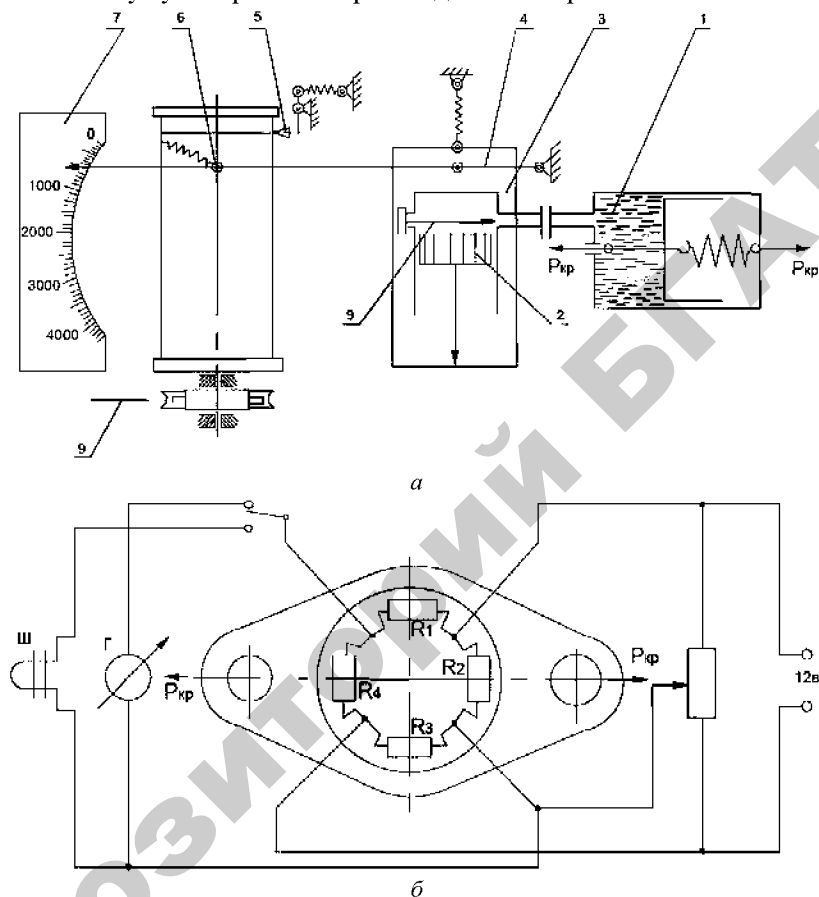


Рис. 3. Принципиальная схема тягового динамографа:
а – гидравлического; б – тензометрического

Тензорезисторы R_1 и R_3 регистрируют деформации растяжения, а тензорезисторы R_2 и R_4 — деформации сжатия, соответственно при деформировании сопротивления R_1 и R_3 возрастут, а сопротивления R_2 и R_4 уменьшатся (рис. 3, б).

При изменении начального омического сопоставления датчиков баланс моста нарушается ($R_1, R_3 \neq R_2, R_4$), в результате чего в его измерительной диагонали возникает ток, сила которого пропорцио-

нальна замерыаемой величине $P_{кр}$. Достоинством мостовой измерительной схемы является линейная зависимость замерыаемого тока от $P_{кр}$.

Максимальная величина относительного изменения омического сопротивления тензорезисторов не превышает 1 %, и непосредственная регистрация замерыаемых величин без предварительного их усиления невозможна. Поэтому в измерительную диагональ электрического моста часто включают электронные устройства (усилители), которые усиливают сигналы, поступающие для записи в микропроцессор.

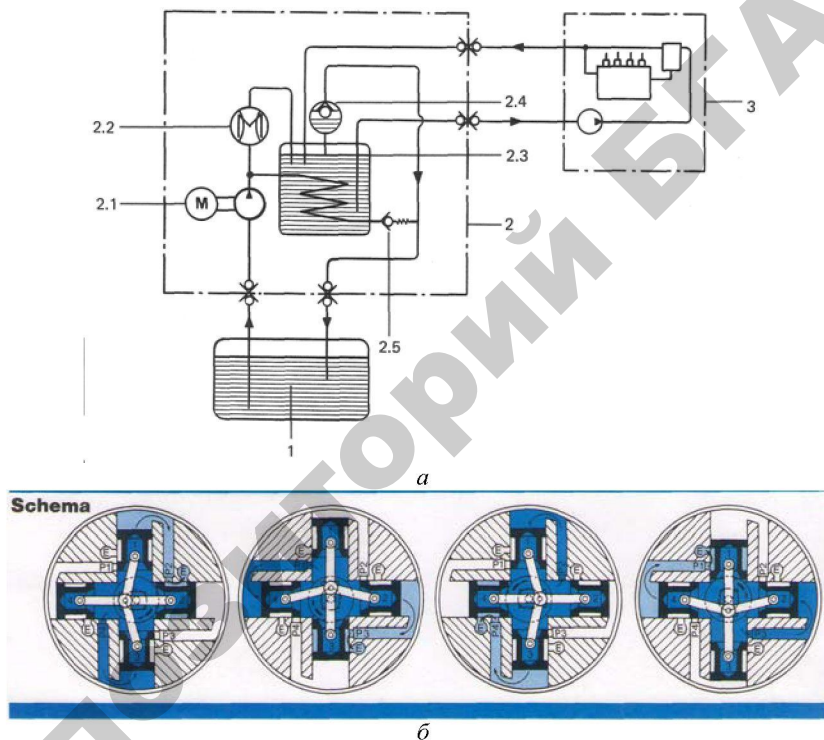


Рис. 4. Схемы расходомера «Flowtronic 210»:

- а* – принципиальная; *б* – механическая 4-поршневого устройства;
 1 – топливный бак; 2 – расходомер «Flowtronic 210»; 2.1 – насос с электромотором;
 2.2 – датчик давления; 2.3 – заборная емкость; 2.4 – клапан системы прокачки;
 2.5 – переливной клапан; 3 – двигатель внутреннего сгорания

Топливные расходомеры. В конструкциях современных топливных расходомеров предусмотрены:

- автоматическое удаление воздуха путем прокачки системы перед и во время процесса измерения;

- гашение колебаний давления топлива, которое обеспечивается специальным демпфером;
- компенсация падения давления топлива, которая производится в измерительном датчике;
- охлаждение и поддержание постоянства температуры топлива, чтобы избежать снижения его плотности при повышении его температуры при работе ДВС.

Обычно применяют расходомеры, которые имеют:

- а) объемный поршневой тип дозирующего механизма;
- б) рабочее давление 5,0 бар;
- в) измерительный диапазон 0,5–150 л/ч;
- г) пропускную способность 250 л/ч;
- д) напряжение питания 12 В;
- е) погрешность измерения 0,5 %.

Для достижения этих показателей, например, расходомер топлива «Flowtronic 210», оборудуют насосом системы охлаждения и теплообменником, 4-клапанной измерительной системой, а также контролером, который компенсирует броски давления в системе клапанов (рис. 4).

Топливные расходомеры CORRSYS DATRON CDS-DFL разрабатывают для оснащения автомобилей и тракторов (рис. 5).

CDS-DFL1 представляют собой высокоточную 4-клапанную систему. Кроме того, в блоках CDS-DFL-WT используют теплообменники. Для повышения точности блок CDS-DFL-WT оборудован насосом системы охлаждения и контроллером давления, которые компенсируют перепады давления в системе клапанов.

Принцип измерения CDS-DFL следующий: избыточный поток топлива от двигателя сливается в топливный бак. Поэтому системы E-, K- и L-Jetronic и дизельные системы впрыска должны анализироваться на правильность учета расхода топлива. Для этих целей в датчиках CDS-DFL/CDS-DFL-WT потребление топлива рассчитывают с использованием значения плотности топлива при постоянной температуре.

Топливомеры CDS-DFL1/CDS-DFL-WT рассчитывают количество топлива в бензобаке, в то время как избыточный поток топлива из двигателя возвращается опять в двигатель. Чтобы предотвратить увеличение потока топлива из-за повышения температуры, CDS-DFL1 дополнительно оборудован теплообменником, в котором топливо приводится к начальной температуре и, следовательно, к начальному объему. Расходомер работает при постоянной температуре и при постоянной плотности топлива.

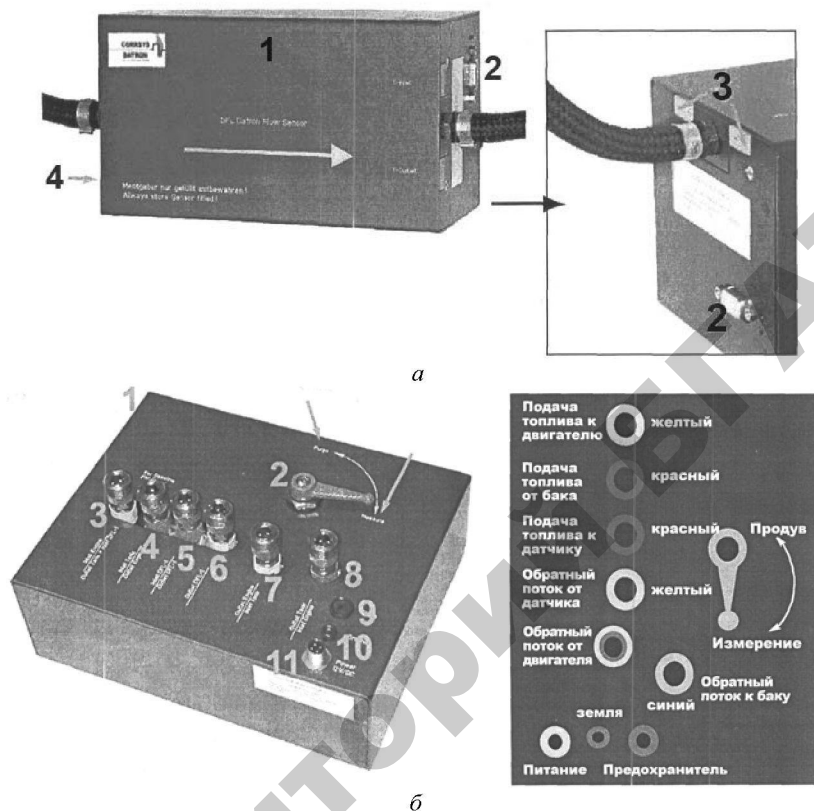
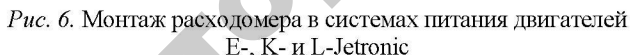


Рис. 5. Топливные расходомеры CORRSYS DATRON CDS-DFL:

- а* – блок измерения CDS-DFL1: 1 – блок CDS-DFL1; 2 – выход сигнала, 9-пин D-Sub; 3 – термовставки (дополнительно); 4 – дополнительный разъем для датчика давления (не показан); *б* – блок измерения и коммуникаций CDS-DFL-WT: 1 – блок CDS-DFL-WT; 2 – дренажный клапан; 3 – нагнетаемый поток к двигателю; 4 – нагнетательный поток от бака; 5 – нагнетательный поток к датчику; 6 – возвратный поток от датчика; 7 – возвратный поток от двигателя; 8 – возвратный поток от бака; 9 – предохранитель; 10 – заземление; 11 – питание

Монтаж расходомера. Системы впрыска топлива требуют разных настроек расходомера:

- 1 группа «Е-, К- и L-Jetronic»;
- 2 группа «Системы однофазного впрыска»;
- 3 группа «Дизельные двигатели с роторным насосом»;
- 4 группа «Карбюраторные двигатели».



4. Установите рукоятку клапана прокачки в положение «Purge» («Прокачка»), затем включите прибор с помощью переключателя «On/Off» («Включение/выключение»).

5. Запустите двигатель и подождите примерно 20 секунд.
6. Установите ручку клапана прокачки в положение «Measure» («Измерение»).

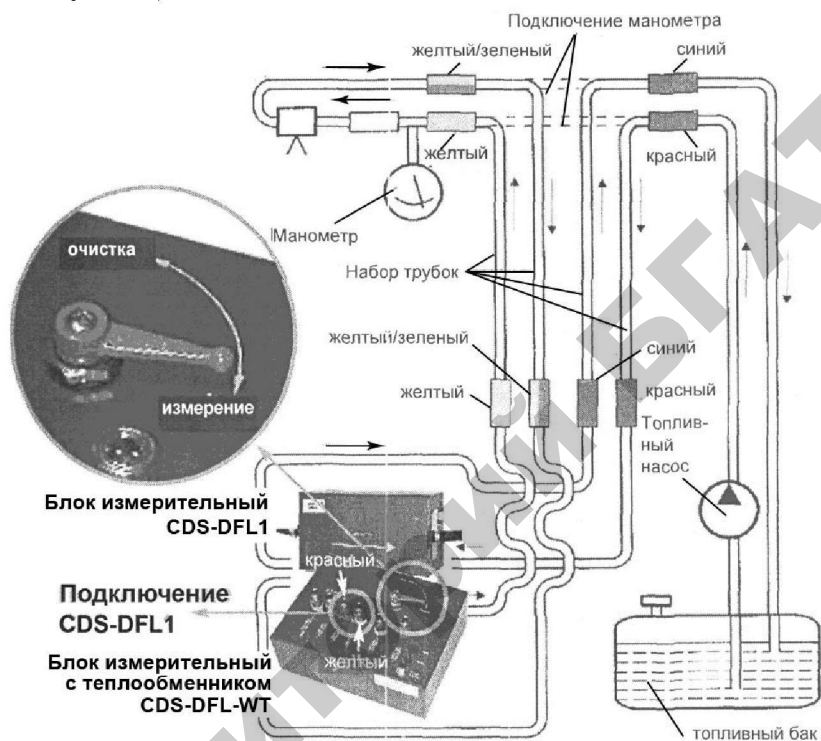


Рис. 7. Монтаж расходомера в системе питания двигателя с однофазным впрыском

Монтаж расходомера в системе питания двигателя с однофазным впрыском выполняется по следующему плану (рис. 7):

1. Отсоедините топливопроводы подводящий и обратного слива и установите 4 соответствующие быстрозажимные муфты.
2. Закройте герметично трубку с помощью зажима, установите блок измерения в линию подачи.
3. Запустите двигатель и проверьте давление с помощью прибора для измерения давления.
4. Установите шланги и снимите зажимы с манометра.
5. Установите регулятор давления в соответствии с цветовой маркировкой трубок:

- подача из бензобака;
- возврат в бензобак;
- измерительный датчик;
- возврат из системы впрыска.

6. Установите рукоятку в положение «Purge» («Прокачка») для прокачки системы, после чего запустите двигатель.

7. Осмотрите соединения на наличие течей, после чего проверьте манометром давление топлива в системе.

8. Установите рукоятку клапана прокачки в положение «Measure» («Измерение»). С помощью регулятора давления, настройте давление по показаниям манометра.

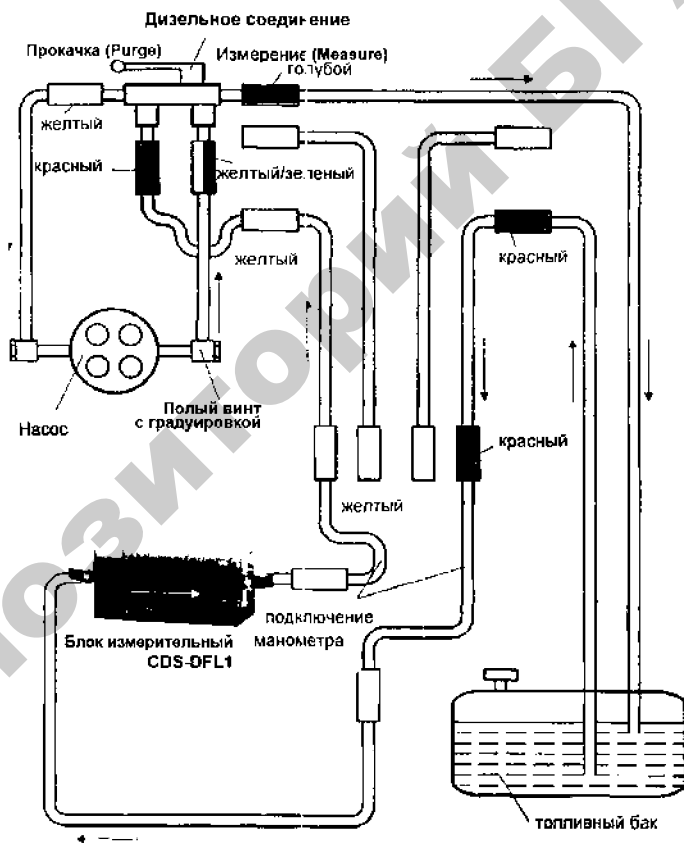


Рис. 8. Монтаж расходомера в системе питания дизельного двигателя с вращающимся насосом (для конструкций без теплообменника)

Монтаж расходомера в системе питания дизельного двигателя с роторным насосом (для конструкций без теплообменника) используется только для систем, в которых отсутствует слив топлива в бак, и выполняется по следующему плану (рис. 8):

1. Отсоедините линии подачи и возврата и установите дизельное соединение для блока измерения CDS-DFL1.

2. Кран, соединяющий линию возврата с насосом, оборудован градуированным игольчатым клапаном. Убедитесь в том, что настройка крана не сбита. Не рекомендуется изменять его настройки.

3. Установите вентиль дизельного адаптера в положение, маркированное желтым цветом («Прокачка»).

4. Запустите двигатель.

5. Подождите 20 секунд, после чего установите клапан в положение, маркированное синим цветом («Измерение») и начните испытание.

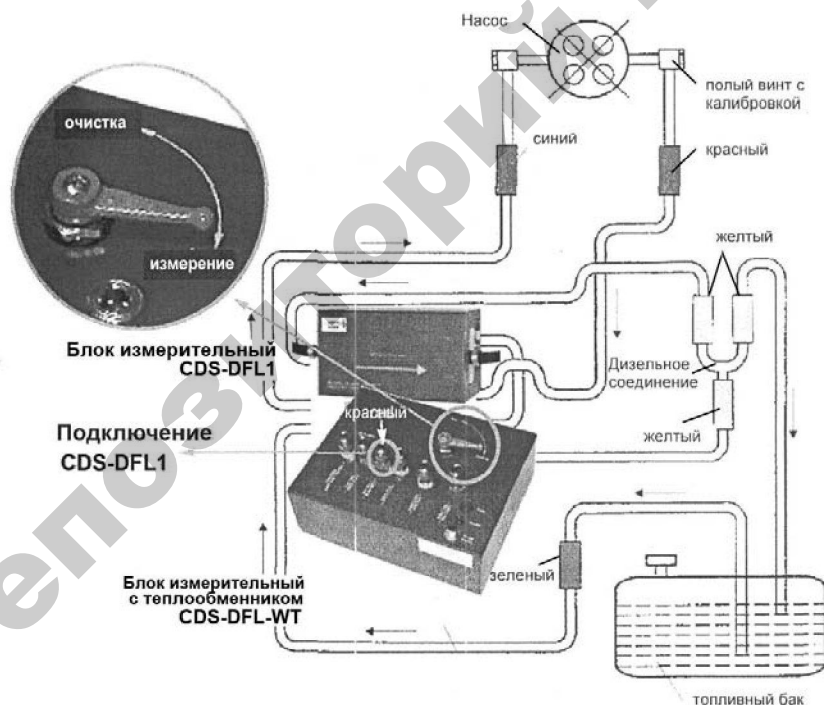


Рис. 9. Монтаж расходомера в системе питания дизельного двигателя с роторным насосом (конструкция с теплообменником)

Монтаж расходомера в системе питания дизельного двигателя с роторным насосом (конструкция с теплообменником) выполняется по следующему плану (рис. 9):

1. Отсоедините линии подачи и возврата и установите дизельное соединение.

2. Кран, соединяющий линию слива с подающим насосом, оборудован градуированным игольчатым клапаном.

3. Не устанавливайте рукоятку в положение «Purge». Система произведет продув автоматически примерно через 1 мин.

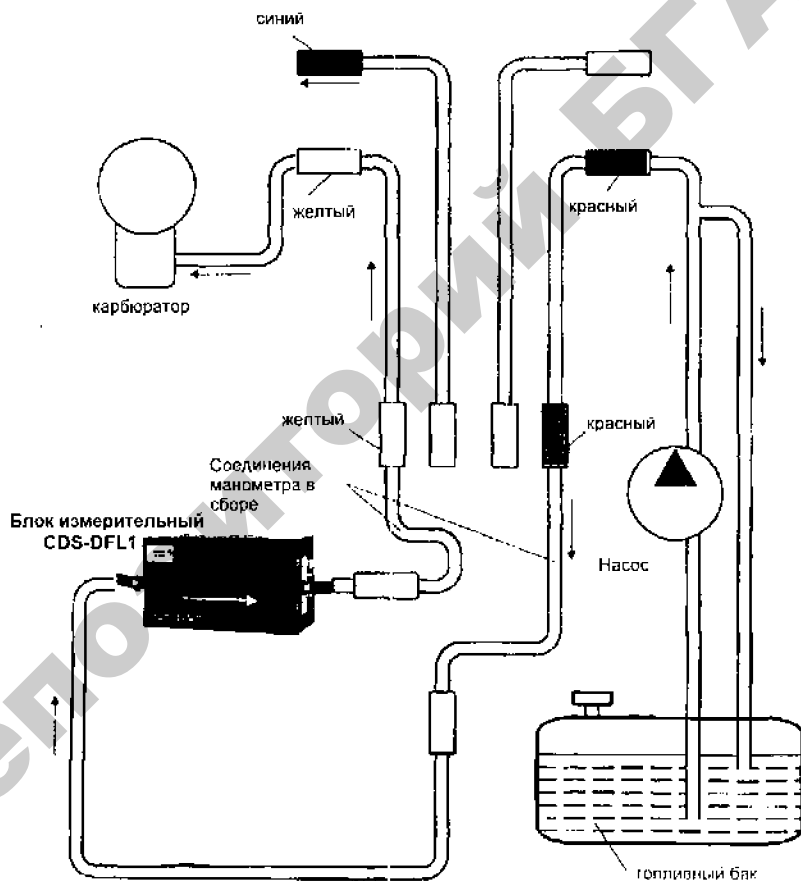


Рис. 10. Монтаж расходомера в системе питания карбюраторного ДВС

Монтаж расходомера в системе питания карбюраторного ДВС (для конструкций без теплообменника) используется только для систем, в которых отсутствует слив топлива в бак, и выполняется по следующему плану (рис. 10):

1. Отсоедините линии подачи от бензонасоса в карбюратор и установите соединение для блока измерения CDS-DFL1.

2. Установите вентиль адаптера в положение, маркированное желтым цветом («Продув»).

3. Запустите двигатель.

4. Подождите 20 с, после чего установите клапан в положение, маркированное синим цветом («Измерение») и начните испытание.

Отметчики частоты вращения путеизмерительных и ведущих колес. Пройденный в процессе испытания трактора путь удобно измерять с помощью путеизмерительного колеса 8 (см. лаб. раб. 1, рис. 1), которое устанавливают между передними и задними колесами для колесных или за трактором — для гусеничных тракторов. Путеизмерительное колесо крепят к трактору и прижимают пружиной к почве усилием, достаточным для обеспечения его качения без скольжения и буксования. На ступице колеса монтируется контактное или бесконтактное устройство, позволяющее за каждый оборот колеса несколько раз периодически посылать импульсы, которые регистрирует микропроцессор.

На рис. 11, а показана одна из схем создания электрических импульсов. На колесе закрепляется диск 1 из изоляционного материала, на котором равномерно по окружности расположены токопроводящие пластины от 1 до 16 штук. Против вращающегося диска 1 устанавливают и фиксируют в неподвижном состоянии второй диск 3, также изготовленный из изоляционного материала. Он имеет два токопроводящих контакта, соединенных проводами с электрической цепью, в которую включены аккумуляторная батарея 4 и счетчик импульсов которым является микропроцессор.

Принципиальная схема бесконтактного устройства для замера частоты вращения показана на рис. 11, б.

Бесконтактный отметчик частоты вращения работает следующим образом: в обычном положении ЭДС не генерируется, сигнал поступает от индуктивного датчика 1.

Вблизи полюсов датчика 1 (рис. 11, б) проходит флажок 1 (рис. 11, а) из магнитного материала, связанный с осью колеса. В катушках магнита наводится переменная ЭДС, поступает сигнал и записывается отметка частоты вращения путеизмерительного колеса.

Для замера частоты вращения ведущих колес применяются аналогичные контактные или бесконтактные отметчики.

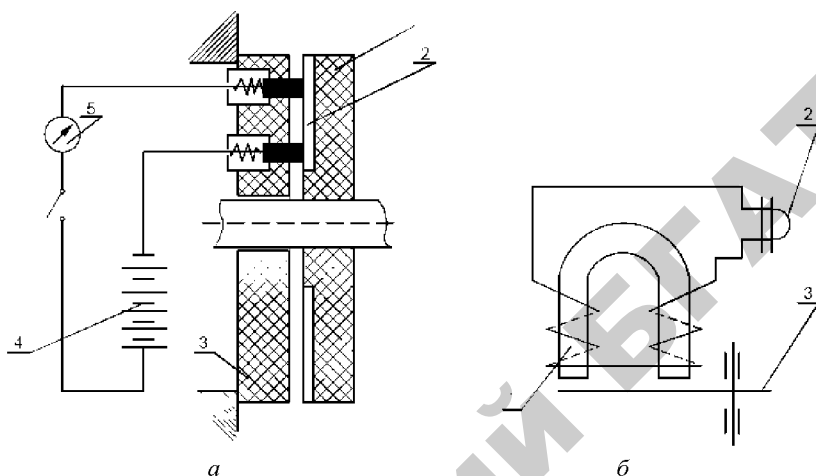


Рис. 11. Схема создания импульсов при определении частоты вращения колес: а – контактным, б – бесконтактным

Содержание отчета по работе

1. Привести принципиальную схему отображения и обработки измеряемых сигналов в *Spider8*.
2. Зарисовать схемы установки измерительного блока расхода топлива в различных системах питания топливом.
3. Изобразить схемы силоизмерительных и путеизмерительных датчиков, используемых при тяговых испытаниях.

Контрольные вопросы

1. Определите принципиальное назначение и опишите работу многоканального накопителя данных и измерительного усилителя *Spider8*.
2. Какие приборы используют для измерения (определения):
 - а) тягового усилия трактора;
 - б) пройденного пути при его испытаниях;
 - в) расхода топлива;
 - г) частоты вращения ведущих и путеизмерительных колес трактора?

3. Каков принцип работы тензометрического датчика и тензометрического тягового звена? (Укажите достоинства мостовой измерительной схемы).

4. Как работают бесконтактные отметчики оборотов ведущего и путеизмерительного колес трактора?

5. За счет каких конструктивных мероприятий достигается повышение точности замера топлива в расходомерах CORRYSY DATRON CDS-DFL?

6. Какие особенности системы питания дизельных и карбюраторных ДВС необходимо учитывать при замерах расхода топлива? Назовите особенности систем питания:

- Common Rail типов E-, K- и L-jetronic;
- традиционных однофазного впрыска;
- традиционных без слива топлива в бак;
- карбюраторных.

Лабораторная работа 3

ПОСТРОЕНИЕ ТЯГОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ

Цель работы: приобрести навыки построения и анализа тяговой характеристики трактора по экспериментальным данным.

Содержание работы

1. Тарирование тягового динамометра в составе измерительного комплекса *Spider8*

Для тарирования тезометрического силоизмерительного звена в комплексе со *Spider8* в программе «Catman» имеется встроенный модуль «Calibration». Интерфейс модуля представлен на рис. 12.

Наименование единицы измерения	Тяговое усилие	CALIBRATION
	$P_{кр}$, кН	U_v , mV
	0	0
	10,1	5,1
	20,2	10,0
	29,8	15,2
	40,1	20,1
	50,2	24,9
Значение усилия $P_{кр}$, задаваемого на поверочном стенде и контролируемого образцовым динамометром		Величина сигнала U_v на выходе из тарируемого динамометра
OPEN	SAVE	CLOSE
открыть	сохранить	закрывать

Рис. 12. Интерфейс модуля «Calibration» программы «Catman»

Для проведения тарирования тяговый динамометр закрепляется на поверочном стенде либо в разрывной машине последовательно с образцовым динамометром, имеющим точность как минимум на один класс точности выше, и подключается к *Spider8*. После загрузки на компьютере программы «Catman» активируется встроенный модуль «Calibration». В строки «Наименование» и «Единицы измерения» вводятся название измеряемой величины и обозначение единиц измерения, в которых в последующем будет удобно прово-

дить замеры. Затем на стенде задается усилие и показания образцового динамометра вносятся в левый столбец. После этого курсор переносится на соответствующую ячейку правого столбца и после двойного щелчка система автоматически определяет соответствующее значение выходного сигнала с динамометра в милливольт-тах. Затем операции повторяются на следующей ступени нагружения до достижения максимально допустимого усилия. На основании накопленных данных программа автоматически рассчитывает

масштабный коэффициент $\mu_{кр} = \frac{P_{кр}}{U_v}$ и при проведении тяговых ис-

пытаний отражает значения тягового усилия непосредственно в кН.

В случае линейности шкалы динамометра и отсутствия гистерезиса достаточно оттарировать только две точки: ноль и максимальное значение. При нелинейности $\mu_{кр} \neq \text{const}$ необходимо также снять несколько промежуточных точек, и чем их будет больше, тем точнее будут рассчитаны масштабные коэффициенты. При наличии гистерезиса динамометр подлежит ремонту вплоть до переклейки тензометрических датчиков. Основные сведения о калибровочном оборудовании и метрологических характеристиках динамометра общего назначения ДПУ-50-1-У2 приведены в лаб. раб. 5.

2. Тарирование отметчиков оборотов ведущих и путеизмерительных колес

Чтобы найти величину буксования *экспериментальным путем*, нужно замерять во время испытаний действительные радиусы качения ведущих колес r и теоретические радиусы r_k , по-

скольку $\delta = 1 - \frac{v}{v_T} = 1 - \frac{r}{r_k}$. По ГОСТ 30745–2001 (ИСО 789–9–90)

на методы полевых испытаний сельскохозяйственных тракторов это требование выполняется следующим образом: действительный радиус качения определяется путем замера числа оборотов $n_{\text{раб}}$ ведущих колес за время прохождения мерного гона длиной S при работе в соответствующих почвенных условиях с заданной нагрузкой на крюке. Искомый радиус качения подсчитывается из соотношения:

$$S = 2\pi r n_{\text{раб}},$$

откуда

$$r = \frac{S}{2\pi n_{\text{раб}}}.$$

Точный замер теоретического радиуса затрудняется, во-первых, практической невозможностью создать условия движения ведущих колес без буксования, а во-вторых, тем, что величина этого радиуса зависит от действующей на колесо нормальной нагрузки, которая в процессе работы может меняться. Поэтому ГОСТ 30745–2001 установил *приближенный метод* определения теоретического радиуса ведущих колес, основанный на следующих двух допущениях:

1) принимается, что при установившемся холостом ходу трактора на горизонтальном участке ведущие колеса не буксуют;

2) считается, что теоретический радиус ведущих колес имеет на данном почвенном фоне постоянное значение, не зависящее от нагрузки на крюке и других условий движения.

Исходя из этих допущений, искомую величину теоретического радиуса определяют путем замера числа оборотов $n_{\text{хол}}$ ведущих колес за время прохождения ими на опытном участке мерного гона длиной S при движении трактора холостым ходом. Таким образом,

$$S = 2\pi r_{\text{к}} n_{\text{хол}},$$

откуда

$$r = \frac{S}{2\pi n_{\text{хол}}}.$$

Так как при работе трактора под нагрузкой ведущие колеса из-за буксования проходят за один оборот меньший путь, чем при движении вхолостую, то получаем следующее неравенство:

$$n_{\text{раб}} > n_{\text{хол}}.$$

Определив значения r и $r_{\text{к}}$, находим искомую величину буксования по формуле

$$r = 1 - \frac{r}{r_{\text{к}}} = 1 - \frac{n_{\text{хол}}}{n_{\text{раб}}} = \frac{n_{\text{раб}} - n_{\text{хол}}}{n_{\text{раб}}} \cdot 100 \%.$$

Некоторое повышение точности замеров может быть достигнуто, если замерять число оборотов $n_{\text{хол}}$ при движении по твердой дороге, где буксование ведущих колес на холостом ходу можно практически считать равным нулю. Хотя на твердой дороге радиальные деформации шин при прочих равных условиях несколько больше, чем на более мягких почвах, но вносимые этим погрешности перекрываются устранением буксования ведущих колес. Таким образом, величина теоретического радиуса при ее определении приближенным методом получается более близкой к действительности, чем при определении ее по методике, установленной ГОСТ 30745–2001.

3. Алгоритм расчета тяговых показателей трактора по результатам тяговых испытаний

Теоретическую скорость движения определяют из выражения

$$V_T = \frac{S_{\text{теор}}}{t_{\text{оп}}},$$

где $S_{\text{теор}}$ — теоретический путь опыта, м;
 $t_{\text{оп}}$ — время опыта, с.

Теоретический путь опыта получают по формуле

$$S_{\text{теор}} = \frac{2\pi r_i n_i}{m_i},$$

где r_i — кинематический радиус качения колес трактора (для марки «БЕЛАРУС 2522» $r_{\text{п}} = 0,675$ м – передних и $r_{\text{к}} = 0,907$ м – задних);

m_i — количество импульсов за один оборот заднего колеса $m_{\text{к}} = 23$ и переднего $m_{\text{п}} = 8$;

n_i — число зафиксированных импульсов отметчика частоты вращения.

Среднюю рабочую скорость движения определяют как отношение действительного пути опыта ко времени работы (опыта):

$$V_P = \frac{S_{\text{оп}}}{t_{\text{оп}}}.$$

Путь опыта измеряют с помощью счетчика оборотов путеизмерительного колеса

$$S_{\text{оп}} = \frac{2\pi r_{\text{пк}} n_{\text{пк}}}{m_{\text{пк}}},$$

где $n_{\text{пк}}$ — число импульсов, зафиксированных счетчиком оборотов путеизмерительного колеса;

$r_{\text{пк}}$ — радиус качения путеизмерительного колеса, м;

$m_{\text{пк}}$ — количество импульсов за один оборот путеизмерительного колеса ($m_{\text{пк}} = 43$).

Тогда

$$V_p = \frac{2\pi r_{\text{пк}} n_{\text{пк}}}{m_{\text{пк}} t_p}.$$

Расход топлива в кг/ч получают из выражения

$$Q_T = 3,6 \frac{\Delta V \rho}{t_{\text{оп}}},$$

где ρ — плотность (объемная масса) топлива (для дизельного топлива $\rho = 0,85 \text{ г/см}^3$), г/см^3 ;

ΔV — разность показаний за опыт измерителя объема топлива, см^3 .

Последнюю величину вычисляют по формуле

$$\Delta V = m_T \mu_T,$$

где m_T — количество отметок расхода топлива на измеряемом участке;

μ_T — масштаб расходомера топлива, $\text{см}^3/\text{имп}$.

Среднюю тяговую мощность в кВт рассчитывают по формуле

$$N_{\text{кр}} = P_{\text{кр}} V_p \cdot 10^{-3}.$$

Удельный расход топлива в $\text{г/кВт}\cdot\text{ч}$ находят из следующего выражения:

$$g_{\text{кр}} = \frac{Q_T}{N_{\text{кр}}} \cdot 10^3.$$

Буксование δ в % для каждого движителя рассчитывают по формуле

$$\delta = 1 - \frac{n'_0}{n_0},$$

где n'_0, n_0 — частота вращения ведущего колеса при движении трактора без нагрузки и с нагрузкой на крюке при одной и той же длине гона, мин^{-1} .

Условный тяговый КПД трактора

$$\eta_{\text{тяг}} = \frac{N_{\text{кр}}}{N_e},$$

где N_e — максимальная мощность двигателя по регуляторной характеристике, кВт;

$N_{\text{кр}}$ — максимальная тяговая мощность на данной передаче, кВт.

По полученным расчетам строится тяговая характеристика трактора (рис. 13).

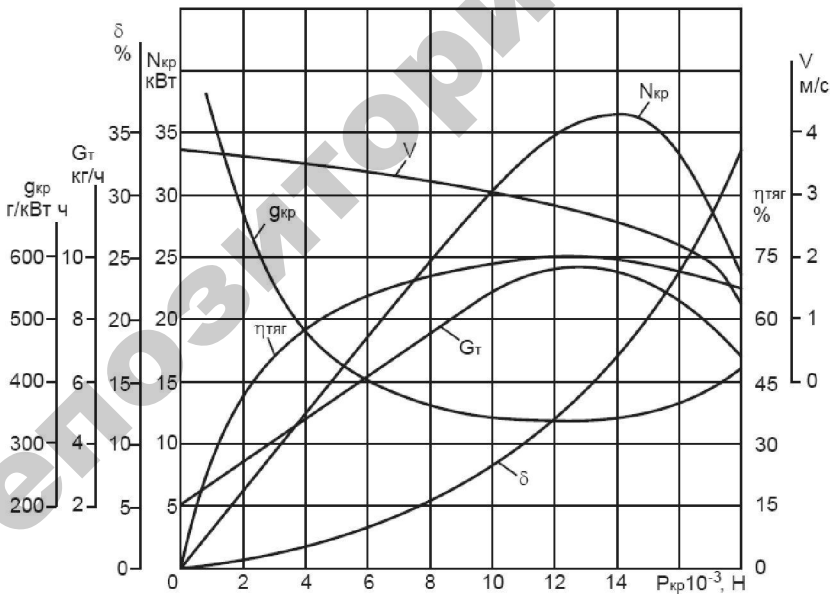


Рис. 13. Образец тяговой характеристики трактора, построенной по экспериментальным данным

Таблица 1.5.

Показатели, полученные при тяговых испытаниях трактора класса _____ на стерне озимой ржи

Ступень нагруз- ки	U, В	n _h , от/м	n _m , от/м	m _T , от/м	N _{кр} , кВт	Параметры, определяемые по результатам испытаний								
						P _{кр} , Н	V _T , м/с	V _p , м/с	N _{кр} , кВт	Расход топлива		δ, %	η _{кр} , %	
										Q _{гр} , кг/ч	g _{кр} , г/кВт·ч			
1														m _n = 43 об/отм m _i = 23 об/отм μ _T = 5 см ³ /отм ρ = 0,85 г/см ³
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														

Пример анализа тяговой характеристики трактора

По мере роста тягового усилия на крюке трактора крюковая мощность пропорционально увеличивается от 0 до $N_{кр}^{max}$ кВт. Последнее примерно соответствует номинальному тяговому усилию для данного класса трактора. Это усилие трактор должен развивать на невзлущенной стерне нормальной влажности (15–18 %) и средней твердости (на черноземе или суглинке); при этом буксование ведущих органов у колесного трактора данного типа (4К2) не должно превышать 18 % (4К4 — 16 % и гусеничных — 5 %).

При увеличении тягового усилия свыше $P_{кр}^H$ тяговая мощность уменьшается, так как двигатель работает на перегрузочных режимах; частота вращения вала двигателя снижается, и скорость движения трактора резко уменьшается. Хотя усилие на крюке растет, из-за падения скорости тяговая мощность падает.

Содержание отчета по работе

1. Привести краткую методику обработки показаний датчиков и определения тяговых показателей по результатам испытаний.
2. Зарисовать образец тяговой характеристики с расшифровкой всех показателей.
3. Проанализировать величины показателей, полученных в результате тяговых испытаний: $P_{кр.ср}$, $V_{ср}$, $N_{кр}$, Q_T , $g_{кр}$, δ для двух-трех значений нагрузки.

Контрольные вопросы

1. Какие показатели записывают в микропроцессоре при тяговых испытаниях трактора?
2. Расскажите порядок обработки показаний датчиков для расчета показателей тяговой характеристики: а) $P_{кр.ср}$; б) $V_{ср}$; в) $N_{кр}$; г) Q_m ; д) δ .
3. По каким зависимостям можно определить: $P_{кр.ср}$, $V_{ср}$, $N_{кр}$, Q_m , $g_{кр}$, δ ?
4. Какие параметры необходимо замерить при тяговых испытаниях, чтобы определить: а) $P_{кр.ср}$, б) $V_{ср}$, в) $N_{кр}$, г) Q_m , д) $g_{кр}$, е) δ ?

Лабораторная работа 4

МЕТОДЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Цель работы: изучить методы энергетической оценки машинных комплексов и самоходных сельскохозяйственных машин.

Содержание работы

1. Область применения

ГОСТ 24057–88 «Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки машинных комплексов, специализированных и универсальных машин на этапе испытаний» распространяется:

- на самоходные сельскохозяйственные машины с приводом от двигателя внутреннего сгорания;
- сельскохозяйственные машины навесные, полунавесные и прицепные, присоединяемые к трактору.

Стандарт устанавливает номенклатуру энергетических показателей и общие методы их определения при испытаниях вышеперечисленных типов машин.

2. Термины и определения

В стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

Технологическая операция — направленное воздействие на почву, сельскохозяйственную продукцию и другой технологический материал с целью достижения заранее намеченного изменения их свойств, состояния или формы.

Сельскохозяйственная машина — машина или орудие, осуществляющее воздействие на почву, растение, сельскохозяйственную продукцию и другой типологический материал.

Самоходная сельскохозяйственная машина — сельскохозяйственная машина, имеющая в своем составе источник энергии и привод на ходовое устройство, рабочие механизмы.

Машинно-тракторный агрегат (МТА) — сельскохозяйственный агрегат, состоящий из трактора и присоединяемых к нему сельскохозяйственных машин.

Трактор — самоходная машина на колесном или гусеничном ходу, приводимая в движение установленным на ней двигателем, предназначенная для приведения в действие присоединяемых к ней сельскохозяйственных машин (навесных, прицепных или полунавесных) и привода стационарных машин (агрегатов).

Энергетическая оценка — определение затрат энергии, потребляемой сельскохозяйственной машиной или агрегатом на выполнение технологических операций.

Технологический цикл — совокупность циклически повторяющихся и последовательно совершаемых технологических операций.

3. Общие положения

Энергетическую оценку сельскохозяйственных машин и агрегатов проводят с целью определения затрат энергии на выполнение технологических операций.

Количество режимов должно устанавливаться стандартами на машины конкретных типов.

При отсутствии в стандартах на машины конкретных типов указания на варианты режимов работы энергооценку проводят не менее, чем на трех режимах, при которых устойчиво выполняется технологический процесс.

Средства измерений должны быть поверены или калиброваны в соответствии с требованиями национальных стандартов.

Результаты испытаний записывают в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Форма для записи результатов испытаний

Показатель	Значение показателя
Режим работы: скорость движения, км/ч ширина захвата, м глубина хода рабочих органов, см производительность, га/ч (т/ч, т·км/ч) и др. в зависимости от типа машины Расход топлива, кг/ч Мощность, потребляемая машиной, агрегатом, кВт Удельные энергозатраты машины, МДж/га (МДж/т, МДж/т·км) Тяговое сопротивление машин, Н Мощность, затрачиваемая на привод рабочих органов, кВт	

4. Показатели энергетической оценки и методы их определения

4.1. Показатели энергетической оценки

Расчетная схема современного почвообрабатывающе-посевного МТА показана на рисунке 14. Силовая передача современного МТА является трехпоточной. Мощность ДВС затрачивается на привод:

- колес трактора N_k ;
- рабочих органов сельскохозяйственного орудия через ВОМ $N_{\text{ВОМ}}$;
- рабочих органов сельскохозяйственного орудия с помощью

ГСОМ $N_{\text{ГСОМ}}$.

На каждом режиме работы сельскохозяйственной машины или агрегата должны быть выполнены не менее четырех измерений каждой измеряемой величины, продолжительностью не менее 20 с.

При энергетической оценке сельскохозяйственных машин с приводом от двигателя внутреннего сгорания трактора определяют следующие показатели:

- часовой расход топлива G_T ;
- мощность, потребляемую сельскохозяйственной машиной, N_M ;
- удельные энергозатраты $E_{\text{вд}}$, МДж/га (МДж/т, МДж/т·м);
- тяговое сопротивление навесных, полунавесных и прицепных сельскохозяйственных машин, присоединяемых к трактору $R_{\text{тяг}}$;
- мощность $N_{\text{ВОМ}}$ и $N_{\text{ГСОМ}}$, потребляемую на привод рабочих органов навесных, полунавесных и прицепных сельскохозяйственных машин.

Показатели энергетической оценки самоходной сельскохозяйственной машины с приводом от двигателя внутреннего сгорания трактора:

- время опыта $t_{\text{оп}}$;
- количество топлива, израсходованного за время опыта $G_{\text{оп}}$;
- длину пути, пройденного самоходной машиной $S_{\text{оп}}$;

Показатели энергетической оценки навесных, полунавесных или прицепных сельскохозяйственных машин.

1) для машин без привода рабочих органов от трактора:

- время опыта $t_{\text{оп}}$;
- тяговое сопротивление при выполнении технологических операций $R_{\text{тяг}}$;
- длину пути, пройденного МТА за время опыта, $S_{\text{оп}}$;

2) для машин с приводом рабочих органов от вала отбора мощности трактора дополнительно:

- крутящий момент вала отбора мощности $M_{\text{ВОМ}}$;
- частоту вращения вала отбора мощности $n_{\text{ВОМ}}$;

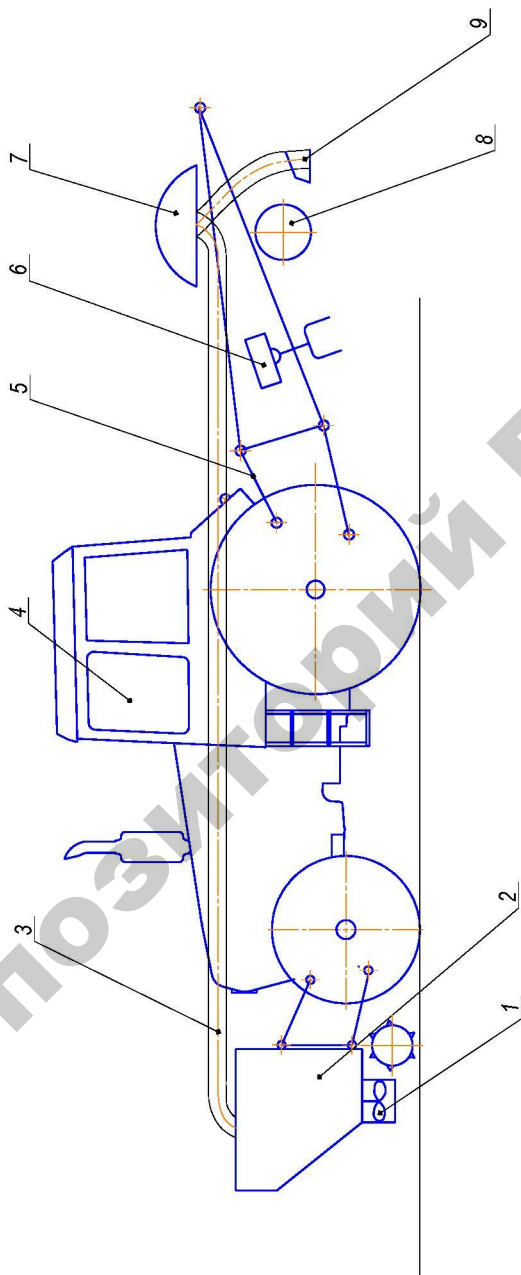


Рис. 14. Схема современного почвообрабатывающе-посевого агрегата в транспортном положении.

1 – гидромотор вентилятора; 2 – бункер для семян; 3 – трубопровод системы пневмотранспорта;
4 – трактор «БЕЛАРУС 2522/ДВ»; 5 – навесное устройство; 6 – редуктор привода ротационного культиватора;
7 – пневматическая распределительная головка; 8 – гребнеобразователь; 9 – сошник

3) для машин с гидравлическим приводом от трактора на рабочие органы дополнительно к показателям пункта 1:

- расход рабочей жидкости, поступающей в механизмы привода рабочих органов, $Q_{ж}$;

- перепад давлений рабочей жидкости между входящей и выходящей линиями гидравлического привода Δp .

Допустимые погрешности измерений приведены в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Допустимые погрешности измерений

Показатель	Относительная погрешность измерения
Время измерения $t_{оп}$, с	$\pm 0,2$
Длина пути $S_{оп}$, пройденная сельскохозяйственной машиной, %	$\pm 1,0$
Частота вращения $n_{в\text{ом}}$, %	$\pm 1,0$
Тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины $R_{тяг}$, %	$\pm 2,5$
Количество израсходованного топлива за время опыта $G_{оп}$, %	$\pm 1,5$
Крутящий момент $M_{в\text{ом}}$, %	$\pm 2,5$
Давление рабочей жидкости p , %	$\pm 2,0$
Расход рабочей жидкости $Q_{ж}$, %	$\pm 2,0$

Информацию о месте и дате испытаний, условиях и режимах работы, марке испытуемой машины, результатах измерений регистрируют на носителе информации или заносят в журнал испытаний.

4.2. Определение показателей энергетической оценки

4.2.1. Определение потребляемой мощности

Мощность $N_{м}$, потребляемую самоходной сельскохозяйственной машиной с приводом от двигателя внутреннего сгорания трактора, определяют по регуляторной характеристике зависимости часового расхода топлива $Q_{т}$ от $N_{е}$.

Регуляторная характеристика двигателя представлена в ГОСТ 30745–2001 и ГОСТ 30747–2001. Данный показатель следует определять перед проведением испытаний с установленным на сельскохозяйственных машинах или агрегатах устройством для измерения расхода топлива.

При загрузке двигателя внутреннего сгорания более, чем 100 % из двух значений мощности, полученных при одинаковом часовом расходе топлива, выбирается то, которое соответствует измеренной частоте вращения коленчатого вала n_d .

Часовой расход топлива G_T в кг/ч вычисляют по формулам:

$$G_T = 3,6 \frac{G_{\text{оп}}}{t_{\text{оп}}};$$

$$G_T = 3,6 \frac{V_{\text{оп}} \rho}{t_{\text{оп}}},$$

где $t_{\text{оп}}$ — время измерения, с;

$V_{\text{оп}}$ — объем топлива, израсходованного двигателем самоходной сельскохозяйственной машины или трактора за время опыта, см³;

ρ — плотность топлива при стандартной температуре ($\rho = 0,85$ г/см³), г/см³.

Мощность, потребляемую навесными, полунавесными, прицепными, сельскохозяйственными машинами N_m в кВт вычисляют по формулам:

– для сельскохозяйственных машин без привода рабочих органов от трактора:

$$N_m = 10^{-3} R_{\text{тяг}} v,$$

где $R_{\text{тяг}}$ — тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, Н;

$v_{\text{тяг}}$ — поступательная скорость движения, м/с;

– для сельскохозяйственных машин с приводом рабочих органов от вала отбора мощности трактора

$$N_m = 10^{-3} R_{\text{тяг}} v + N_{\text{ВОМ}},$$

где $N_{\text{ВОМ}}$ — мощность привода рабочих органов от ВОМ, кВт;

– для сельскохозяйственных машин с гидравлическим приводом рабочих органов

$$N_m = 10^{-3} R_{\text{тяг}} v + N_{\text{ГСОМ}},$$

где $N_{\text{ГСОМ}}$ — мощность гидравлического привода на рабочие органы, кВт.

Мощность, потребляемую навесными, полунавесными и прицепными сельскохозяйственными машинами N_m , допускается вычислять по формуле

$$N_{\text{м}} = N_{\text{МТА}} - N_{\text{фт}},$$

где $N_{\text{МТА}}$ — мощность, затрачиваемая МТА при выполнении технологических операций, кВт;

$N_{\text{фт}}$ — мощность, потребляемая на самопередвижение трактора, кВт.

В этом случае при испытаниях дополнительно измеряют следующие показатели:

- частоту вращения коленчатого вала двигателя трактора $n_{\text{д}}$, мин⁻¹;
- объем топлива, израсходованного двигателем машинно-тракторного агрегата и трактора при движении его без сельскохозяйственной машины $V_{\text{оп}}$, см³.

Мощности $N_{\text{МТА}}$ и $N_{\text{фт}}$ определяют по величинам часового расхода топлива $G_{\text{т.а}}$ и $G_{\text{т.с}}$ методом, изложенным в пункте «Определение мощности, потребляемой самоходной сельскохозяйственной машиной».

Мощность, потребляемую на привод рабочих органов навесных, полунавесных, прицепных сельскохозяйственных машин вычисляют по формулам:

- для сельскохозяйственных машин с приводом рабочих органов от ВОМ трактора $N_{\text{ВОМ}}$ в кВт получают из выражения:

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

где $M_{\text{ВОМ}}$ — крутящий момент на хвостовике вала отбора мощности, Н·м;

$n_{\text{ВОМ}}$ — частота вращения хвостовика вала отбора мощности, об/мин;

- для сельскохозяйственных машин с гидравлическим приводом рабочих органов $N_{\text{г}}$ в кВт вычисляют по формуле

$$N_{\text{г}} = \Delta p Q_{\text{ж}},$$

где Δp — перепад давлений между входящей и выходящей гидравлическими линиями привода, МПа;

$Q_{\text{ж}}$ — расход рабочей жидкости, дм³/с.

4.2.2. Определение показателей энергетической оценки сельскохозяйственных машин или агрегатов с циклическим режимом работы

Среднюю мощность за время цикла $N_{\text{Мср}}$ в кВт вычисляют по формуле

$$N_{\text{Мср}} = \frac{\sum_{i=1}^1 N_{\text{М}} t_1}{t_u},$$

где $N_{\text{М}}$ — мощность, потребляемая сельскохозяйственной машиной или агрегатом при выполнении технологической операции, кВт;

t_1 — время одной технологической операции, с;

t_u — время технологического цикла, с;

i — число технологических операций в цикле.

Мощность наиболее энергоемкой операции цикла $N_{\text{Мmax}}$ в кВт вычисляют по формуле

$$N_{\text{Мmax}} = N_{\text{Мi max}}.$$

Поступательную скорость движения сельскохозяйственной машины v в м/с вычисляют по формуле

$$v = \frac{S_{\text{оп}}}{t},$$

где $S_{\text{оп}}$ — длина пути, пройденного сельскохозяйственной машиной за время опыта, м.

4.2.3. Определение тягового сопротивления навесных, полунавесных или прицепных сельскохозяйственных машин, присоединяемых к трактору

Тяговое сопротивление навесных, полунавесных или прицепных сельскохозяйственных машин определяют прямым или косвенным измерением.

При определении мощности, потребляемой сельскохозяйственной машиной, по расходу топлива тяговое сопротивление $R_{\text{М}}$ в Н вычисляют по формуле

$$R_{\text{М}} = 10^3 \frac{(N_{\text{МТА}} - N_{\text{ВОМ}} - N_{\text{JT}})}{v}.$$

Тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины $R_{\text{М}}$ в Н определяют по формуле

$$R_m = R_{MTA} - R_{ft},$$

где R_{MTA} — тяговое сопротивление машинно-тракторного агрегата при выполнении технологических операций, Н;

R_{ft} — тяговое сопротивление трактора при его движении без сельскохозяйственной машины, Н.

Удельные энергозатраты сельскохозяйственных машин и агрегатов $E_{уд}$ измеряют в МДж/га, МДж/т·км, МДж/кг.

$E_{уд}$ для сельскохозяйственных машин и агрегатов с приводом от двигателя внутреннего сгорания или трактора вычисляют по формуле

$$E_{уд} = \frac{N_m}{W_0},$$

где W_0 — производительность машины, агрегата за час основного времени, га/ч; т·км/ч.

Результаты испытаний сельскохозяйственных машин или агрегатов по определению показателей энергетической оценки записывают в табл. 1.6.

Содержание отчета по работе

1. Провести энергооценку машинно-тракторного агрегата.
2. Дать перечень показателей, измеряемых и рассчитываемых при энергооценке.
3. Заполнить форму результатов энергооценки.

Контрольные вопросы

1. Сколько потоков мощности передает силовая передача современного трактора?
2. Какие показатели энергетической оценки измеряют при выполнении технологических операций в следующих режимах:
 - для самоходных машин при движении без тяговой нагрузки;
 - для сельскохозяйственных машин с приводом рабочих органов от вала отбора мощности;
 - для сельскохозяйственных машин с гидравлическим приводом рабочих органов?
3. Какие показатели рассчитывают по итогам энергетической оценки при выполнении технологических операций?

Лабораторная работа 5

МЕТОДИКА ТАРИРАВАНИЯ И КАЛИБРОВКИ ДИНАМОМЕТРА ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ ДПУ-50-1-У2

Цель работы: изучить понятие и назначение тарирования и калибровки средств измерений, неопределенности измерений, а также методику проведения калибровки динамометра общего назначения ДПУ-50-1-У2.

Содержание работы

Методика устанавливает требования к методам и средствам калибровки, оформлению результатов калибровки, регламентирует алгоритм оценки неопределенности измерения значения тягового усилия калибруемым динамометром.

Основные сведения о калибровочном оборудовании приведены в приложении 1.

1. Операции и средства калибровки

При проведении калибровки динамометра ДПУ-50-1-У2 выполняются операции и применяются средства калибровки, указанные в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Необходимые операции и применяемые средства
при калибровке динамометра

Операция	Средства калибровки и их основные метрологические характеристики
1. Подготовка к калибровке	—
2. Внешний осмотр	—
3. Опробование (проверка функционирования)	Стенд ТУД-5 для градуировки и поверки тяговых динамометров Динамометр образцовый сжатия ДОСМ-3-5 ГОСТ 9500–84, 5,0–50,0 кН, 3-й разряд
4. Определение метрологических характеристик. Определение погрешности показаний динамометра ДПУ-50-1-У2	Стенд ТУД-5 для градуировки и поверки тяговых динамометров Динамометр образцовый сжатия ДОСМ-3-5 ГОСТ 9500–84, 5,0–50,0 кН, 3-й разряд

2. Проведение калибровки

Опробование (проверка функционирования). При опробовании калибруемый динамометр 1 устанавливается на стэнд 4 при помощи соответствующих серьг и пальцев (рис. 15). При этом один конец звена следует присоединить к серье нижней опоры стэнда, а другой подвесить к реверсивной скобе. Установить ноль на индикаторе динамометра. Вращением штурвала 5 стэнда 4 добиться изменения показателей образцового динамометра 2. Штурвал 6 должен вращаться плавно, без заеданий.

При опробовании также проверяется диапазон нагрузок.

Вращением штурвала 6 стэнда необходимо добиться показания образцового динамометра 2 равного 50,0 кН. При этом не должно наблюдаться деформаций реверсивных скоб, серьг и пальцев.

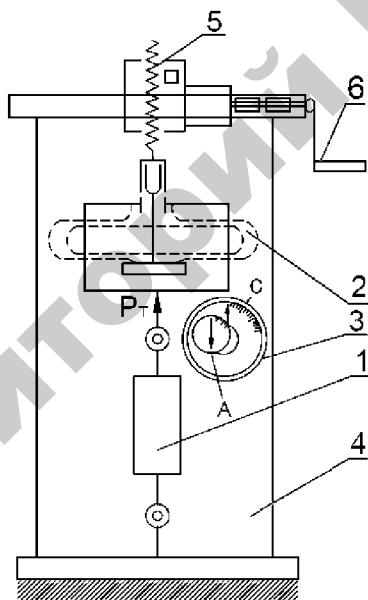


Рис. 15. Схема калибровки тягового динамометра:

- 1 – динамометр ДПУ-50-1-У1; 2 – образцовый динамометр ДОСМ-3-5;
3 – индикатор; 4 – стэнд ТУД-5; 5 – шпindel червячного редуктора; 6 – штурвал

3. Определение метрологических характеристик

Определение погрешности показаний динамометра ДПУ-50-1-У2 и расширенной неопределенности выполняются путем сравнения

показаний калибруемого динамометра с показаниями динамометра образцового ДОСМ-3-5, подвешиваемого на шпindel с помощью реверсивных скоб, служащих для преобразования растяжения в усилие сжатия.

Динамометры ДПУ-50-1-У2 при испытаниях сельскохозяйственной техники применяют с тракторами класса 1,4; 2,0; 3,0 и 4,0. Калибровка динамометра производится на двух ступенях нагружения 20 и 40 кН (40 и 80 % от максимального диапазона нагрузок).

На каждой ступени нагружения (20 кН и 40 кН по шкале образцового динамометра) проводят по 10 наблюдений за показаниями калибруемого динамометра при монотонном увеличении растягивающего усилия F_{jin} (нагрузка).

Результаты измерений, зарегистрированные калибруемым динамометром на каждой ступени нагружения, записывают в протокол калибровки (прил. 2, табл. П.2.2).

В соответствии с методикой тарировки, описанной в лаб. раб. 3, рассчитываем масштаб измерений $\mu_{кр} = \frac{P_{кр}}{U_v}$.

Средний масштаб динамографа в кН/мВ определяют по следующей формуле:

$$\mu_{ср} = \frac{\sum \mu_{кр}}{5}.$$

По пяти текущим значениям масштаба $\mu_{кр}$ определяется действительное значение $\mu_{ср}$ как среднее арифметическое из пяти измерений. Это и будет искомое значение масштаба.

Затем определяется абсолютная максимальная Δ_{max} и относительная $\delta_{отн}$ погрешности измерения в кН/мВ.

$$\Delta_{max} = \mu_{кр.max} - \mu_{ср} \text{ или } \Delta_{max} = \mu_{ср} - \mu_{кр.min},$$

где $\mu_{кр.max}$ и $\mu_{кр.min}$ — максимальное и минимальное текущее значение масштаба динамографа соответственно.

Максимальная погрешность определяется по одной из вышеприведенных зависимостей с тем, чтобы получить наибольшую абсолютную величину погрешности.

Относительная погрешность измерения

$$\delta_{\text{отн}} = \frac{\Delta_{\text{max}}}{\mu_{\text{ср}}} \cdot 100 \, \%.$$

По относительной погрешности делается вывод о пригодности динамометра к проведению тяговых испытаний, сравнивая полученное значение с допустимой погрешностью измерения $P_{\text{кр}}$ (табл. 1.4) из лаб. раб. 1.

Полученные данные сводятся в табл. 2.4. Строится тарировочный график $h = f(P_T)$ (рис. 16).

Таблица 2.4

Результаты тарирования тягового динамометра						
Нагрузка, $P_{\text{кр}}$, кН	Ордината отклонения			Масштаб, $\mu_{\text{ф}}$ кН/мВ	Погрешность измерений	
	при нагрузке	при разгрузке	средняя		Δ_{max} , Н/мВ	$\delta_{\text{отн}}$ %
10						
20						
30						
40						
50						

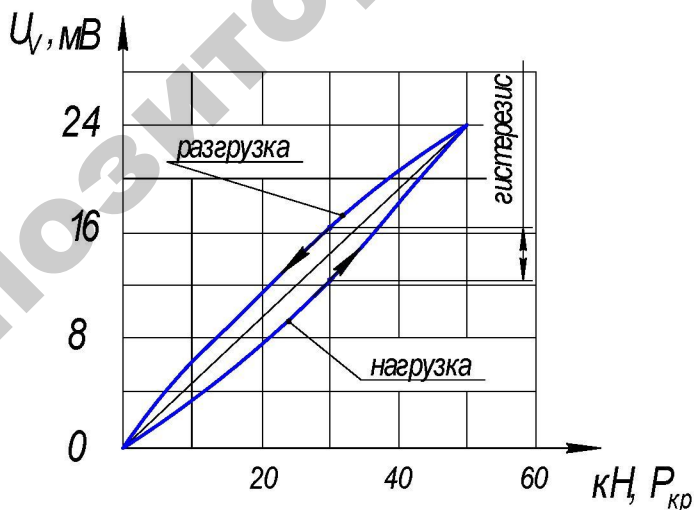


Рис. 16. Тарировочный график динамометра

Содержание отчета по работе

1. Привести схему и описание стенда для калибровки динамометра ДПУ-501-У2.
2. Описать методику расчета масштаба измерений.
3. Привести результат эксперимента и описать методику расчета неопределенностей.
4. Рассчитать процентные вклады неопределенностей калибруемого динамометра, эталонного динамометра и оператора.
5. Рассчитать расширенные неопределенности и погрешности измерений.

Контрольные вопросы

1. Как создают усилие растяжения калибруемого динамометра?
2. Что представляет собой эталонный динамометр?
3. Как определяют масштаб записи тягового усилия трактора?
4. Как определяют пригодность динамометра для применения в тяговых испытаниях?

Лабораторная работа 6

МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ РАСХОДОМЕРА ТОПЛИВА «Flow-FCS3-250»

Цель работы: изучить понятие и назначение калибровки средств измерений, неопределенности измерений, а также методику проведения калибровки расходомера топлива «Flow-FCS3-250».

Содержание работы

Методика устанавливает требования к методам и средствам калибровки, оформлению результатов калибровки, регламентирует алгоритм оценки неопределенности измерения действительного значения расхода топлива.

Основные сведения о калибруемом средстве измерения приведены в прил. 3.

1. Операции и средства калибровки

При проведении калибровки расходомера «Flow-FCS3-250» выполняются операции и должны применяться средства измерений, указанные в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Необходимые операции и применяемые средства при калибровке расходомера топлива

Операции	Средства калибровки и их основные метрологические характеристики
1. Подготовка к калибровке	—
2. Внешний осмотр	—
3. Опробование (проверка функционирования)	Стенд ИП-165, емкость мерника топлива 1000 мл, погрешность измерений топлива мерником $\pm 0,5$ %, погрешность регистрации продолжительности измерения ± 2 с; Счетчик расхода топлива ИП-179, погрешность измерений $\pm 1,5$ %
4. Определение метрологических характеристик. Определение цены импульса измерения расхода топлива и погрешности расходомером «Flow-FCS3-250»	Стенд ИП-165, емкость мерника топлива 1000 мл, погрешность измерений топлива мерником $\pm 0,5$ %, погрешность регистрации продолжительности измерения ± 2 с; Счетчик расхода топлива ИП-179, погрешность измерений $\pm 1,5$ %; Секундомер СОС пр 26-2, кл.т. 2

Стенд ИП-65 предназначен для поверки счетчиков расхода топлива ИП-154 и ИП-179 с непосредственным измерением топлива, а его автоматика «пуска» и «остановки» работает в зависимости от показаний этих счетчиков при заполнении емкости (1000 ± 30) мл. Калибровка расходомера «Flow-FCS3-250» при помощи стенда ИП-165 может проводиться только при одновременном подключении к стенду калибруемого расходомера с автономным питанием и ранее поверенного счетчика расхода топлива ИП-179 при подключении калибруемого расходомера «Flow-FCS3-250» в последовательную цепь перед датчиком счетчика ИП-179.

2. Требования безопасности

При проведении калибровки расходомера топлива «Flow-FCS3-250» на стенде ИП-165 должны быть соблюдены следующее требование безопасности: в связи с тем, что стенд питается от силовой сети напряжения 380 В и частотой 50 Гц, перед началом работы необходимо обязательно проверить надежность подключения стенда к контуру заземления.

Подключение счетчика расхода топлива ИП-179 производится при включенном тумблере «Питание» на переключающем устройстве счетчика топлива.

Не допускается установка и подключение кабелей с поврежденной изоляцией.

К работе со стендом допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности и имеющие группу допуска по электробезопасности не ниже второй.

3. Поверка датчика расхода ИП-151-1 при помощи поверочного стенда ИП-165

После установки счетчика расхода топлива стенда ИП-179 на стенд включается питание стенда, программного блока и счетчика расхода топлива.

Тумблер S2 «Счет», расположенный на радиаторе блока электронного 8, должен быть включен в положение «Пуск». Топливо из мерника 7 стенда должно быть слито. Кран 5 установки величины расхода стенда открывается примерно на одну треть. При помощи регулятора напряжения на программном блоке стенда ИП-165 устанавливают стрелку вольтметра на 12 В. Переключателем программы указывают число циклов опыта 100 ходов поршня (рис. 17).

Кнопкой «Пуск» включают опыт и после его окончания снимают показания мерника 7 и измерителя времени.

После установки величины расхода (например, 30 ± 5 л) сливают топливо из мерника 7 в течение двух минут (120 с по измерителю времени), при помощи кнопки «Пуск» включают опыт. На стенде ИП-165 время слива отсчитывается автоматически. После окончания опыта снимают показания мерника, измерителя времени и счетчика ходов поршня.

Объем топлива, соответствующий одному импульсу на счетчике (цена импульса), $\frac{\text{см}^3}{\text{имп}}$, определяют по формуле

$$C = \frac{Q_{\text{фак}}}{N},$$

где $Q_{\text{фак}}$ — количество топлива за опыт, см^3 ;

N — количество импульсов счетчика ходов поршня расходомера, имп.;

C — цена импульса.

Среднюю цену импульса определяют следующим образом: проводят трехкратные измерения в 3-х точках всего диапазона расходов (5; 50; 100 л/ч), после чего вычисляют среднее значение цены импульса на каждом расходе:

$$C_{\text{ср.}i} = \frac{\sum_{i=1}^3 C_i}{3},$$

где $C_{\text{ср.}i}$ — среднее значение цены импульса на точке расхода.

Затем определяют среднее значение цены импульса для всего диапазона расходов топлива (5–100 л/ч)

$$C_{\text{ср.д}} = \frac{\sum_{i=1}^3 C_{\text{ср.}i}}{3}.$$

Относительную погрешность измерения в каждом из опытов рассчитывают по формуле

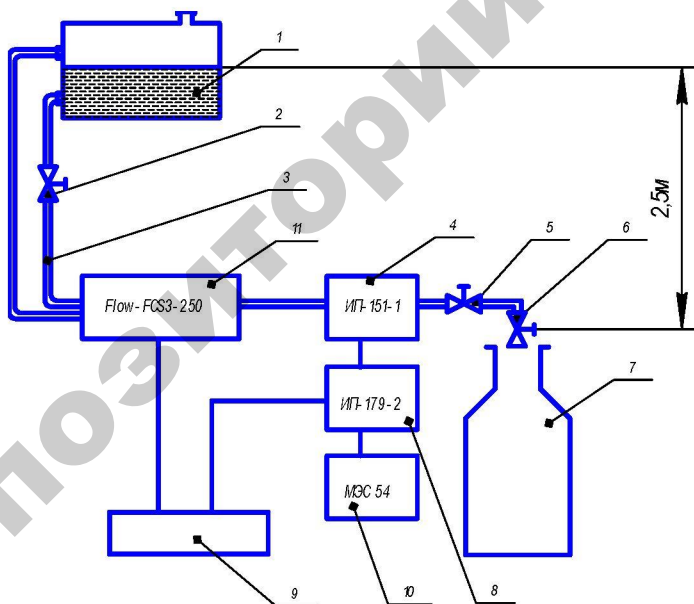
$$\delta = 100 \left(\frac{C_i N_i - V_{\text{м}}}{V_{\text{м}}} + K \right),$$

где C — цена импульса датчика 4 расхода топлива ИП-151-1;

N_i — показания счетчика 10 ходов поршня;

В качестве относительной погрешности измерения счетчика расхода топлива принимают максимальную относительную погрешность (по модулю) из всех опытов, которых должно быть не менее девяти. Относительная погрешность измерения не должна превышать 1,5 %.

Установка величины расхода. На электронном блоке включается тумблер питания. Открывается кран 2, кран 5 открывается примерно на одну треть, под сливную устанавливается мерная колба 7, открывается запорный кран 6 и одновременно запускается секундомер.



После поступления в колбу одного литра топлива останавливают секундомер и закрывают кран 6.

Если величина расхода отличается от указанной в паспорте стенда, то при помощи крана 5 изменяют величину расхода и вновь повторяют опыт.

5. Определение погрешности измерения

После установки величины расхода (например, 30 ± 5 л) под сливную трубу устанавливают мерник, предварительно смоченный топливом.

Счетчик импульсов 10 устанавливают на нуль и открывают полностью кран 6. После достижения уровнем топлива отметки 5 литров кран 6 закрывают. Снимают показания счетчика топлива 10 и мерника 7. Если уровень топлива в мернике не соответствует отметке 5 литров, то количество топлива, поступившего в мерник, уточняют доливом (или отливом) при помощи мерного цилиндра. На каждом расходе проводят по три опыта.

Относительную погрешность измерения в каждом из опытов вычисляют по формуле, описанной в п. 3 «Проверка датчика расхода ИП-151-1 при помощи поверочного стенда ИП-165».

В качестве относительной погрешности измерения датчика расхода 4 топлива принимают максимальную относительную погрешность (по модулю) из всех опытов, которых должно быть не менее девяти.

6. Проведение калибровок расходомера «Flow-FCS3-250

Перед проведением калибровки необходимо выполнить следующие подготовительные работы:

- подсоединить подводящий топливопровод и топливопровод обратного слива расходомера «Flow-FCS3-250» к топливному баку стенда ИП-165 согласно схеме стенда, а отводящий – к датчику счетчика ИП-179;

- подключить питающий электрический кабель расходомера «Flow-FCS3-250» к аккумуляторной батарее 12 В (6 СТ 180);

- соединить кабелем электронный блок и датчик расхода ИП-179, а его отводящий топливопровод подключить к стенду согласно схемам ИП-179 и стенду;

- одиночным проводом, имеющим на одном конце пружинный контакт, а на другом – штекерный, соединить клемму « $\perp$ » (общий провод) стенда и клемму «масса» кабеля счетчика ИП-179.

Опробование (проверка функционирования). Включить питание стенда ИП-165, питание счетчика ИП-179, питание и включатель насоса перекачивание топлива расходомера «Flow-FCS3-250».

При нормальной работе датчика счетчика топлива ИП-179 светодиода на табло должен периодически включаться.

Переключателем тумблера «Счет» обнулить счетчик ходов поршня счетчика ИП-179.

Нажать кнопку «Слив» на стенде. После окончания слива гаснет лампа «Слив».

Переключить тумблер S2 «Счет» электронного блока счетчика расхода топлива ИП-179 в положение «Стоп».

Измерение начинать одновременным нажатием кнопки «Пуск» на электронном блоке стенда и переключением тумблера S2 в положение «Пуск».

По окончании измерения одновременно с остановкой опыта на стенде включить тумблер S2 в положение «Стоп».

Снять показания с табло стенда и с табло электронного счетчика путем нажатия кнопки «Индикация». Разница в показаниях не должна превышать 1 импульс.

Установка величин расхода топлива. После установки расходомера топлива «Flow-FCS3-250» и счетчика расхода топлива ИП-179 на стенд ИП-165 включается питание стенда, программного блока и счетчика расхода топлива ИП-179.

Тумблер S2 «Счет», расположенный на радиаторе блока электронного счетчика ИП-179, должен быть включен в положение «Пуск». Топливо из мерника стенда должно быть слито. Кран 5 установки значения расхода стенда открывают примерно на одну треть. При помощи регулятора напряжения на программном блоке стенда ИП-165 устанавливают стрелку вольтметра на 12 В. Переключатель программы устанавливают на 100 ходов поршня.

Нажатием на кнопку «Пуск» начинают измерение и после его окончания снимают показания мерника и измерителя времени.

Значение расхода топлива рассчитывают по формуле

$$G = \frac{3,6V_M}{t},$$

где G — расход топлива через датчик, л/ч;

V_M — объем топлива в мернике, мл;

t — показания измерителя времени, с.

Если значение расхода не соответствует требуемому значению (например, 30 ± 5 л/ч), то при помощи крана установки расхода топлива стенда изменяют значение расхода и вновь повторяют измерение.

Определение метрологических характеристик расходомера «Flow-FCS3-250». Основными метрологическими характеристиками счетчика расходомера топлива «Flow-FCS3-250» являются цена импульса и относительная погрешность измерения объема топлива. Их определение производится с помощью стенда ИП165 для градуировки и поверки датчиков топлива в 3–4 точках рабочего диапазона измерения расхода: (5 ± 2) ; (30 ± 5) ; (60 ± 5) и (90 ± 5) л/ч.

Определение цены импульса расходомера топлива «Flow-FCS3-250». Прибор «Flow-FCS3-250» настраивают на прямые измерения текущего расхода топлива в литрах. Включатель блока индикации расходомера топлива «Flow-FCS3-250» устанавливают в положение «ON».

После установки одной из требуемых величин расхода топлива с помощью стенда ИП-165 сливают топливо из мерника. Измерения начинают одновременным нажатием кнопки «Пуск» на электронном блоке стенда и импульсной кнопки включателя на блоке индикации расходомера топлива «Flow-FCS3-250». По окончании измерения одновременно с установкой процесса измерения на стенде нажатием импульсной кнопки выключается блок индикации калибруемого расходомера.

После окончания измерения снимают показания мерника, измерителя времени и показания с табло блока индикации расходомера «Flow-FCS3-250».

На одной величине расхода производят не менее трех измерений.

Результаты измерений заносятся в протокол калибровки (прил. 4, табл. 1).

После проведения опытов на одном расходе устанавливают следующую величину расхода и проводят следующую серию опытов.

Для определения объема топлива, соответствующего одному импульсу, измеряют количество топлива, пропущенного через датчик расхода топлива, с одновременной регистрацией количества импульсов за время измерения.

Объем топлива, соответствующий одному импульсу на блоке индикации (цена импульса), определяют по формуле:

$$C = \frac{V_M}{N_i},$$

где V_m — количество топлива за время измерения, мл;
 N_i — количество импульсов за время измерения, имп.;
 C — цена импульса, мл/имп.

Среднюю цену импульса определяют следующим образом: проводятся трехкратные измерения в точках всего диапазона расходов (5; 30; 60 и 90 л/ч), потом вычисляют среднее значение цены импульса на каждом расходе:

$$C_{\text{ср.}i} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{3},$$

где $C_{\text{ср.}i}$ — среднее значение цены импульса в точке рабочего диапазона расхода топлива, мл/имп.

Затем определяется среднее значение цены импульса в мл/имп. для всего диапазона измерения расхода топлива (5–100 л/ч).

$$C_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{\text{ср.}i}}{n},$$

где n — число калибруемых точек расхода топлива.

Определение погрешности измерения объема топлива расходомером топлива «Flow-FCS3-250». Определение относительной погрешности измерения объема топлива в калибруемых точках и относительной расширенной неопределенности производят методом сравнения показаний калибруемого расходомера с показаниями средств измерений стенда ИП-165 для градуировки и поверки датчиков топлива.

В каждой точке рабочего диапазона измерения расхода топлива (5, 30, 60 и 90 л/ч) проводят по 10 наблюдений за показаниями шкалы мерника объема топлива стенда ИП-165.

Результаты измерений, зарегистрированные по шкале мерника в точках рабочего диапазона расхода топлива, записывают в протокол калибровки (табл. П.4.2 прил. 4).

Обработка результатов измерений состоит в определении значения цены импульса и относительной погрешности измерения объема топлива и относительной расширенной неопределенности.

Неопределенность должна быть оценена для каждого результата измерения. Методика обработки результатов измерений и расчета неопределенности измерений приведена в табл. П.4.4 прил. 4. Результаты расчетов заносят в табл. П.4.5 прил. 4.

Содержание отчета по работе

1. Приведите схему и описание стенда ИП-165 для калибровки расходомера топлива «Flow-FCS 3-250».
2. Приведите сведения о калибруемом расходомере.
3. Опишите датчик расхода топлива ИП-151-1.
4. Опишите методики определения средней цены импульса расходомера и относительной погрешности расходомера.
5. Приведите экспериментальные данные и методику их обработки.
6. Рассчитайте и проанализируйте неопределенности показаний эталонного мерника, калибруемого расходомера, погрешности оператора, погрешности эталонного мерника.
7. Рассчитайте и приведите коэффициенты чувствительности, относительные суммарные неопределенности в четырех точках диапазона расхода топлива, а также процентные вклады неопределенностей.
8. Рассчитайте и приведите относительные расширенные неопределенности и относительные погрешности измерения объема топлива.

Контрольные вопросы

1. Перечислите агрегаты уровня и датчики, входящие в стенд ИП-165 для калибровки расходомера.
2. Опишите методику калибровки датчика расхода ИП-151-1.
3. Укажите особенности методики калибровки расходомера «Flow-FCS 3-250».
4. Как рассчитывают неопределенности показаний эталонного мерника, калибруемого расходомера, оператора и эталонного мерника?
5. Как рассчитывают коэффициенты чувствительности, стандартные неопределенности, процентные вклады неопределенностей, расширенные неопределенности и относительные погрешности?

РАЗДЕЛ 2

СТЕНДОВЫЕ И ДОРОЖНЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЯ

Лабораторная работа № 1

СТЕНДОВЫЕ И ДОРОЖНЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЯ. ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ И РЕГИСТРИРУЮЩАЯ АППАРАТУРА

Цель работы: изучить устройство и работу аппаратуры и приборов, применяемых при стендовых и дорожных испытаниях автомобиля, а также условий и методики их проведения.

1. Показатели, условия, виды и методы испытаний

Номенклатуру показателей определяемых при испытаниях характеризующих тягово-скоростные свойства автомобиля устанавливает ГОСТ 22576–90: скоростная характеристика разгон-выбег; характеристика разгона на высшей и предшествующей передачах; скоростная характеристика на дороге с переменным продольным профилем; максимальная скорость; условная максимальная скорость; время разгона на пути 400 и 1000 м; время разгона до заданной скорости.

Испытания грузовых автомобилей проводят при полной нагрузке. Для автобусов и легковых автомобилей допускается применение частичных нагрузок.

Испытания тягово-скоростных свойств автомобилей делятся на стендовые и дорожные, которые дополняют друг друга.

При *стендовых* испытаниях может быть применен больший объем измерительной аппаратуры и более оперативно получают результаты экспериментальных исследований, поскольку обработка данных с помощью вычислительных машин может вестись параллельно проведению эксперимента. Пределы допускаемой основной погрешности измерений для автомобильных стендов (ГОСТ 26899–86) не должны превышать пределов указанных в табл. 1.1.

Дорожные испытания проводят при следующих условиях окружающей среды: скорость ветра не более 3 м/с; отсутствие осадков; температура окружающего воздуха от -5...+25 °С.

Погрешности измерительной аппаратуры должны составлять для датчиков скорости $\pm 1\%$, времени и пути $\pm 0,5\%$. Перед проведением испытаний определяют весовые показатели автомобиля, коэффициенты сопротивления качению и сцепления шин с дорогой. Непосредственно перед началом испытаний все агрегаты автомобиля должны быть прогреты пробегом в течение 0,5... 1 ч, а в период испытаний температура охлаждающей жидкости и масла должна поддерживаться в установленных пределах.

Таблица 1.1

Пределы допускаемой основной погрешности измерений
для автомобильных стендов (ГОСТ 26899-86)

Наименование параметра	Предел допускаемой основной погрешности, %, не более, для автомобильных стендов		
	инерционных	силовых	инерционно-силовых
1. Мощность на ведущих колесах, кВт (л. с.)	$\pm 3,0$	$\pm 3,0$	$\pm 3,0$
2. Тяговое усилие на ведущих колесах, Н (кгс)	-	$\pm 2,0$	$\pm 2,0$
3. Линейная скорость на окружности роликов, км/ч	$\pm 2,0$	$\pm 2,0$	$\pm 2,0$
4. Расход топлива, л/100 км или л/ч (кг/ч) или г/кВт·ч (г/л. с.·ч)	$\pm 2,0$	$\pm 2,0$	$\pm 2,0$
5. Эффективная мощность двигателя, кВт (л. с.)	$\pm 4,0$	$\pm 4,0$	$\pm 4,0$
6. Сопротивление вращению колес трансмиссии, Н (кгс)	-	$\pm 2,0$	$\pm 2,0$
7. Время или путь разгона (выбега), с	$\pm 1,0$	-	$\pm 1,0$
8. Ускорение (замедление) разгоне (выбеге), м/с ²	$\pm 3,0$	-	-
9. Частота вращения коленчатого вала, с ⁻¹	-	$\pm 2,0$	$\pm 2,0$
10. Линейная скорость на окружности роликов при переключении гидромеханической передачи, км/ч	$\pm 2,0$	$\pm 2,0$	$\pm 2,0$

Примечания.

1. Предел допускаемой основной погрешности автомобильных стендов указан в процентах верхнего предела измерений.
2. Предел допускаемой дополнительной погрешности автомобильных стендов должен быть не более половины предела допускаемой основной погрешности.

Измерительный участок дороги для определения максимальной скорости должен быть горизонтальным, прямолинейным с бетоно- или асфальтобетонным покрытием, длиной не менее 1 км (допускаются неровности не более 0,5 % на участках до 50 м).

Испытательные заезды проводят на высшей передаче в двух противоположных направлениях (за исключением испытаний на дороге с переменным продольным профилем). Скорость должна быть установлена до начала измерительного участка (не менее чем за 200 м). *Условную максимальную скорость* определяют по времени прохождения последних 400 м, при разгоне автомобиля (автопоезда) с места на пути 2000 м.

Характеристику разгон-выбег определяют путем разгона с места до наибольшей скорости на пути 2 км и выбега до остановки. Скоростную характеристику разгона на высшей (предшествующей) передаче определяют при разгоне с минимальной установившейся скорости на данной передаче путем резкого и полного нажатия на педаль подачи топлива и удержания ее в таком положении до конца разгона.

При определении *скоростной характеристики* на дороге с переменным продольным профилем испытательный участок должен быть длиной 13... 15 км, с наличием одного подъема и одного спуска длиной по 500... 700 м с уклоном 4,5 %. Радиусы кривых в плане - не менее 1 км. Пробег осуществляется с наиболее высокой скоростью, но не превышающей допустимую, в том числе на спусках. На подъемах не допускается чрезмерное падение скорости.

Время разгона на участках 400 и 1000 м определяют путем измерения при разгоне с места, а *время разгона до заданной скорости* – путем записи параметров разгона с места. Для легкового автомобиля заданная скорость составляет — 100 км/ч (27,7 м/с), для микроавтобуса и автомобиля малой грузоподъемности — 80 км/ч (22,2 м/с), для автобуса, грузового автомобиля и автопоезда — 60 км/ч (16,68 м/с).

2. Аппаратура для дорожных испытаний

При испытаниях тягово-скоростных свойств автомобилей широко применяют цифровую аппаратуру. По информации только одного датчика получают данные: о пути, скорости, ускорению и времени движения автомобиля при различных программах испытаний.

В качестве источника первичной информации обычно используют прибор «пятое колесо» (рис. 1.1), на валу которого установлен фотоэлектрический или индукционный датчик. Базовая платформа 2 пятого колеса крепится к буферу или раме автомобиля за-

жимом 1. На платформе расположен карданный шарнир 4, одна из вилок которого связана с дышлом 5. Прижим колеса к дороге обеспечивается пружиной 3 между дышлом и опорной платформой.

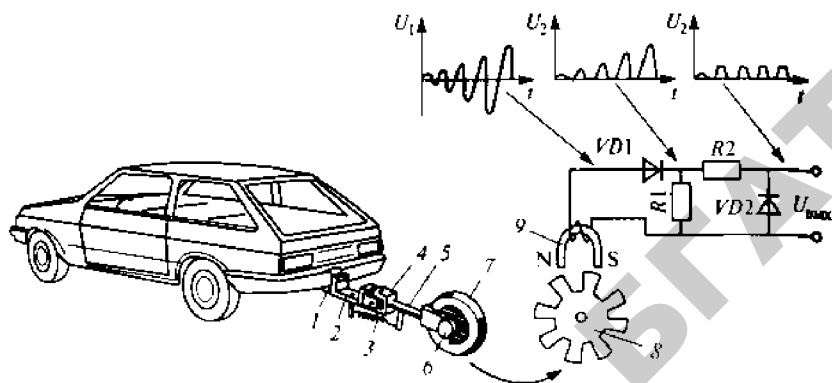


Рис. 1.1. Пятое колесо и датчик скорости:

1 – зажим; 2 – базовая платформа; 3 – пружина; 4 – карданный шарнир; 5 – дышло; 6 – датчик импульсов; 7 – колесо; 8 – зубчатый диск; 9 – постоянный магнит с катушкой (индукционный датчик)

С валом колеса 7 связан датчик 6 импульсов. Датчик представляет собой зубчатый диск 8, при вращении которого замыкается магнитный поток постоянного магнита 9, а в катушке индуктивности, установленной на нем, индуцируются импульсы ЭДС. Амплитуда импульсов зависит от угловой скорости диска 8, а форма близка к синусоидальной.

Для формирования импульсов постоянной амплитуды и одной полярности используют схему, состоящую из выпрямительного диода $VD1$, резисторов $R1$ и $R2$, одного стабилитрона $VD2$.

С помощью диода $VD1$ синусоидальный сигнал формируется в однополярный. С нагрузочного резистора $R1$ снимается напряжение однополярного сигнала и через ограничительный резистор $R2$ подается на стабилитрон $VD2$. Напряжение на нем поддерживается постоянным, т. к. превышение напряжения над пороговым приводит к пробоем стабилитрона. Происходит ограничение по амплитуде полупериодов синусоидального сигнала. Форма сигнала на выходе близка к трапецевидной. Например, при диске со 100 пазами и периметре пятого колеса 1 м интервал между электрическими импульсами соответствует 0,01 м пройденного пути.

В функциональной схеме цифровой регистрирующей аппаратуры (рис. 1.2) электрический сигнал от датчика импульсов поступает в нормализатор 1, где преобразуется в сигнал прямоугольной формы.

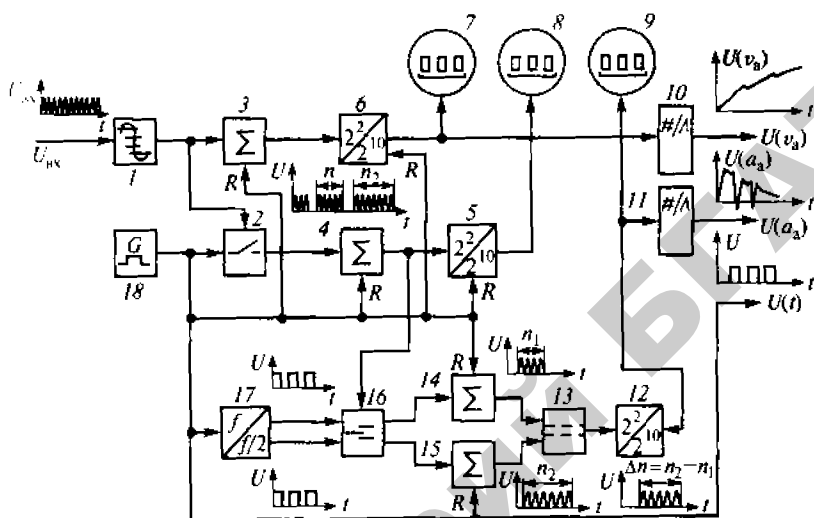


Рис. 1.2. Функциональная схема цифровой регистрирующей аппаратуры:
1 – нормализатор; 2, 16 – ключи; 3, 4 – счетчики; 5, 6, 12 – дешифраторы;
7, 8, 9 – цифровые индикаторы; 10, 11 – цифроаналоговые преобразователи;
13 – сравнивающее устройство; 14, 15 – запоминающие устройства; 17 – триггер;
18 – таймер; $U_{вх}$ – напряжение входного сигнала; t – время;
 $U(v_a)$ и $U(a_a)$ – напряжение выходных сигналов соответственно в функции скорости и ускорения; $U(t)$ – напряжение сигналов импульсов времени; n – число импульсов в пакете; R – кодовые входы; f – частота преобразования

Для регистрации пути прямоугольные импульсы датчика поступают в счетчик 3, осуществляющий счет импульсов в двоичной системе счисления. Для индикации пути в десятичной системе счисления двоичный код переводится в десятичный в дешифраторе 6 и поступает на цифровой индикатор 7. При определении скорости автомобиля необходимо через равные промежутки времени проводить подсчет импульсов в соответствии с пройденным путем. Формирование временных интервалов осуществляет таймер 18. Импульсы таймера открывают ключ 2 на равные промежутки времени и через равные интервалы времени. За время, в течение которого ключ 2 открыт, через него на счетчик 4 проходят импульсы датчика.

Число импульсов в единицу времени зависит от скорости автомобиля. Подсчитанное в единицу времени в двоичной системе счисления число импульсов переводится дешифратором 5 в десятичный код, что и фиксирует цифровой индикатор 8 скорости. Фиксация скорости движения проводится в динамическом режиме, т.е. показания индикатора непрерывно меняются. Для измерения скорости движения в каждый последующий промежуток времени информация, накопленная в счетчике за предыдущее время, должна быть стерта. Операция по стиранию информации осуществляется передним фронтом импульса, который формируется таймером 18, подключенным также к счетчику 4 и дешифратору 5.

Ускорение автомобиля определяется путем сравнения данных о скорости движения за два цикла измерения. С этой целью информация о скорости поступает от счетчика 4 на два запоминающих устройства 14 и 15 через ключ 16. Управление ключом осуществляется через триггер 17 от таймера 18. На двух выходах триггера формируются управляющие сигналы со сдвигом по времени на половину периода.

Поступление управляющего импульса с первого выхода триггера 17 на первый управляющий вход ключа 16, переключает последний на подачу кода скорости за первый промежуток времени в запоминающее устройство 14. Управляющий импульс со второго выхода триггера 17, поступивший на второй вход ключа 16 переключает его на подачу кода скорости на следующий промежуток времени в запоминающее устройство 15. Третьим импульсом таймера пускается сравнивающее устройство 13, которое сравнивает коды скорости в устройствах 14 и 15 и выдает информацию об изменении скорости в единицу времени.

Частота выдачи информации об ускорении в 1,5 раза ниже, чем при получении информации о скорости. На цифровой индикатор 9 информация поступает через дешифратор 12, выполняющий те же функции, что и другие дешифраторы.

Для получения не только цифровых данных о параметрах движения к описанному комплексу подключают цифроаналоговые преобразователи 10 и 11. С их помощью выходные импульсные сигналы преобразуются в аналоговые — непрерывно меняющееся напряжение, которое зависит от режима движения. Это напряжение используется для регистрации графиков движения на осциллографах, самописцах или магнитографах.

При определении тяговых характеристик, поскольку измерение касательной силы в зоне контакта колеса с дорогой практически не-

возможно, измеряют крутящий момент на полуоси ведущего моста, а тяговую силу определяют экспериментально.

Под действием момента полуось закручивается на угол, пропорциональный приложенному крутящему моменту. Крутильная деформация измеряется различными датчиками. Например: тензометрическими, индуктивными и др.

Поскольку процесс тензометрирования требует трудоемких подготовительных операций, в последнее время стали часто применять методы, позволяющие определить напряженное состояние деталей автомобиля без непосредственного контакта с ними.

К таким методам относится *магнитоанизотропный*. Он основан на том, что при взаимно перпендикулярном расположении двух катушек индуктивности и подачи на одну из них переменного тока во второй катушке ЭДС не наводится. В случае же деформации магнитного потока возбуждения какими-либо внешними причинами во второй катушке появится ЭДС, пропорциональная этой деформации.

Магнитоанизотропный датчик 1 (рис. 1.3) для измерения крутящего момента на полуоси ведущего моста автомобиля устанавливают в отверстие на балке 2 ведущего моста с некоторым зазором между торцом датчика и полуосью 3.

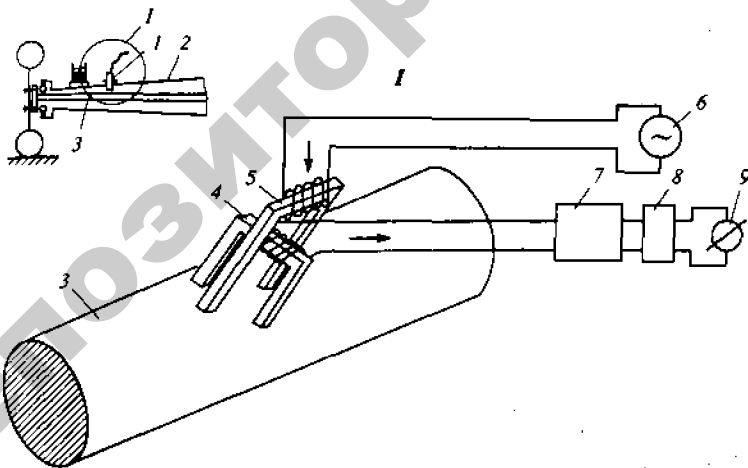


Рис. 1.3. Магнитоанизотропный датчик для измерения крутящего момента на полуоси ведущего моста автомобиля:

- 1 – магнитоанизотропный датчик; 2 – балка; 3 – полуось; 4, 5 – магнитопроводы;
6 – источник переменного тока; 7 – усилитель; 8 – фазовый детектор;
9 – регистрирующий прибор

Датчик состоит из двух металлических П-образных магнитопроводов 4 и 5, на которых располагаются катушки индуктивности. Магнитопроводы установлены взаимно перпендикулярно. На катушку индуктивности магнитопровода 5 поступает ток от источника 6 переменного тока. Электромагнитное поле, создаваемое этой катушкой, распространяется по магнитопроводу и замыкается через металл полуоси 3, преодолевая магнитное сопротивление зазоров между магнитопроводом и полуосью.

Если к полуоси не приложен крутящий момент и она не деформирована (не закручена), то во второй катушке, расположенной на магнитопроводе 4, ЭДС равна нулю. Деформация полуоси в случае приложения к ней крутящего момента приводит к деформации кристаллической решетки материала в поверхностном слое и искажению направления магнитных силовых линий потока возбуждения от катушки магнитопровода 5. Тем самым направление магнитных силовых линий в поверхностном слое материала полуоси будет непараллельно оси катушки магнитопровода 4, что вызывает в ней появление ЭДС, пропорциональной деформации магнитных силовых линий потока, следовательно, и приложенному крутящему моменту.

Поскольку наводимая в катушке магнитопровода 4 ЭДС мала, требуется усиление сигнала. Для этого катушка подключена к входу усилителя 7, выход которого соединен через фазовый детектор 8 с индикаторным или регистрирующим прибором 9. В фазовом детекторе 8 из амплитудно-модулированного сигнала переменного тока формируется сигнал постоянного тока, численное значение и знак которого меняются в зависимости от значения и направления приложенного крутящего момента.

Перед проведением испытаний определяют весовые показатели автомобиля, коэффициенты сопротивления качению и сцепления шин с дорогой.

Автомобиль взвешивают на специальных платформенных весах. Коэффициенты определяют на стенде или, чаще, в дорожных условиях с помощью динамометрической тележки, которая буксируется автомобилем-тягачом. Такую тележку используют также для определения коэффициента сцепления шин с дорогой. Предварительно измеряют вертикальную нагрузку P_Z на колесо, а в процессе движения за тягачом — силу тяги P_T в буксирном устройстве. Коэффициент сопротивления качению $f = P_T/P_Z$, а при заторможенном колесе тележки по такой же формуле рассчитывают коэффициент сцепления.

Для регистрации исследуемых параметров применяют цифровую регистрирующую аппаратуру, аналогичную изображенной на рис. 1.2 или описанную в лаб. работе № 2, ч. 1 методических указаний.

3. Аппаратура для стендовых испытаний

Для испытаний автомобилей на тягово-скоростные свойства в лабораторных условиях используют стенды роликового или барабанного типа.

На роликовом стенде сопротивление качению значительно больше сопротивления качению по дороге из-за значительной деформации шин в зоне контакта с опорной поверхностью. На *барабанном* стенде условия качения шины меньше отличаются от условий качения по плоской дороге. Чем больше диаметр барабана, тем ближе условия качения к реальным в эксплуатации.

На стендах должно имитироваться полное сопротивление движению автомобиля. В основу работы стендов положен принцип обратимости движения, т. е. испытуемый автомобиль неподвижен, а «дорога» движется под ним со скоростью, зависящей от режима работы двигателя и включенной передачи.

При испытаниях на *установившихся режимах* движения, для которых могут применяться роликовые стенды, нагрузка на автомобиль создается гидравлическим или индукторным тормозом, либо балансирным генератором. Испытания автомобиля на *неустановившихся режимах* осуществляются в основном с помощью электрических генераторов, работающих в режиме тормоза.

При испытаниях на *неустановившихся режимах* движения в каждый момент разгона автомобиля сопротивление движению, развиваемое тормозом на беговых барабанах, должно быть равным сопротивлению, преодолеваемому автомобилем в реальных дорожных условиях. Моделирование закона нагружения такой функциональной зависимости, осуществляется с помощью электронно-вычислительной машины.

Испытуемый автомобиль *б* (рис. 1.4) устанавливают на беговых барабанах 2 и 34 с помощью узлов 3 и 8 привязки к опорным стойкам 4 и 9. Обе пары беговых барабанов используют при испытаниях автомобилей с колесной формулой 4×4. Для автомобилей с колесной формулой 4×2 применяют только одну пару беговых барабанов. Передние колеса в этом случае устанавливают на плоское основание.

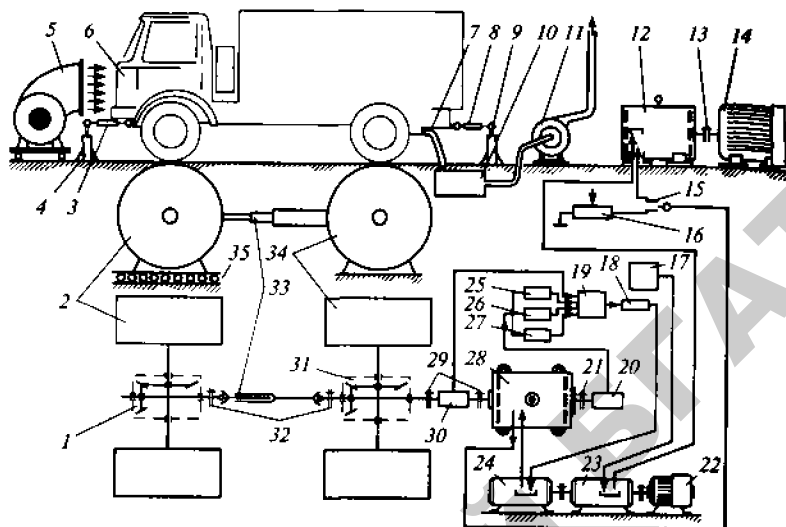


Рис. 1.4. Автоматизированный стенд с беговыми барабанами для воспроизведения суммарного сопротивления движению автомобиля: 1, 31 – угловые редукторы; 2, 34 – беговые барабаны; 3, 8 – узлы привязки; 4, 9 – опорные стойки; 5 – вентилятор; 6 – испытуемый автомобиль; 7 – рукав; 10 – ресивер; 11 – насос; 12, 22 – электродвигатели; 13, 21, 29, 32 – муфты; 14 – генератор; 15 – переключатель; 16 – нагрузочный резистор; 17 – блок ручного управления; 18 – усилитель; 19 – блок суммирования; 20 – тахогенератор; 23, 24 – электромашинные усилители; 25 – блок формирования сигнала скорости; 26 – блок формирования сигнала ускорения; 27 – блок формирования сигнала квадрата скорости; 28 – тормозной генератор; 30 – датчик тормозного момента; 33 – карданная передача; 35 – роликовое устройство

Возможность испытания автомобилей с колесной формулой 4x4 с различной базой обеспечивается перемещением передних барабанов с помощью роликового устройства 35. Вращающий момент от барабанов 2 и 34 к тормозному генератору 28 передается через угловые редукторы 1, 31, муфты 32, 29 и карданную передачу 33.

Для охлаждения радиатора во время испытаний перед автомобилем устанавливают вентилятор 5. Чистота воздуха в лаборатории обеспечивается путем отсоса отработавших газов насосом 11 через рукав 7 и ресивер 10. Система отсоса снабжена автоматическим устройством, поддерживающим в ресивере давление наружного воздуха.

В системе управления стенда тормозной генератор 28 связан муфтой 21 с тахогенератором 20.

В задающее устройство системы входят три функциональных блока 25...27, формирующие сигналы, пропорциональные скорости, квадрату скорости и ускорению, блок суммирования 19, усилитель 18, электромашинные усилители 23 и 24, и преобразователь, состоящий из электродвигателя 12 и генератора 14, соединенных муфтой 13.

При вращении беговых барабанов тахогенератор вырабатывает напряжение, пропорциональное скорости движения. В начале движения при трогании автомобиля сигнал скорости мал, и на выходах блоков 25 и 27 также невелик. Однако, на выходе блока 26 сигнал пропорционален ускорению автомобиля и значителен по величине. Напряжение на выходе блока 19 суммирования и усилителя 18 в основном определяется сигналом от блока 26. После усиления в электромашинном усилителе 24 этот сигнал поступает в обмотку возбуждения генератора 28. Напряжение, вырабатываемое генератором 28, рассеивается в виде тепловой энергии на нагрузочном резисторе 16. Таким образом, в начальный момент движения сила сопротивления зависит в основном от ускорения автомобиля в реальных условиях движения.

По мере увеличения скорости ускорение автомобиля падает, но возрастает сила сопротивления качению. Напряжение тахогенератора, суммируясь в блоке 19 с сигналами от блоков 25 и 27, создает после усиления такое напряжение возбуждения тормозного генератора, при котором обеспечивается необходимая нагрузка на автомобиль.

Изменение тормозного момента лишь приблизительно следует за всеми изменениями управляющего сигнала, поскольку характеристики тормозного генератора и электромашинного усилителя нелинейны. Для того чтобы тормозной момент генератора точно соответствовал заданному закону нагружения, в цепь управления нагрузкой вводится отрицательная обратная связь по нагрузочному моменту. Она создается датчиком 30 тормозного момента — динамометрической муфтой, которая подключена к входу блока 19 суммирования, образуя отрицательную обратную связь в системе автоматического регулирования нагрузки.

Таким образом, в блоке 19 осуществляется сравнение заданного и обработанного законов нагружения двигателя автомобиля тормозным генератором в зависимости от скорости движения. На выходе блока суммирования при рассогласовании действительной и заданной нагрузок происходит формирование разностного сигнала управления, который вводит в заданный режим работы тормозной генератор. В период

разгона автомобиля этот процесс носит непрерывный характер, а нагружение — колебательный. Чем выше частота регулирования, тем меньше амплитуда колебательного процесса нагружения.

Электросиловая часть стенда выполнена по схеме, предусматривающей возможность рекуперации электроэнергии. На режиме рекуперации переключатель 15 устанавливается в положение, при котором электрическая энергия, вырабатываемая генератором 28, поступает не на нагрузочный резистор 16, а в электродвигатель 12. Электродвигатель на этом режиме работает как двигатель, получая возбуждение от блока 17 ручного управления через электромашинный усилитель 23. Этот усилитель имеет привод, как и усилитель 24, от электродвигателя 22. Электродвигатель 12, работающий в режиме двигателя, вращает якорь генератора 14. Энергия, выработанная этим генератором, поступает в промышленную электросеть. Таким образом, при испытаниях энергия топлива, сжигаемого двигателем автомобиля, частично превращается в электрическую энергию, используемую другими потребителями.

Содержание отчета по работе

1. Привести краткую методику стендовых и дорожных испытаний?
2. Дать перечень показателей, определяемых при испытаниях и характеризующих тягово-скоростные свойства автомобиля.
3. Привести схемы измерительной и регистрирующей аппаратуры, используемой при стендовых и дорожных испытаниях автомобиля, пределы допускаемой ею погрешности.

Контрольные вопросы

1. Назовите типы испытаний автомобиля, разделяющиеся по методу, условиям и месту проведения.
2. Какие характеристики и показатели определяют при проведении дорожных испытаний автомобиля?
3. Какие требования предъявляются к условиям окружающей среды, конфигурации и покрытию участков дороги?
4. Какие требования предъявляются к автомобилю перед началом испытаний?
5. Какие требования предъявляются к измерительной и регистрирующей аппаратуре, используемой при испытаниях автомобиля?

ТЯГОВО-СКОРОСТНЫЕ СВОЙСТВА АВТОМОБИЛЯ С МЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

Цель работы: освоение методики построения динамической характеристики автомобиля и определения показателей его тягово-скоростных свойств.

1. Испытания для определения тягово-скоростных свойств автомобиля

Требования по определению тягово-скоростных свойств автомобиля регламентируются международными (правила ЕЭК ООН № 15, № 84) и отечественными (ГОСТ 26899–86, ГОСТ 25176–82; ГОСТ 25738–83; ГОСТ 27.003–83) стандартами.

Определять тягово-скоростные показатели работы автомобиля (тяговую характеристику, максимальную скорость движения, ускорение, время и путь разгона) можно как в дорожных, так и в лабораторных условиях.

Тяговая характеристика автомобиля выражает зависимость тяговой силы на ведущих колесах P_K от скорости движения автомобиля V . Ее получают или на всех, или на какой-то одной передаче. Упрощенная тяговая характеристика представляет зависимость свободной тяговой силы P_D на крюке автомобиля от скорости его движения.

В лабораторных условиях тяговая характеристика может быть получена в испытаниях на стенде, принципиальная схема которого приведена на (рис. 1.4, лаб. раб. № 1).

Свободную тяговую силу P_D измеряют непосредственно динамометром, устанавливаемым взамен узла привязки δ (рис. 1.4, лаб. раб. № 1). Полная тяговая сила на ведущих колесах может быть подсчитана по формуле:

$$P_K = P_D + P_f,$$

где P_f — сила сопротивления качению автомобиля.

В дорожных условиях тягово-скоростная характеристика автомобиля наиболее просто может быть получена с помощью динамометрического прицепа, который буксируется испытываемым автомобилем. Измеряя при испытаниях с помощью динамографа силу

тяги на крюке, а также скорость движения автомобиля, можно построить кривые зависимости P_k от V . При этом тяговую силу подсчитывают по формуле:

$$P_k = P'_d + P_f + P_{\omega},$$

где P'_d — сила тяги на крюке, измеренная с помощью динамографа;

P_f и P_{ω} — силы сопротивления соответственно качению и воздуху.

Зависимость сил сопротивления P_f и P_{ω} от скорости движения автомобиля должна быть получена предварительно проведенными испытаниями.

Силы сопротивления движению автомобиля определяют в дорожных и лабораторных условиях. В дорожных условиях суммарное значение этих сил наиболее просто можно получить, используя метод выбега. Для этого автомобиль на ровной горизонтальной дороге со скорости, близкой к максимальной, свободно движется с выключенной передачей (выбег). При этом с помощью «пятого колеса» (прибора «путь-скорость-время») получают зависимость скорости движения автомобиля от времени выбега. Дифференцируя эту зависимость графически, определяют значения замедления для каждой скорости.

Некоторые приборы позволяют непосредственно измерить ускорение или замедление автомобиля. При использовании акселерографов можно получить без промежуточных измерений зависимость замедления от скорости движения автомобиля при выбеге. Суммарное значение силы сопротивления движению автомобиля определяют по формуле

$$P_{\omega} + P_f = jm_a - M_r/r_d,$$

где j — замедление автомобиля при выбеге;

m_a — полная масса автомобиля;

r_d — динамический радиус ведущих колес;

M_r — момент трения в трансмиссии, измеренный на ведущих колесах.

Момент трения M_r и его зависимость от частоты вращения ведущих колес определяют в лабораторных условиях при работе трансмиссии без нагрузки (нейтральное положение шестерен коробки передач). Момент трения M_x наиболее просто и с достаточной точностью измеряют с помощью тензорезисторов, наклеенных на карданный вал, а момент трения в трансмиссии подсчитывают по формуле:

$$M_r = M_x i_0,$$

где i_0 — передаточное число главной передачи.

Температура агрегатов трансмиссии в этом случае должна соответствовать их температуре при дорожных испытаниях.

В некоторых случаях требуется определить не только суммарную силу сопротивления движению, но и каждую ее составляющую, т. е. необходимо определить коэффициенты лобового сопротивления и сопротивления качению.

В лабораторных условиях коэффициент лобового сопротивления находят продувкой уменьшенных моделей или натурных образцов автомобилей в аэродинамической трубе. Модель или автомобиль в аэродинамической трубе устанавливают или подвешивают так, чтобы можно было измерить все основные действующие на них силы. Сила сопротивления воздуха движению автомобиля зависит от плотности воздушной среды ρ , скорости автомобиля V , площади миделева сечения F и аэродинамических свойств машины:

$$P_{\omega} = 0,5 C_x \rho V^2 F,$$

где C_x — коэффициент лобового сопротивления.

В процессе испытаний коэффициент лобового сопротивления и площадь миделева сечения не должны изменяться, при этом обязательно фиксируют температуру и атмосферное давление, изменяющие плотность воздуха.

При исследовательских испытаниях тяговая характеристика автомобиля может быть определена по измерениям крутящих моментов ведущих колес. Для этого на полуосях наклеивают тензорезисторы и устанавливают концевые токосъемные устройства. Нагрузка при этих испытаниях создается динамометрической тележкой. При этом методе нет необходимости в дополнительном измерении сил сопротивления движению P_f и P_{ω} .

Тяговая характеристика полностью определяет динамические свойства автомобиля, однако ее получение связано с большим объемом испытаний. В большинстве случаев, например при проведении длительных контрольных испытаний, определяют следующие динамические свойства автомобиля:

- минимальную устойчивую и максимальную скорость;
- время и путь разгона;

- максимальные подъемы, которые может преодолеть автомобиль при равномерном движении.

Дорожные динамические испытания проводят при равных нагрузках автомобиля и без нагрузки на горизонтальном прямолинейном участке дороги с твердым и ровным покрытием (асфальт или бетон). На полигоне НАМИ для этого предназначена динамометрическая дорога. Все измерения производят при заездах автомобиля в двух взаимно противоположных направлениях при сухой безветренной погоде (скорость ветра до 3 м/с), причем подъемы преодолеваются 2 раза.

Минимальную устойчивую скорость движения автомобиля определяют на прямой передаче. Измерения производят на двух последовательно расположенных участках пути длиной 100 м каждый с расстоянием между ними равным 200-300 м. Максимальную скорость движения определяют на высшей передаче при прохождении автомобилем мерного участка длиной 1 км. Время прохождения мерного участка фиксируют секундомером или фотоствором.

Время и путь разгона автомобиля находят обычно при двух режимах. На первом режиме автомобиль разгоняют на прямой передаче с начальной скоростью 15 км/ч до скорости, примерно равной 80 % максимальной на этой передаче. В случае, если минимальная устойчивая скорость выше 15 км/ч, то разгон начинают с минимальной устойчивой скорости. При разгоне педаль подачи топлива выжимают полностью. Во втором режиме автомобиль разгоняют с места, начиная с первой или второй передачи, обычно также до скорости, примерно равной 80 % максимальной.

Автомобиль с автоматической коробкой передач разгоняют только с места. Если коробка передач имеет два диапазона (высших и низших) передач, то разгон производят последовательно на обоих диапазонах.

Для измерения параметров, характеризующих динамические свойства автомобилей, применяют приборы типа «путь-скорость-время», (записывающие параметры процесса разгона). В результате обработки первичной записи получают зависимости пути и времени разгона от скорости движения автомобиля. Величины ускорений разгона автомобиля определяют графическим дифференцированием зависимости времени разгона от скорости или при помощи акселерографов. При исследовательских испытаниях параметры процесса разгона записывают на осциллограф или магнитограф.

Для определения показателей характеризующих тягово-сцепные свойства автомобиля на различных передачах и при различной нагрузке (массы перевозимого груза) удобно использовать не тяговую характеристику автомобиля, а универсальную динамическую характеристику, показывающую запас силы тяги на единицу силы тяжести автомобиля или автопоезда.

В данной лабораторной работе вместо натурального эксперимента будем использовать метод компьютерного моделирования алгоритм расчета, которого представлен ниже.

2. Подготовка исходных данных

Для выполнения лабораторной работы необходимы следующие данные: внешняя скоростная характеристика двигателя $M_e = f(n_d)$ ее параметры $P_{e \max}$, M_p , n_p , $M_{p \max}$, n_M ; параметры трансмиссии $\eta_{\text{три}}$, $I = \overline{1, n}$; радиус качения колеса $r_{\text{к0}}$; полная масса автомобиля m_a ; суммарная нормальная реакция дороги на ведущие колеса $R_{\text{ЗВ}}$; габаритные размеры автомобиля: ширина B_r , высота H_r .

Для описания внешней скоростной характеристики двигателя используется уравнение регрессии (по формуле С. Р. Лейдермана)

$$M_e = M_p \left[a + b \frac{n_d}{n_p} + c \left(\frac{n_d}{n_p} \right)^2 \right], \quad (1)$$

где a , b , c — коэффициенты регрессии;

M_e — вращающий момент двигателя, Н·м;

n_d — частота вращения вала двигателя, об/мин.

3. Определение постоянных параметров

3.1. Коэффициенты приспособляемости двигателя по моменту k_M и по угловой скорости k_ω :

$$k_M = M_{\text{в max}} / M_p; \quad (2)$$

$$k_\omega = \omega_p / \omega_M = \eta_p / \eta_M. \quad (3)$$

3.2. Коэффициенты регрессии уравнения внешней скоростной характеристики двигателя:

$$a = \frac{k_M k_\omega (2 - k_\omega) - 1}{k_\omega (2 - k_\omega) - 1}; \quad (4)$$

$$b = \frac{2k_{\varpi}(k_M - 1)}{k_{\varpi}(2 - k_{\varpi}) - 1}; \quad (5)$$

$$c = \frac{k_{\varpi}^2(k_M - 1)}{k_{\varpi}(2 - k_{\varpi}) - 1}. \quad (6)$$

3.3. Фактор обтекаемости автомобиля:

$$A_w = k_w A_{\text{Л}} = k_w \alpha_{\text{Л}} B_r H_r. \quad (7)$$

4. Вычисление функций, необходимых для построения динамической характеристики

При построении динамической характеристики автомобиля для каждой передачи вычисляются следующие функции: вращающий момент двигателя M_e ; скорость автомобиля v ; сила сопротивления воздуха F_w ; динамический фактор автомобиля D .

Вычисления осуществляется при варьировании частоты вращения коленчатого вала двигателя n_d в пределах $0,8 n_M \leq n_d \leq n_p$. Шаг варьирования $\Delta n_d = 100$ об/мин. Значения n_p и $0,8 n_M$ должны быть кратными 100. Количество дискретных значений частоты вращения коленчатого вала двигателя вычисляют по формуле:

$$m = \frac{n_p - 0,8 n_M}{100} + 1. \quad (8)$$

При наличии делителя в коробке передач построение динамической характеристики осуществляется для передач только одного ряда: повышающего или понижающего.

4.1. Вращающий момент двигателя. По формуле (1) вычисляются дискретные значения момента двигателя M_{ej} при n_{dj} . По результатам вычислений составляется таблица параметров n_{dj} и M_{ej} и осуществляется построение графика $M_e = f(n_d)$, который сравнивается с графиком характеристики двигателя, установленного на анализируемом автомобиле, и оценивается погрешность аппроксимации момента уравнением регрессии (1).

4.2. Скорость автомобиля. Скорость автомобиля в километрах в час на i -й передаче при j -м значениях n_d вычисляют по формуле:

$$v_{ij} = \frac{3,6\pi r_{\kappa 0} n_{Дj}}{30u_{\text{тp}i}}, \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}, \quad (9)$$

где n — количество ступеней в коробке передач, используемых при построении динамической характеристики автомобиля.

При вычислениях по формуле (9) скорость автомобиля получается в километрах в час.

4.3. Сила сопротивления воздуха

$$F_{wy} = A_w v_{ij}^2. \quad (10)$$

В формуле (10) скорость автомобиля v_{ij} подставляется в метрах в секунду.

4.4. Динамический фактор автомобиля:

$$D_{ij} = \frac{\left[M_{ej}(1 - k_{\text{в.о}})u_{\text{тp}i} \eta_{\text{тp}i} / r_{\kappa 0} \right] - F_{wij}}{m_a g}, \quad (11)$$

где $k_{\text{в.о}}$ — коэффициент отбора мощности на привод вспомогательного оборудования двигателя.

Для грузовых автомобилей и автобусов $k_{\text{в.о}} = 0,05-0,15$. Для легковых автомобилей можно принимать $k_{\text{в.о}} = 0$.

По результатам вычислений функций v , D , F_w для каждой передачи составляется отдельная табл. 2.1 и осуществляется построение динамической характеристики автомобиля $D = f(v)$ на всех передачах (рис.2.1). При построении динамической характеристики скорость автомобиля принимается в километрах в час.

Таблица 2.1

Результаты расчетов показателей универсальной динамической характеристики

Передача	Данные скоростной характеристики двигателя				D, при	
	п, об/мин	$M_{\kappa 2}$ Нм			$\Gamma = 1$	$\Gamma =$ (задается)
I, II, III и т.д.			V , м/с	P_w , Н		

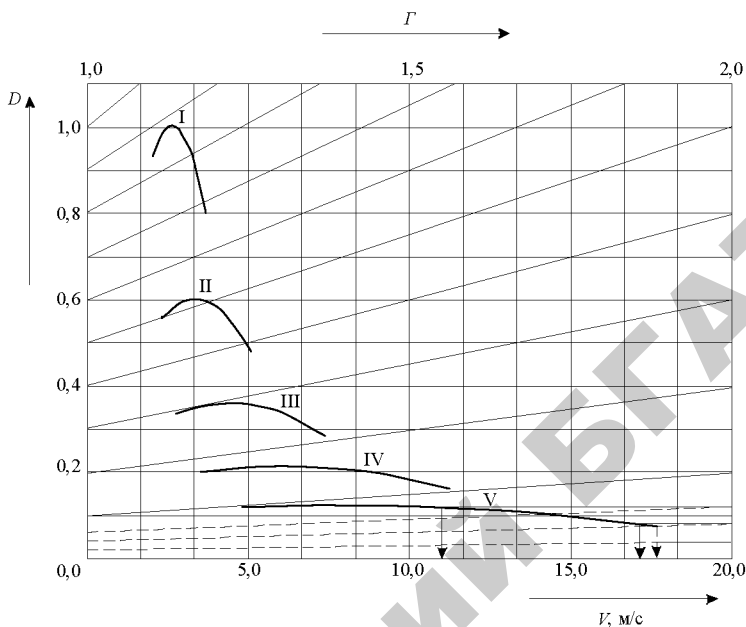


Рис. 2.1. Пример универсальной динамической характеристики автомобиля с пятиступенчатой КПП

4.5. Динамический фактор по сцеплению ведущих колес с дорогой:

$$D_{\phi} = \frac{\phi_x R_{zB}}{m_a g}, \quad (12)$$

где R_{zB} — суммарная нормальная реакция дороги на ведущие колеса автомобиля.

Значение D_{ϕ} определяют при $\phi_x = 0,7$ и отображают на графике динамической характеристики.

5. Оценка показателей тягово-скоростных свойств автомобиля

По динамической характеристике автомобиля определяются следующие показатели тягово-скоростных свойств:

- максимальная скорость, км/ч;
- динамический фактор при максимальной скорости;
- максимальный динамический фактор на высшей передаче и соответствующая ему критическая скорость;

– максимальный динамический фактор на низшей передаче и соответствующая ему критическая скорость.

Затем определяют максимальный преодолеваемый уклон.

Если $D_{\text{н max}} < D_{\text{ф}}$, то h_{max} вычисляют по формуле

$$h_{\text{max}} = D_{\text{н max}} - f, \quad (13)$$

а если $D_{\text{н max}} > D_{\text{ф}}$, то по формуле

$$h_{\text{max}} = D_{\text{ф}} - f. \quad (14)$$

Значения показателей тягово-скоростных свойств автомобиля сводятся в таблицу. На их основе дается оценка выполнения технических требований к анализируемому автомобилю. На графиках динамической характеристики отображается порядок определения показателей.

Содержание отчета по работе

1. Приведите краткую методику определения тягово-скоростных свойств при испытаниях автомобиля.
2. Приведите методику построения динамической характеристики и определения показателей его тягово-скоростных свойств.
3. Исходя из задаваемых исходных данных, рассчитать и построить универсальную динамическую характеристику автомобиля.
4. По динамической характеристике определить показатели тягово-скоростных свойств автомобиля и дать им оценку.

Контрольные вопросы

1. Какие тягово-скоростные показатели автомобиля определяют в дорожных и лабораторных условиях для построения динамической характеристики автомобиля?
2. При расчетном методе получения динамической характеристики автомобиля как задается внешняя скоростная характеристика двигателя?
3. Приведите выражения для расчета v , D , $F_{\text{и}}$, $D_{\text{ф}}$.
4. Как на универсальной динамической характеристике автомобиля определяются следующие показатели тягово-скоростных свойств:
 - максимальная скорость, км/ч;
 - динамический фактор при максимальной скорости;

- максимальный динамический фактор на высшей передаче и соответствующая ему критическая скорость;
- максимальный динамический фактор на низшей передаче и соответствующая ему критическая скорость?

5. Поясните, как определяют максимальный преодолеваемый уклон $h_{\max}$ автомобилем на каждой из передач?

Лабораторная работа № 3

ТОРМОЗНЫЕ СВОЙСТВА АВТОМОБИЛЯ

Цель работы: освоение методики определения показателей тормозных свойств автомобиля, оценки эффективности рабочей и запасной тормозных систем, определения характеристик и параметров регулятора тормозных моментов.

1. Типы испытаний для определения тормозных свойств и нормативы

Требования по торможению, предъявляемые к автомобилям, регламентируются международными (правила ЕЭК ООН № 13 и №13Н) и отечественными стандартами (ГОСТ Р 41.13–99, ГОСТ 25478–91, ГОСТ 25478–82, ГОСТ 22895–77).

Основные параметры, нормируемые при испытаниях, — *скорость начала торможения* и *усилие на органе управления* привода тормозной системы. Автомобили перед испытаниями проходят обкатку, а шины к началу испытаний должны иметь пробег не менее 500 км. Участок дороги, на котором проводятся испытания, должен быть прямым, горизонтальным, с твердым ровным покрытием, обеспечивающим коэффициент сцепления с шинами в продольном направлении не менее 0,6. Испытания проводятся при скорости ветра не более 3 м/с и температуре $-5...+30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В зависимости от условий движения и режимов торможения дорожные испытания автомобилей для определения тормозных свойств делят на три типа, установленные международными организациями.

При *испытаниях типа 0* определяют эффективность тормозной системы с холодными тормозными механизмами, т. е. когда температура наружных поверхностей тормозного барабана или диска, измеряемая непосредственно перед каждым испытанием, находится в пределах $50...100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Эффективность рабочей тормозной системы при нагретых тормозных механизмах определяют при проведении *испытаний типа I*. Нагрев тормозных механизмов автомобиля проводят путем многократного последовательного торможения, а прицепов — путем

буксирования заторможенного прицепа. При этом нормируются усилие в сцепном устройстве, путь и скорость буксирования. Испытания проводят не менее двух раз с промежутками времени, достаточными для охлаждения тормозных механизмов.

Испытаниями типа II определяют эффективность тормозной системы при движении автомобиля на затяжных спусках. Тормозные механизмы нагреваются путем длительного торможения автомобиля, движущегося со скоростью 30 км/ч на спуске с уклоном 6 % и длиной 6 м. Допускается метод буксирования с заданной скоростью и усилием в тягово-сцепном устройстве при условии равенства количества энергии, поглощаемой в процессе торможения, количеству энергии при торможении на спуске.

Для автомобилей, находящихся в эксплуатации, тормозная эффективность определяется ГОСТ 25478–82 (табл. 3.1), требования которого по тормозному пути и установившемуся замедлению на 20...25 % ниже, чем для новых автомобилей.

Нормативы, которым должна соответствовать эффективность тормозных систем новых автомобилей категории М₁ (табл. 3.2), согласно международным требованиям регламентирует ГОСТ Р 41.13–99 (правила ЕЭК № 13).

Таблица 3.1

Нормативы эффективности торможения
для автомобилей, находящихся в эксплуатации

Категория	Тип и наименование автотранспортного средства	Полная масса, т	Усилие на органе управления, Н/кгс	Тормозной путь/замедление, м/с ² , при скорости 40 км/ч
М ₁	С двигателем, предназначенные для перевозки пассажиров, имеющие не более восьми мест для сиденья, кроме водителя, или созданные на их базе модификации, предназначенные для перевозки мелких грузов	До 5	490,5/50	16,2/5,2
М ₂	То же, имеющие более восьми мест для сиденья, кроме места водителя (РАФ, УАЗ-452)	До 5 включительно	686,7/70	21,2/4,5

Окончание таблицы 3.1

Категория	Тип и наименование транспортного средства	Полная масса, т	Усилие на органе управления, Н/кгс	Тормозной путь/замедление, м/с ² , при скорости 40 км/ч
M ₃	То же (автобусы ПАЗ, ЛАЗ, ЛиАЗ, КАВЗ)	Свыше 5		
N ₁	Одиночные, с двигателем, предназначенные для перевозки грузов (грузовые автомобили и тягачи, УАЗ моделей 451, 452, 452Д)	До 3,5 включительно	686,7/70	23,0/4,0
N ₂	То же (грузовые автомобили ГАЗ, ЗИЛ, КАЗ)	Свыше 3,5 до 12		
N ₃	То же (грузовые автомобили МАЗ, КамАЗ, КраЗ, «Урал»)	Свыше 12		
N ₁	Автопоезд: одиночный автомобиль с прицепом к легковым автомобилям	До 3,5 включительно	686,7/70	23,0/4,0
N ₂	Автопоезд: грузовой автомобиль с прицепом (ГАЗ с прицепом ТН-2)	Свыше 3,5 до 12		
N ₃	Автопоезд: одиночный автомобиль категории М ₁ , а также автомобили КАЗ, ЗИЛ с прицепами и полуприцепами	Свыше 12		

Таблица 3.2

Нормативы эффективности торможения для новых автомобилей

Тип испытания	Параметр	Значений параметров для видов испытания					
		0-1	0-1	0-1-11 или ПА	0-1	0-1	0-1-11
Испытание типа 0 с отсоединенным двигателем	v	80 км/ч	60 км/ч	60 км/ч	80 км/ч	60 км/ч	60 км/ч
	S	$0,1v + v^2/150$	$0,15v + v^2/130$				
	a	5,8 м/с ²	5,0 м/с ²				

Тип испытания	Параметр	Значений параметров для видов испытания					
		0-1	0-1	0-1-11 или ПА	0-1	0-1	0-1-11
Испытание типа 0 с подсоединенным двигателем	$v = 80 \%$	160 км/ч	100 км/ч	90 км/ч	120 км/ч	100 км/ч	90 км/ч
	S	$0,1v + v^2/130$	$0,15v + v^2/103,5$				
	a	$5,0 \text{ м/с}^2$	4 м/с^2				
Усилие на органе управления		50 даН	70 даН				

Примечание. v – скорость начала торможения; S – тормозной путь по расчетным формулам; a – замедление при торможении.

Измерительная экспериментальная аппаратура должна обеспечивать измерение тормозного пути с точностью $\pm 2,5 \%$, скорости начала торможения и замедления — с точностью $\pm 1,5 \%$. Усилия на органе управления, курсового угла, температуры тормозных механизмов — с точностью $\pm 3 \%$. Наибольшее распространение получили приборы типа «Мотомер» и «Пайслер», а также «пятое колесо», выпускаемое отечественной промышленностью. Путь, скорость и замедление автомобиля могут фиксироваться с помощью цифровой регистрирующей аппаратуры (см. гл. 23), а температура тормозных механизмов — датчиками температуры (термопарами и индикаторными приборами).

При регистрации тормозной диаграммы с помощью самописцев используют датчики времени замедления (акселерометры) и усилия на органе управления (тензометрическую педаль).

Рассмотрим пример регистрации процесса торможения (рис. 3.1).

После нажатия водителем на тормозную педаль до начала замедления автомобиля проходит время t_1 определяемое как запаздывание тормозной системы. За время t_2 замедление нарастает, а в период t_3 замедление считается установившимся (t_T — суммарное время торможения). Из-за неустойчивости выдерживания установившегося замедления и усилия на тормозной педали (вследствие изменения дорожного сопротивления, вибраций тормозной системы, неустойчивости сил сцепления шин с дорожной поверхностью) графики замедления и усилия на педали регистрируются как колебательный процесс.

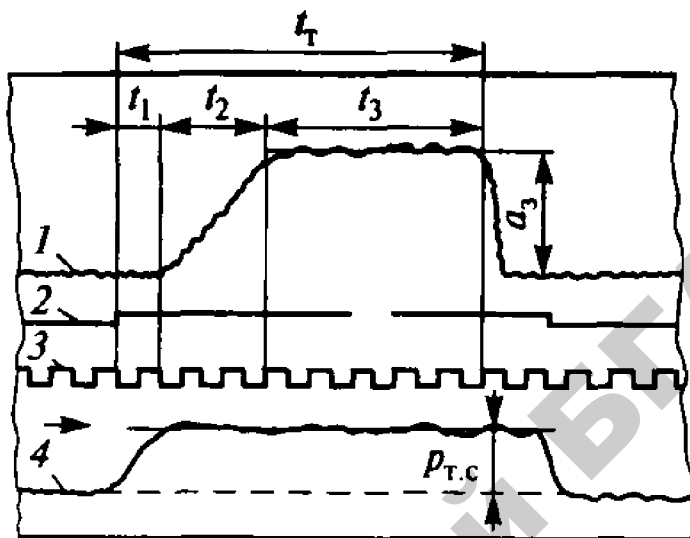


Рис. 3.1. Пример регистрации процесса торможения автомобиля:

1 – график замедления; 2 – график процесса нажатия на тормозную педаль;
3 – время торможения; 4 – график изменения давления в тормозной системе ($p_{т.с}$)

Для получения статистических данных о процессе торможения испытания проводят многократно. Графики усредняют таким образом, чтобы суммарная площадь выбросов при проведении средней горизонтальной линии была приблизительно одинакова над и под горизонталью. За средние принимают значения a_z и $p_{т.с}$, отсчитываемые от нулевой линии до усредняющей горизонтали.

По результатам испытаний составляют отчет, в котором излагают результаты и дают анализ полученных данных.

Испытания проводят водители, имеющие опыт вождения автомобилей с высокими скоростями в сложных дорожных условиях. Для обеспечения необходимого темпа нажатия на органы управления тормозной системы все испытания от начала до завершения проводят водители, прошедшие специальную подготовку.

При испытаниях автомобиль разгоняют до скорости большей, чем задается (приблизительно на 5 км/ч), затем по сигналу оператора водитель отключает двигатель от трансмиссии, автомобиль движется накатом, снижая скорость. При достижении заданной скорости по сигналу оператора водитель выполняет экстренное торможение.

В данной лабораторной работе вместо натурального эксперимента будем использовать метод компьютерного моделирования алгоритм расчета, которого представлен ниже.

2. Подготовка исходных данных

Для выполнения лабораторной работы необходимы следующие данные: полная m_a и снаряженная m_0 массы автомобиля; распределение масс между колесами переднего и заднего мостов грузового m_{a1} и m_{a2} и снаряженного m_{01} , m_{02} автомобиля; база автомобиля L ; радиус качения колеса $r_{к0}$.

3. Определение координат центра масс автомобиля

3.1. Координаты центра масс автомобиля с полной нагрузкой:

$$l_1 = m_{a2}L / m_a; \quad l_2 = m_{a1}L / m_a; \quad h_c = (0,30 - 0,35)L. \quad (1)$$

3.2. Координаты центра масс снаряженного автомобиля:

$$l_1^* = m_{02}L / m_0; \quad l_2^* = m_{01}L / m_0; \quad h_c^* = (0,2 - 0,3)L. \quad (2)$$

4. Определение параметров рабочей тормозной системы

4.1. Максимальный момент тормозных механизмов передних колес по сцеплению с дорогой:

$$M_{t\phi_{1\max}} = r_{к0} m_a g \phi_{\max} (l_2 + h_c \phi_{\max}) / L, \quad (3)$$

где $\phi_{\max}$ — максимальный коэффициент сцепления колеса с дорогой.

Принять $\phi_{\max} = 0,8$ — для автомобиля без усилия тормозных моментов и $\phi_{\max} = 0,9$ — для автомобиля с усилителем.

4.2. Коэффициент распределения тормозных моментов:

$$\beta_T = (l_2 + h_c \phi_0) / L. \quad (4)$$

Принять для легкового автомобиля $\phi_0 = 0,8$, а для грузового $\phi_0 = 0,4$.

4.3. Коэффициенты пропорциональности привода тормозных механизмов:

$$k_1 = M_{t\phi_{1\max}} / P_{\max}; \quad (5)$$

$$k_2 = k_1(1 - \beta_T) / \beta_T, \quad (6)$$

где $p_{\max}$ — максимальное давление в системе привода.

Для тормозной системы с гидроприводом принять $p_{\max} = 10$ МПа, а с пневмоприводом $p_{\max} = 1,0$ МПа.

5. Оценка эффективности рабочей тормозной системы

5.1 Максимально возможное замедление автомобиля в заданных дорожных условиях:

$$|a_{T\max}| = \varphi_x g. \quad (7)$$

где φ_x — коэффициент продольного сцепления колеса с дорогой.

При вычислениях замедления значение коэффициента сцепления φ_x варьируется в пределах 0,15–0,80 с шагом $\Delta \varphi_x = 0,05$.

5.2. Замедление автомобиля с полной нагрузкой без регулирования тормозных моментов:

– при $\varphi_x < \varphi_0$

$$|a_T| = \varphi_x g \frac{l_2}{l_2 + h_c(\varphi_0 - \varphi_x)}; \quad (8)$$

– при $\varphi_x > \varphi_0$

$$|a_T| = \varphi_x g \frac{l_1}{l_1 + h_c(\varphi_0 - \varphi_x)}; \quad (9)$$

– при $\varphi_x = \varphi_0$

$$|a_T| = \varphi_0 g. \quad (10)$$

5.3. Замедление снаряженного автомобиля $|a_T^*|$ без регулирования тормозных моментов определяют по формулам (8)–(10), подставляя в них координаты центра масс снаряженного автомобиля l_1^*, l_2^*, h_c^* , а вместо φ_0 — значение коэффициента сцепления φ_0^* , при котором колеса обоих мостов снаряженного автомобиля одновременно достигают предела блокировки:

$$\varphi_0^* = \frac{\beta_T L - l_2^*}{h_c^*}. \quad (11)$$

5.4 Тормозной путь автомобиля с полной нагрузкой s_T и снаряженного автомобиля S_T^* вычисляют по формуле

$$S_T = v_0(t_3 + 0,5t_n) + 0,5v_0^2/|a_T|, \quad (12)$$

где v_0 — начальная скорость торможения, м/с;

t_3 — время запаздывания тормозного привода, с;

t_n — время нарастания замедления, с.

Для автомобилей всех типов принять $t_3 = 0,2$ с; $t_n = 0,4$ с.

Значения v_0 для различных типов автомобилей нормированы стандартом и приведены в таблице 3.2.

5.5 Проверка выполнения нормативных требований. Полученные значения замедления $|a_T|$, $|a_T^*| = \varphi_0 g_0$ и тормозного пути s_T и s_T^* при $\varphi_x = 0,7$ сравнивают с нормативными значениями $a_{T, \text{уст}}$ и $s_{T, \text{н}}$ для данного типа автомобиля. Должны выполняться условия:

$$|a_T| \geq a_{T, \text{уст}}; |a_T^*| \geq a_{T, \text{уст}}, \quad (13)$$

$$S_T \geq S_{T, \text{н}}; S_T^* \leq S_{T, \text{н}}, \quad (14)$$

где $a_{T, \text{уст}}$ — установившееся замедление при регламентированном значении усилия на тормозной педали;

$s_{T, \text{н}}$ — нормативное значение тормозного пути.

Значения $a_{T, \text{уст}}$ и $s_{T, \text{н}}$ приведены в таблице 3.2. Они соответствуют испытаниям типа «ноль». Если условия (13) и (14) не выполняются, необходимо изменить значение φ_0 . Минимальным требованием к рабочей тормозной системе является обеспечение нормативных показателей эффективности торможения автомобиля с полной нагрузкой.

5.6 Коэффициент оптимального распределения тормозных моментов:

$$\beta_{\text{тф}} = \frac{l_2 + h_c \varphi_x}{L}. \quad (15)$$

Значения $\beta_{\text{тф}}$ вычисляют для автомобиля с полной нагрузкой и для снаряженного автомобиля, используя соответствующие значения координат центра масс и варьируя величину φ_x в пределах 0,15–0,80.

По результатам вычислений заносим в табл. 3.3 и строим графики функций (рис. 3.2) $|a_t| = f(\varphi_x)$, $|a_{t \max}| = f(\varphi_x)$, $s_t = f(\varphi_x)$, $\beta_{тф} = f(\varphi_x)$ для автомобиля с полной нагрузкой и снаряженного автомобиля.

Таблица 3.3

Показатели эффективности рабочей тормозной системы

Коэффициент сцепления шин с дорогой φ_x	Тип и состояние дорожного покрытия	Расчетные показатели			
		a_t , м/с ²	$a_{t \max}$, м/с ²	S_t , м	$\beta_{тф}$

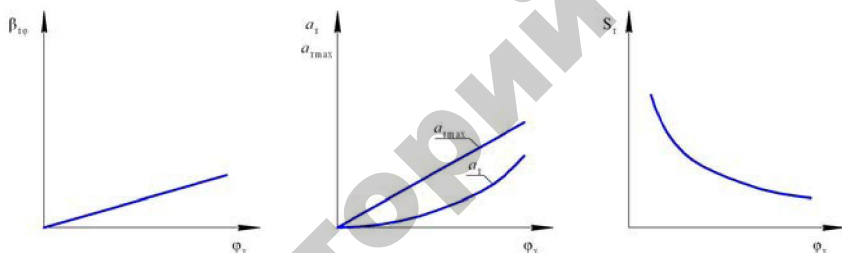


Рис. 3.2. Зависимости a_t , $a_{t \max}$, S_t , $\beta_{тф}$ от коэффициента сцепления шин с дорогой φ_x

6. Оценка эффективности запасной тормозной системы

6.1. Замедление автомобиля при использовании в качестве запасной тормозной системы контура передних тормозных механизмов:

$$|a_t| = \varphi_x g \frac{l_2}{L - h_c \varphi_x}. \quad (16)$$

6.2. Замедление автомобиля при использовании в качестве запасной тормозной системы контура задних тормозных механизмов:

$$|a_t| = \varphi_x g \frac{l_1}{L + h_c \varphi_x}. \quad (17)$$

Вычисления по формулам (16) и (17) выполнить для груженого и снаряженного автомобиля и построить графики зависимостей $|a_T| = f(\varphi_x)$.

6.3. Проверка выполнения нормативных требований. Значения $|a_T|$ определяют для автомобиля с полной нагрузкой и снаряженного автомобиля при $\varphi_x = 0,7$. Полученные значения $|a_T|$ сравнивают с нормативными для данного типа автомобиля и принимают решение о выборе расположения тормозных механизмов запасной тормозной системы.

7. Определение характеристик и параметров регулятора тормозных моментов

7.1. Моменты тормозных механизмов передних и задних колес по сцеплению с дорогой:

$$M_{\text{тф1}} = r_{\kappa 0} m_a g \varphi_x (l_2 + h_c \varphi_x) / L, \quad (18)$$

$$M_{\text{тф2}} = r_{\kappa 0} m_a g \varphi_x (l_1 + h_c \varphi_x) / L. \quad (19)$$

Значения $M_{\text{тф1}}$ и $M_{\text{тф2}}$ вычисляют для груженого и снаряженного автомобиля при варьировании φ_x в пределах от 0,15 до 0,80 через 0,05. При вычислениях $M_{\text{тф1}}$ и $M_{\text{тф2}}$ для снаряженного автомобиля в формулах (18) и (19) подставляют соответствующие этому состоянию значения массы и координат центра масс автомобиля.

7.2. Давления в контурах привода тормозных механизмов передних и задних колес:

$$p_1 = M_{\text{тф1}} / k_1; \quad p_2 = M_{\text{тф2}} / k_2. \quad (20)$$

По результатам вычислений построить графики характеристик $p_2 = f(p_1)$, определяющих оптимальное соотношение между давлениями в контурах привода передних и задних тормозных механизмов для автомобиля с полной нагрузкой и снаряженного автомобиля. При этих условиях обеспечивается полное использование сцепных свойств всех колес и достигается максимальная эффективность тормозной системы. На графике изображается также безрегуляторная характеристика $p_2 = f(p_1)$.

7.3. Выбор типа регулятора тормозных моментов и построение его рабочей характеристики. На основании идеальных характеристик $p_2 = f(p_1)$ выбирают тип регулятора тормозных моментов, осуществляют построение рабочей характеристики и определяют его параметры: давление включения регулятора p_0 и коэффициент передачи α , вычисляемой по формуле

$$\alpha = \Delta p_2 / \Delta p_1, \quad (21)$$

где Δp_1 , Δp_2 — приращения давлений p_1 и на регуляторной ветви рабочей характеристики регулятора тормозных моментов, отсчитываемые от ее начала при p_0 .

Содержание отчета по работе

1. Привести краткую методику испытаний для определения тормозных свойств автомобиля.
2. Дать перечень показателей определяющих эффективность тормозной системы и их нормативы.
3. Провести расчет и построение тормозной характеристики автомобиля, дать оценку эффективности тормозной системы.

Контрольные вопросы

1. Назовите типы испытаний для определения тормозных свойств автомобиля.
2. Какие основные параметры нормируются при испытаниях тормозных систем автомобиле?
3. Какие требования предъявляются к условиям проведения испытаний тормозных систем автомобилей.
4. Как определяется замедление автомобиля, тормозной путь и время торможения?
5. Как определяются характеристики и параметры регулятора тормозных моментов?

Лабораторная работа № 4

ТОПЛИВНАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ С МЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

Цель работы: определение показателей топливной экономичности и освоение методики построения топливно-экономической характеристики автомобиля.

1. Методика испытаний на топливную экономичность и нормативы.

Измерители топливной экономичности автомобиля и методика их определения регламентируются международными (правила ЕЭК ООН № 15, № 84, № 101) и отечественными (ГОСТ 20306–90, ГОСТ 4.401–88, ГОСТ 4.396–88) стандартами.

Основными измерителями топливной экономичности служат:

Средний расход топлива $Q_{\text{ср}}$ — это путевой расход топлива в литрах на 100 км пройденного пути при нормальном эксплуатационном режиме движения в разных, наиболее типичных для данного автомобиля дорожных условиях.

Удельный расход топлива $Q_{\text{уд}}$ — это отношение среднего расхода топлива в литрах к выполненной транспортной работе по перевозке грузов и пассажиров (л/т·км (л/100 т·км) или л/пас·км (л/100 пас·км)).

В табл. 4.1 приведены применяемые измерители топливной экономичности согласно существующей нормативной базе.

Таблица 4.1

Применяемые измерители топливной экономичности

Измеритель		Обозначение ГОСТ		№ правила ЕЭК ООН
1	Контрольный расход топлива	$Q_{\text{ск}}$	2030 6-90	15 и 84
2	Расход топлива в магистральном цикле	$Q_{\text{СМ.Ц.}}$		-
3	Расход топлива в городском цикле	$Q_{\text{СГ.Ц.}}$		-
4	Расход топлива в городском цикле на стенде	$Q_{\text{СГ.Ц.С}}$		15, 84, 101

Окончание таблицы 4.1

Измеритель		Обозначение ГОСТ		№ правила ЕЭК ООН
5.	Топливная характеристика установившегося движения	$Q_S = f(V_a)$		-
6.	Топливо-скоростная характеристика на магистрально-холмистой дороге	$Q_S = f(V_{a, \text{доп}}) V_a = f(V_{a, \text{доп}})$		-
7.	Удельный контрольный расход топлива для грузовых автомобилей	$Q_{\text{ИК}}$	4.40 1-88	-
8.	Обобщенный приведенный расход топлива	Q_S	4.39	-
9.	Топливо-экономическая характеристика	$Q_S = f(V_a, \psi)$	6-88	-

Согласно правил ЕЭК ООН № 15 и № 84 распространяющихся на транспортные средства категорий M₁ и N₁ полной массой до 2 т оценку контрольного расхода производят с постоянными скоростями 90 и 120 км/ч. Расход топлива в городском цикле производят в простом городском ездовом цикле см. табл. 4.2.

Таблица 4.2

Городской ездовой цикл для определения топливной экономичности транспортных средств категорий M₁ и N₁ полной массой до 2 т. (правила ЕЭК ООН №15 и №84)

1. Холостой ход (XX) 15 с	
2. 0 – 200 м	разгон до 20 км/ч, остановка 15 с
3. 200 – 400 м	разгон до 25 км/ч
4. 400 – 600 м	разгон до 30 км/ч, остановка 15 с
5. 600 – 800 м	разгон до 35 км/ч, торможение до 20 км/ч
6. 800 – 1100 м	разгон до 40 км/ч, остановка 15 с
7. 1100 – 1400 м	разгон до 45 км/ч, торможение до 30 км/ч
8. 1400 – 1700 м	разгон до 45 км/ч, остановка 15 с
9. 1700 – 2200 м	разгон до 50 км/ч, остановка 45 с
10. 2200 – 3000 м	разгон до 55 км/ч, остановка 15 с
11. 3000 – 4000 м	разгон до 60 км/ч остановка на отметке 4000 м (остальные циклы см. [1], с. 45]

Правило ЕЭК ООН № 101 относится к автомобилям с гибридными силовыми установками.

Измерение производят при 11 циклах: 1–5 — прогрев; собственно измерения производят трижды — на 6–7; 8–9; 10–11 циклах. Между парами допускается увеличение времени холостого хода до 60 с.

Топливную характеристику (согласно отечественным ГОСТам) находят при установившихся режимах движения на высшей передаче с изменением скоростей от максимума до минимума с заданными интервалами (10 и 20 км/ч). Кроме того, топливную характеристику определяют на дороге с переменным продольным профилем при неустановившемся режиме работы. В программу испытаний включают измерение расходов топлива при двух скоростях движения с установившимися режимами работы и при движении по городу с разгонами, изменением скоростей движения и остановками.

Расход при городском движении характеризует экономичность при переменных нагрузках двигателя и разной интенсивности нарастания частоты вращения вала и нагрузки. Контрольный расход топлива (в л/100 км) определяют как средний арифметический при движении автомобиля по участку дороги длиной 3–5 км (в некоторых случаях 1 км) в прямом и обратном направлениях.

Экономическая характеристика, полученная в дорожных испытаниях, выражает зависимость расхода топлива от скорости движения автомобиля V . Измеряют расход топлива через каждые 10 км для грузового автомобиля и через 20 км для легкового.

При определении контрольного расхода топлива и снятии дорожной экономической характеристики автомобиля расход жидкого топлива измеряют с помощью мерных цилиндров со шкалой деления не более $2,5 \text{ см}^3$ или счетчиков-расходомеров. Прибор устанавливают в систему питания двигателя между топливным баком и насосом.

Для измерения пути, времени и скорости движения автомобиля при определении контрольного расхода топлива и снятии дорожной экономической характеристики может быть использован прибор типа «путь – скорость – время» или автосчетчик.

Эксплуатационные расходы топлива определяют объемным счетчиком-топливомером или с помощью съемного мерного бачка на дорогах общего пользования большой протяженности (50–100 км и более) со скоростями, которые допускают условия движе-

ния. Скоростной режим движения регистрируют автосчетчиком, путь пройденный автомобилем-счетчиком пути. Одновременно с расходом топлива находят расход масла двигателем методом долива его в картер. В эксплуатационных испытаниях иногда расход топлива измеряют на наиболее характерных участках пути.

Условия работы некоторых типов автомобилей, например, автобусов, характеризуются циклическим движением. При испытании этих типов автомобилей на топливную экономичность расход топлива определяют на заданной дистанции, например на автобусном маршруте, которая может состоять из нескольких десятков отдельных циклов движения. По этим данным подсчитывают расход топлива на единицу пути и среднюю скорость движения автомобиля. При испытаниях на топливную экономичность не должно быть повышенных сопротивлений, связанных с регулировками (например, тормозной системы), установкой колес и величиной давления в шинах. Непосредственно перед испытаниями автомобиль должен иметь пробег не менее 50 км, чтобы его узлы и детали были прогреты.

В данной лабораторной работе вместо натурального эксперимента будем использовать метод компьютерного моделирования алгоритм расчета, которого представлен ниже.

2. Подготовка исходных данных

Для выполнения лабораторной работы необходимы следующие данные: уравнение регрессии внешней скоростной характеристики двигателя $P_e = f(n_d)$ и ее параметры $P_{e \max}$, n_p , g_{ep} или $g_{d \min}$; параметры трансмиссии $u_{\text{тр}}, \eta_{\text{тр}}, i = 1, \dots, n$; радиус качения колеса $r_{\text{к0}}$; полная масса автомобиля m_a ; коэффициент сопротивления качению f ; габаритные размеры автомобиля B, H .

3. Вычисление функций для построения топливной характеристики

При построении топливной характеристики автомобиля для каждой передачи вычисляются следующие функции: мощность двигателя P_e ; мощности, затрачиваемые на преодоление всех соответствующих сопротивлений движению автомобиля: $P_f, P_w, P_{\text{в.о.}}, P_{\text{тр}}$; скорость автомобиля v .

3.1. Мощность двигателя. Для вычисления мощности двигателя используется формула

$$P_{\text{в}} = P_{\text{вmax}} \left[a \frac{n_{\text{д}}}{n_{\text{р}}} + b \left(\frac{n_{\text{д}}}{n_{\text{р}}} \right)^2 + c \left(\frac{n_{\text{д}}}{n_{\text{р}}} \right)^3 \right], \quad (1)$$

где a , b , c — коэффициенты регрессии уравнения внешней скоростной характеристики двигателя:

$$a = \frac{k_M k_{\varpi} (2 - k_{\varpi}) - 1}{k_{\varpi} (2 - k_{\varpi}) - 1};$$

$$b = \frac{2k_{\varpi} (k_M - 1)}{k_{\varpi} (2 - k_{\varpi}) - 1};$$

$$c = \frac{k_{\varpi}^2 (k_M - 1)}{k_{\varpi} (2 - k_{\varpi}) - 1}.$$

где k_M и k_{ϖ} — коэффициенты приспособляемости двигателя по моменту и по угловой скорости;

$$k_M = M_{\text{вmax}} / M_{\text{р}};$$

$$k_{\varpi} = \varpi_{\text{р}} / \varpi_M = n_{\text{р}} / n_M.$$

В формуле (1) и далее мощность вычисляется в ваттах.

Вычисления осуществляются при варьировании частоты вращения коленчатого вала двигателя) $n_{\text{д}}$ в пределах $0,8n_M \leq n_{\text{д}} \leq n_{\text{р}}$. Шаг варьирования $\Delta n_{\text{д}} = 100$ об/мин. Значения $n_{\text{р}}$ и $0,8n_M$ должны быть кратными 100. По полученным значениям P_{ej} , n_{dj} , $j = \overline{1, m}$ построить характеристику $P_e = f(n_{\text{д}})$. При построении характеристики $P_e = f(n_{\text{д}})$ мощность принимается в киловаттах, а $n_{\text{д}}$ — в оборотах в мин.

3.2. Мощность, затрачиваемая на привод вспомогательного оборудования двигателя:

$$P_{\text{в.о}} = k_{\text{в.о}} P_{\text{в}}, \quad (2)$$

где $k_{\text{в.о}}$ — коэффициент отбора мощности.

3.3. Мощность потерь в трансмиссии:

$$P_{\text{тр}ij} = P_{\text{в}i} (1 - k_{\text{в.о}}) (1 - \eta_{\text{т}ri}); \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}, \quad (3)$$

где $\eta_{\text{тр},i}$ — КПД трансмиссии на i -й передаче.

3.4. Скорость автомобиля (метров в секунду):

$$v_{ij} = \frac{\pi r k_0 n_{\text{д}i}}{30 u_{\text{т}pi}}, \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}, \quad (4)$$

где n — количество ступеней в коробке передач;

где m — количество дискретных значений $n_{\text{д}}$.

3.5. Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению:

$$P_{fij} = f m_a g v_{ij}, \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}, \quad (5)$$

3.6. Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха:

$$P_{w_{ij}} = A_w v_{ij}^3, \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}, \quad (6)$$

где A_w — фактор обтекаемости автомобиля.

3.7. Мощность нагрузки двигателя:

$$P_{\text{д}nij} = P_{\text{в},oij} + P_{\text{т}pij} + P_{fij} + P_{w_{ij}}, \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}, \quad (7)$$

3.8. Коэффициенты использования мощности двигателя И и угловой скорости коленчатого вала Е:

$$I_{ij} = P_{\text{д}nij} / P_{\text{в}j}; \quad (8)$$

$$E_j = n_{\text{д}i} / n_p. \quad (9)$$

3.9. Коэффициент, учитывающий зависимость удельного расхода топлива $g_{\text{д}}$ от уровня нагрузки двигателя:

— для бензиновых двигателей

$$k_{iij} = 3,27 - 8,22 I_{ij} + 9,13 I_{ij}^2 - 3,18 I_{ij}^3; \quad (10)$$

— для дизельных двигателей

$$k_{iij} = 1,20 + 0,14 I_{ij} - 1,80 I_{ij}^2 + 1,46 I_{ij}^3. \quad (11)$$

3.10. Коэффициент, учитывающий зависимость g_d от скоростного режима двигателя:

$$k_{vij} = 3,27 - 8,22I_{ij} + 9,13I_{ij}^2 - 0,24E_j^3. \quad (12)$$

3.11. Удельный расход топлива двигателя:

$$g_{dij} = g_{ep} k_{vij} k_{ej}, \quad (13)$$

где g_{ep} — удельный расход топлива при $P_{e \max}$.

$$g_{ep} = (1,05 \dots 1,15) g_{d \min}; \quad (14)$$

$g_{d \min}$ — минимальный удельный расход топлива, г/(кВт·ч).

Значения $g_{d \min}$ находятся в следующих пределах: для карбюраторных двигателей — 260–310; для бензиновых двигателей с впрыском топлива — 220–250; для дизельных двигателей — 175–220.

3.12. Путевой расход топлива. Путевой расход топлива Q_s , л/100 км, вычисляется по формуле:

$$Q_{sij} = \frac{g_{dij} P_{dij}}{36 v_{ij} \rho_T}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (15)$$

где ρ_T — плотность топлива.

Плотность бензина составляет 730 кг/м³; плотность дизельного топлива — 860 кг/м³.

4. Построение топливной характеристики автомобиля.

По результатам вычислений табл. 4.2 функций Q_s и v осуществляется построение топливной характеристики автомобиля $Q_s = f(v)$ рис. 4.1 на всех передачах. При этом скорость автомобиля задается в километрах в час. По топливной характеристике определяют контрольные расходы топлива Q_{sk1} и Q_{sk2} , экономичную скорость v_s и минимальный расход топлива $Q_{s \min}$ на высшей передаче.

Таблица 4.2

Определяемые величины для построения топливной характеристики

v_{ij} , м/с	n_{ij} , мин ⁻¹	$P_{днij}$, кВт	$k_{Иij}$	$k_{Еj}$	$g_{дij}$, г/кВт·ч	Q_{st} , л/100км
5...6 знач.						

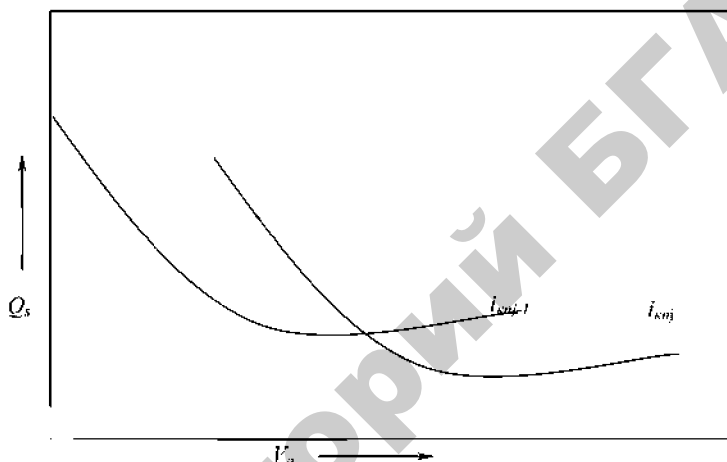


Рис. 4.1. Топливо-экономическая характеристика автомобиля

Содержание отчета по работе

1. Привести основные измерители топливной экономичности автомобиля согласно существующей нормативной базе.
2. Привести краткую методику получения топливно-экономической характеристики при испытаниях автомобиля в городском и магистральном цикле.
3. Привести расчет и построение топливно-экономической характеристики автомобиля.

Контрольные вопросы

1. Какие основные измерители применяются при определении топливной экономичности автомобиля?

2. Какие особенности определения основных измерителей топливной экономичности при городских и магистральных циклах движения?

3. Какой порядок расчета и построения топливно-экономической характеристики автомобиля?

4. Как определяется коэффициент учитывающий зависимость удельного расхода топлива от загрузки двигателя автомобиля?

5. Как определяется коэффициент учитывающий зависимость удельного расхода топлива от скорости движения автомобиля?

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вахламов, В. К.* Автомобили : теория и конструкция автомобиля и двигателя / В. К. Вахламов, М. Г. Шатров, А. А. Юрчевский. – 5-е изд., стер. – М. : «Академия», 2010. – 816 с.
2. *Кравец, В. Н.* Законодательные и потребительские требования к автомобилям / В. Н. Кравец, Е. В. Горынин. – Нижний Новгород : НГТУ, – 2002. – 400 с.
3. *Кравец, В. Н.* Теория автомобиля: учеб. пособие / В. Н. Кравец. – Нижний Новгород : НГТУ. – 2007. – 368 с.
4. *Кутьков, Г. М.* Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г. М. Кутьков. – М. : Колос, 2004. – 504 с.
5. *Тарасик, В. П.* Теория движения автомобиля : учебник для вузов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 478 с.
6. Государственный стандарт Республики Беларусь. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. ГОСТ 7057–2001. Введ. 01.01.03. - Минск: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т. стандартизации и сертификации, 2003. – 6с.
7. Государственный стандарт Республики Беларусь. Тракторы сельскохозяйственные: определение тяговых показателей. ГОСТ 30745–2001 (ИСО 789–9–90). Введ. 01.01.03. - Минск: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т. стандартизации и сертификации, 2003. – 11с.
8. Государственный стандарт СССР. Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы и пояснения к ним. ГОСТ 27021–86. Введ. 01.07.87. – Москва: Госстандарт СССР: Издательство стандартов, 1987. – 8с.
9. Государственный стандарт СССР. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки машинных комплексов, специализированных и универсальных машин на этапе испытаний. ГОСТ 24057–88. Введ. 01.01.89. – Москва: Госстандарт СССР: Издательство стандартов, 1989. – 8с.

10. Государственный стандарт Республики Беларусь. Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей. ГОСТ 30745–2001. Введ. 01.11.01. - Минск: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т. стандартизации и сертификации, 2001. – 15с.

11. Государственный стандарт Республики Беларусь. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. СТБ ИСО/МЭК 17025–2002. Введ. 01.01.02. - Минск: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т. стандартизации и сертификации, 2002. – 36с.

12. Государственный стандарт Республики Беларусь. Устройство навесное заднее сельскохозяйственных тракторов классов 0,6–8,0, типы, основные параметры и размеры. ГОСТ 10677–2001. Введ. 01.01.04. - Минск: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т. стандартизации и сертификации, 2004. – 7с.

13. Государственный стандарт Республики Беларусь. Правила ЕЭК ООН № 13. Пересмотр 5. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категорий М, N и O в отношении торможения. Введ. 01.03.09. Минск: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т. стандартизации и сертификации, 2009. – 385с.

14. Государственный стандарт Республики Беларусь. Правила ЕЭК ООН № 84. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения дорожных транспортных средств, оборудованных двигателем внутреннего сгорания, в отношении измерения потребления топлива. Введ. 01.04.09. Минск: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т. стандартизации и сертификации, 2009. – 268с.

15. Государственный стандарт Республики Беларусь. Правила ЕЭК ООН № 101. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей, оборудованных двигателем внутреннего сгорания, в отношении измерения объема выбросов диоксида углерода и расхода топлива, а также транспортных средств категорий M1 и N1, оборудованных электроприводом, в отношении измерения расхода электроэнергии и запаса хода. Введ. 01.02.09. Минск: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т. стандартизации и сертификации, 2009. – 324с.

16. Государственный стандарт СССР. Техническая диагностика. Стенды роликовые для определения параметров тягово-скоростных свойств и топливной экономичности автомобилей и колесных трак-

торов в условиях эксплуатации. Общие технические требования. ГОСТ 26899-86. Введ. 01.07.87. – Москва: Госстандарт СССР: Издательство стандартов, 1987. – 11с.

17. Государственный стандарт СССР. Техническая диагностика. Средства диагностирования автомобилей, тракторов, строительных и дорожных машин. Классификация, общие технические требования. ГОСТ 25176-82. Введ. 01.01.83. – Москва: Госстандарт СССР: Издательство стандартов, 1983. – 9с.

18. Государственный стандарт СССР. Техническая диагностика. Символы на средствах диагностирования бензиновых двигателей и электрооборудования автомобилей. ГОСТ 25738-83. Введ. 01.01.85. – Москва: Госстандарт СССР: Издательство стандартов, 1985. – 18с.

19. Государственный стандарт СССР. Надежность в технике. Выбор и нормирование показателей надежности. Основные показатели. ГОСТ 27.003-83. Введ. 01.01.85. – Москва: Госстандарт СССР: Издательство стандартов, 1985. – 27с.

20. Государственный стандарт Российской Федерации. Единые предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категорий М, N и О в отношении торможения. ГОСТ Р 41.13-99. Введ. 01.05.99. – Москва: Госстандарт России: Издательство стандартов, 1999. – 118с.

21. Государственный стандарт СССР. Автотранспортные средства. Требования к техническому состоянию по условиям безопасности движения. Методы проверки. ГОСТ 25478-91. Введ. 01.12.91. – Москва: Госстандарт СССР: Издательство стандартов, 1991. – 78с.

22. Государственный стандарт СССР. Автомобили грузовые и легковые, автобусы, автопоезда. Требования безопасности к техническому состоянию. Методы проверки. ГОСТ 25478-82. Введ. 01.06.83. – Москва: Госстандарт СССР: Издательство стандартов, 1983. – 62с.

23. Государственный стандарт СССР. Тормозные системы и тормозные свойства автотранспортных средств. Нормативы эффективности. Общие технические требования. ГОСТ 22895-77. Введ. 01.01.78. – Москва: Госстандарт СССР: Издательство стандартов, 1978. – 44с.

24. Государственный стандарт СССР. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. ГОСТ 20306-90. Введ. 01.10.90. – Москва: Госстандарт СССР: Издательство стандартов, 1990. – 52с.

25. Государственный стандарт СССР. Система показателей качества продукции. Автомобили грузовые. Номенклатура показателей. ГОСТ 4.401-88. Введ. 01.01.89. – Москва: Госстандарт СССР: Издательство стандартов, 1989. – 18с.

26. Государственный стандарт СССР. Система показателей качества продукции. Автомобили легковые. Номенклатура показателей. ГОСТ 4.396-88. Введ. 01.01.89. – Москва: Госстандарт СССР: Издательство стандартов, 1989. – 16с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Основные сведения о калибровочном оборудовании

Стенд ТУД-5 предназначен для градуировки и поверки тяговых тензометрических звеньев и динамометров с максимальным измеряемым усилием до 50 кН. Стенд является испытательным оборудованием специального назначения.

Градуировка осуществляется путем сравнения показателей градуируемого динамометра 1 с показаниями эталонного силоизмерительного прибора 2 при одновременном воздействии на эти приборы некоторой силы (рис. П. 1). Эталонным силоизмерительным элементом стенда является образцовый динамометр сжатия 2 ДОСМ-3-5 со стрелочным индикатором 3.

Стенд 4 состоит из стального основания, двух стоек, на которых установлена верхняя опора. На верхней опоре смонтирован силовой узел: червячный самотормозящийся редуктор с передаточным отношением $i = 14,0$ и шпиндель 5 с резьбой, являющийся грузовым винтом, передающим усилие на образцовый динамометр 2.

Образцовый динамометр 2 подвешивается на шпиндель 5 с помощью реверсивных скоб, служащих для преобразования усилия растяжения в усилие сжатия.

Поверяемый динамометр 1 одним концом подвешивается к реверсивной скобе, а другим концом присоединяется к серьге нижней опоры.

Поверяемый и образцовый динамометры, установленные на стенде, подвергаются плавной нагрузке и разгрузке посредством поворота штурвала 6, закрепленного винтом на продолжении червяка редуктора. Приложенное усилие на рукоятке штурвала через редуктор, шпиндель 5 (грузовой винт) и через образцовый динамометр 2 передается поверяемому динамометру. Максимальное усилие на рукоятке 6 штурвала 300 Н при усиллии, передаваемом на приборы, 50 кН.

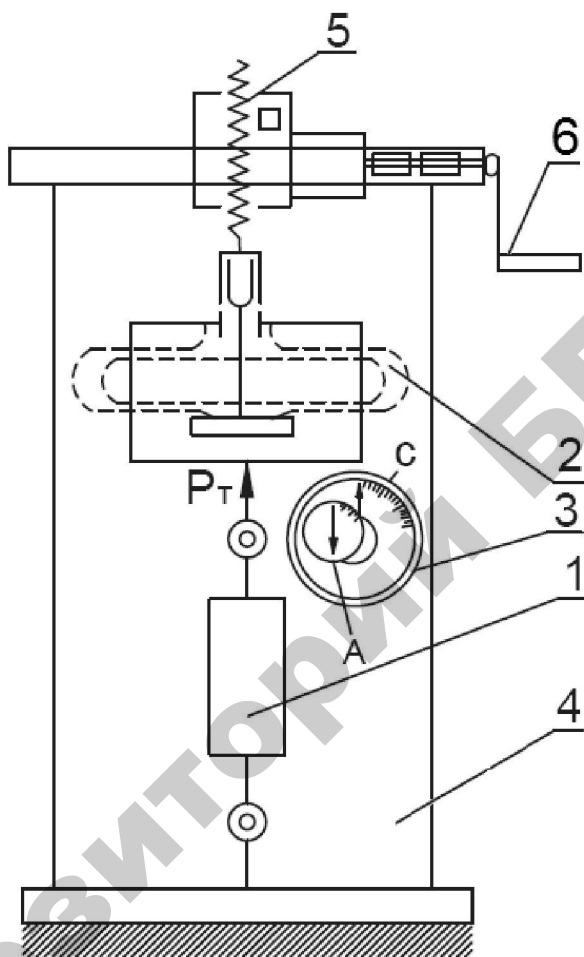


Рис. П.1.1. Схема калибровки тягового динамометра:

1 – динамометр ДПУ-50-1-У1; 2 – образцовый динамометр ДОСМ-3-5;
3 – индикатор; 4 – стенд ТУД-5; 5 – шпindelь червячного редуктора; 6 – штурвал

Приложение 2

Пример расчета неопределенности для калибруемого динамометра

Таблица П.2.1

Результаты измерений

№ измерения	Показания калибруемого динамометра, $F_{из}$, Н		Среднее арифметическое значение усилия $\overline{F_u}$, Н		Стандартное отклонение $S(F_{из})$, Н		Стандартная неопределенность $u(\overline{F_u})$, Н	
	В точке шкалы образцового динамометра, Н							
	20 000	40 000	20 000	40 000	20 000	40 000	20 000	40 000
1	20 100	40 100						
2	20 000	40 200						
3	20 200	40 200						
4	20 100	40 200						
5	20 000	40 300	20 090	40 230	73,8	64,1	23,33	22,85
6	20 100	40 300						
7	20 100	40 200						
8	20 200	40 200						
9	20 100	40 300						
10	20 000	40 200						

Для составления бюджета неопределенности, оценки суммарной неопределенности и определения расширенной неопределенности измерения усилия проводим анализ входных величин модели измерения.

Таблица П.2.2

Анализ входных величин

Входная величина	Методика определения
F_u показание калибруемого динамометра	Тип неопределенности: А Вид распределения: нормальное Оцененное значение: $\overline{F_u} = 20\,090\text{ Н}; \overline{F_u} = 40\,230\text{ Н}$ Интервал, в котором находится значение входной величины: — Стандартная неопределенность: $u(\overline{F_u}) = 23,33\text{ Н}; u(\overline{F_u}) = 22,85\text{ Н}$

Входная величина	Методика определения
F_3 показание эталонного динамометра	Тип неопределенности: В Вид распределения: прямоугольное Оцененное значение: $\overline{F_3} = 20000 \text{ Н}; \overline{F_3} = 40000 \text{ Н}$ Интервал, в котором находится значение входной величины равен: — Стандартная неопределенность: —
ΔF_3 погрешность эталонного динамометра	Тип неопределенности: В Вид распределения: прямоугольное Оцененное значение: 0 Интервал, в котором находится значение входной величины равен 0,3 % от измеряемого значения: а) $\Delta F_3 = \pm 0,3 \cdot F_3 / 100 = \pm 0,3 \cdot 20000 / 100 = \pm 60,0 \text{ Н}$; б) $\Delta F_3 = \pm 0,3 \cdot F_3 / 100 = \pm 0,3 \cdot 40000 / 100 = \pm 120,0 \text{ Н}$ Стандартная неопределенность: $u(\Delta F_3) = \frac{\Delta F_3}{\sqrt{3}} = \frac{60,0}{\sqrt{3}} = 34,68 \text{ Н};$ $u(\Delta F_3) = \frac{\Delta F_3}{\sqrt{3}} = \frac{119,11}{\sqrt{3}} = 69,36 \text{ Н}$
ΔF_o погрешность оператора	Тип неопределенности: В Вид распределения: прямоугольное Оцененное значение: 0 Интервал, в котором находится значение входной величины равен 0,2 цены деления шкалы 500 Н $\Delta F_o = 0,2 \cdot 500 = 100 \text{ Н}$ Стандартная неопределенность: $u(\Delta F_o) = \frac{\Delta F_o}{\sqrt{3}} = \frac{100}{\sqrt{3}} = 57,8 \text{ Н}$

Суммарная стандартная неопределенность равна:

- на ступени нагружения 20 000 Н:

$$u_c(F_u) = \sqrt{u^2(\overline{F_u}) + u^2(F_s) + u^2(\Delta F_s) + u^2(\Delta F_o)} = \\ = \sqrt{23,33^2 + 0 + 34,68^2 + 57,8^2} = 71,3 \text{ Н};$$

- на ступени нагружения 40 000 Н:

$$u_c(F_u) = \sqrt{u^2(\overline{F_u}) + u^2(F_s) + u^2(\Delta F_s) + u^2(\Delta F_o)} = \\ = \sqrt{22,85^2 + 0 + 69,36^2 + 57,8^2} = 93,1 \text{ Н}.$$

Процентные вклады неопределенности равны:

- в точке шкалы образцового динамометра 20 000 Н;

- калибруемого динамометра:

$$u(\overline{F_u}) = \frac{u^2(\overline{F_u})}{u_c^2(\Delta F_u)} \cdot 100 = \frac{23,33^2}{71,3^2} \cdot 100 = 10,8 \%;$$

- эталонного динамометра:

$$u(\Delta F_s) = \frac{u^2(\Delta F_s)}{u_c^2(\Delta F_u)} \cdot 100 = \frac{34,66^2}{71,3^2} \cdot 100 = 23,6 \%;$$

- оператора:

$$u(\Delta F_o) = \frac{u^2(\Delta F_o)}{u_c^2(\Delta F_u)} \cdot 100 = \frac{57,8^2}{71,3^2} \cdot 100 = 65,6 \%;$$

- в точке шкалы образцового динамометра 40 000 Н;

- калибруемого динамометра:

$$u(\overline{\Delta F_u}) = \frac{u^2(\overline{F_u})}{u_c^2(\Delta F_u)} \cdot 100 = \frac{22,85^2}{93,1^2} \cdot 100 = 6,0 \%;$$

- эталонного динамометра:

$$u(\Delta F_9) = \frac{u^2(\Delta F_9)}{u_c^2(\Delta F_u)} \cdot 100 = \frac{69,36^2}{93,1^2} \cdot 100 = 55,5 \%;$$

- оператора:

$$u(\Delta F_0) = \frac{u^2(\Delta F_0)}{u_c^2(\Delta F_u)} \cdot 100 = \frac{57,8^2}{93,1^2} \cdot 100 = 38,5 \%.$$

Расширенная неопределенность измерений на ступенях нагружения 20 000 Н и 40 000 Н с учетом коэффициента охвата $k = 2$ соответственно равна:

$$U_1(F_{u1}) = k \cdot u_c(\Delta F_u) = 2 \cdot 71,3 = 142,6 \text{ Н};$$

$$U_2(F_{u2}) = k \cdot u_c(\Delta F_u) = 2 \cdot 93,1 = 186,2 \text{ Н}.$$

Результат измерения:

Оцененная погрешность измерений тягового усилия калибруемым динамометром в точках шкалы образцового динамометра:

- 20 000 Н составляет $(\Delta F_{u1} \pm U_1) = (+90 \pm 142,6) \text{ Н}$ ($k = 2$, $p = 95 \%$);

- 40 000 Н составляет $(\Delta F_{u2} \pm U_2) = (+230 \pm 186,2) \text{ Н}$ ($k = 2$, $p = 95 \%$).

Таблица П.2.3

Бюджет неопределенности

Входная величина X_i	Значение x_i	Интервал $\pm u_i$	Тип неопределенности	Распределение вероятностей	Стандартная неопределенность $u_i(x_i)$	Коэффициент чувствительности C_i	Вклад неопределенности $u_i(y)$	Процентный вклад, %
а) в точке шкалы эталонного динамометра 20 000 Н								
Среднее арифметическое значение усилия по динамометру $F_{\text{ср}}$, Н	20090		A	Нормальное	23,33	1,0	23,33	10,8
Показания образцового динамометра $F_{\text{ср}}$, Н	20000		B	Прямоугольное	0	1,0	—	—
Погрешность эталона $\Delta F_{\text{ср}}$, Н	0	60,0	B	Прямоугольное	34,68	1,0	34,68	23,6
Погрешность оператора $\Delta F_{\text{оп}}$, Н	0	100	B	Прямоугольное	57,8	1,0	57,8	65,6
Значение ΔF , Н	+90				71,3			
Суммарная неопределенность $u_c(\Delta F) = 71,3$ Н								
Расширенная неопределенность $U = k \cdot u_c(\Delta F) = 142,6$ Н								
б) в точке шкалы эталонного динамометра 40 000 Н								
Среднее арифметическое значение усилия по динамометру $F_{\text{ср}}$, Н	40230		A	Нормальное	22,87	1,0	22,87	6,0
Показания образцового динамометра $F_{\text{ср}}$, Н	40000		B	Прямоугольное	0	1,0	—	—
Погрешность эталона $\Delta F_{\text{ср}}$, Н	0	120,0	B	Прямоугольное	69,36	1,0	69,36	55,5
Погрешность оператора $\Delta F_{\text{оп}}$, Н	0	100	B	Прямоугольное	57,8	1,0	57,8	38,5
Значение ΔF , Н	+230				93,1			
Суммарная неопределенность $u_c(\Delta F) = 93,1$ Н								
Расширенная неопределенность $U = k \cdot u_c(\Delta F) = 186,2$ Н								

Результат измерения: оцененная погрешность измерения тягового усилия калибруемым динамометром в точках шкалы образцового динамометра:

- 20 000 Н составляет $(\Delta F)_{\text{н}} \pm U_1) = (+90 \pm 142,6)$ Н, ($k = 2, p = 95\%$); 40 000 Н составляет $(\Delta F)_{\text{н}} \pm U_2) = (+230 \pm 186,2)$ Н, ($k = 2, p = 95\%$).

...

Основные сведения о калибруемом расходомере

Расходомер топлива «Flow-FCS3-250» со считывающим устройством SE-8005 или SCU 8005 предназначен для измерения количества расходуемого топлива (бензинового, дизельного, стартового и биотоплива) двигателями мощностью от 50 до 600 л.с. Прибор обеспечивает измерение расхода топлива как при стендовых (стационарных) испытаниях двигателей, так и в эксплуатационных условиях различных машин, оборудованных двигателями с расходом от 0,5 до 150 литров в час.

Датчик расхода топлива имеет автоматическое удаление воздуха перед и во время процесса измерения. Гашение колебаний топлива обеспечивается демпфером. Компенсация падения давления топлива производится в измерительном датчике.

Охлаждение циркулируемого топлива обеспечивается теплообменником и насосом перекачивания топлива. Благодаря большому теплообменнику прибор обеспечивает постоянную температуру топлива.

Технические характеристики

Тип дозирующего механизма	объемный поршневой
Измерительный диапазон, л/ч	0,5–150
Пропускная способность, л/ч	250
Основная погрешность измерения объема топлива, %	±0,5
Напряжение питания, В	12
Потребляемый ток, А, не более	8,0
Рабочее давление, макс. бар	5,0

**Пример расчета неопределенности для расходомера топлива
«Flow-FCS3-250»**

Модель измерения:

Относительная погрешность измерения объема топлива калибруемым расходомером определяется по следующей формуле:

$$\delta = \frac{V_u - V_{\text{э}} + \Delta V_{\text{э}} + \Delta V_0}{V_{\text{э}}} \cdot 100,$$

где δ – относительная погрешность измерения объема топлива, %;

V_u – объем топлива, измеренный калибруемым расходомером, мл;

$V_{\text{э}}$ – показания эталонного мерника топлива, мл;

$\Delta V_{\text{э}}$ – погрешность эталонного мерника топлива, мл;

ΔV_0 – погрешность оператора, мл.

Результаты измерений приведены в таблицах П.4.1–П.4.3.

Таблица П.4.1

Определение цены импульса расходомера топлива
«Flow-FCS3-250» при помощи стенда поверочного ИП165

Калибруемый прибор – расходомер топлива «Flow-FCS3-250» (вычислительное устройство зав.№ _____, датчик расхода топлива зав. № _____), диапазон измерения 0–150 л/ч, паспортная цена импульса _____ мл/имп.

Условия калибровки: температура окружающей среды +19 °С и топлива +18 °С, атмосферное давление 98 кПа

Установочный расход топлива, л/ч	№ измерения	Напряжение питания, В	Продолжительность измерения t, с	Показания расходомера N_b , имп.	Объем топлива в мернике V_m , мл	Фактический расход топлива $G_m = \frac{3,6 \cdot V_m}{t}$, л/ч	Цена импульса $C_i = \frac{V_m}{N_i}$, мл/имп	Средняя цена импульса $C_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}$, мл/имп
~ 5	1	12,8	632,0	1034,1	1032	5,88	0,998	0,998
	2	12,8	633,0	1033,6	1032	5,87	0,998	
	3	12,8	632,4	1034,8	1033	5,88	0,998	
~ 30	1	12,8	119,7	1030	1030	30,98	1,000	1,001
	2	12,8	119,7	1029	1031	31,01	1,002	
	3	12,8	119,7	1029	1031	31,01	1,002	
~ 60	1	12,8	59,0	1029	1030	62,85	1,001	1,000
	2	12,8	59,0	1030	1030	62,85	1,000	
	3	12,8	59,0	1029	1029	62,79	1,000	
~ 90	1	12,8	43,9	1030	1029	84,38	0,999	0,999
	2	12,8	43,8	1030	1028	84,49	0,998	
	3	12,8	43,8	1030	1029	84,58	0,999	

Средняя цена импульса $C = 1,0$ мл/имп. для диапазона расхода топлива составляет 1–100 л/ч.

Таблица П.4.2

Результаты измерений объема топлива
эталонным мерником в различных точках
рабочего диапазона расхода топлива

№ измерения	Показания эталонного мерника топлива, мл, в точках рабочего диапазона измерения расхода топлива			
	~ 5,9 л/ч	~ 31,0 л/ч	~ 62,8 л/ч	~ 84,4 л/ч
1	1032	1030	1030	1029
2	1032	1031	1030	1028
3	1033	1031	1029	1029
4	1032	1030	1029	1029
5	1033	1030	1030	1028
6	1031	1031	1030	1028
7	1032	1031	1029	1029
8	1032	1030	1029	1028
9	1033	1031	1030	1029
10	1031	1030	1030	1029
Среднее арифметическое значение расхода $\bar{V}_s$, мл	1032,1	1030,5	1029,6	1028,6
Стандартное отклонение $S(V_s)$, мл	0,74	0,53	0,52	0,52
Стандартная неопределенность $u(V_s)$, мл	0,23	0,17	0,16	0,16

Таблица П.4.3

Результаты измерений объема топлива эталонным мерником
в различных точках рабочего диапазона расхода при определении значений
цены импульса калибруемого расходомера

№ измерения	Показания эталонного мерника топлива, мл, в точках рабочего диапазона измерения расхода топлива, л/ч			
	5,9	31,0	62,8	84,4
1	1032	1030	1030	1029
2	1032	1031	1031	1028
3	1033	1031	1031	1029
Среднее арифметическое значение расхода $\bar{V}_u$, мл	1030,6			
Стандартное отклонение $S(V_{iu})$, мл	1,44			
Стандартная неопределенность $u(\bar{V}_u)$, мл	0,42			

Таблица П.4.4

Анализ входных величин

Входная величина	Методика определения
V_s , показания эталонного мерника	Тип неопределенности: А Вид распределения: нормальное Оцененное значение: $\bar{V}_s = 1032,1$ мл; $\bar{V}_s = 1030,5$ мл; $\bar{V}_s = 1029,6$ мл; $\bar{V}_s = 1028,6$ мл. Интервал, в котором находится значение входной величины: — Стандартная неопределенность: $u(\bar{V}_s) = 0,23$ мл; $u(\bar{V}_s) = 0,17$ мл; $u(\bar{V}_s) = 0,16$ мл; $u(\bar{V}_s) = 0,16$ мл.

Входная величина	Методика определения
V_u показания калибруемого расходомера	Тип неопределенности: В Вид распределения: прямоугольное Оцененное значение: $V_u = C_{\text{ср}} N_i = 1030,6$ мл; Интервал, в котором находится значение входной величины, равен: Стандартная неопределенность: $u(V_u) = 0,42 \text{ мл}$
ΔV_0 погрешность оператора	Тип неопределенности: В Вид распределения: прямоугольное Оцененное значение: 0 Интервал, в котором находится значение входной величины, равен 0,5 цены деления шкалы 1,0 мл: $\Delta V_0 = 0,5 \cdot 1,0 = 0,5$ мл Стандартная неопределенность: $u(\Delta V_0) = \frac{\Delta V_0}{\sqrt{3}} = \frac{0,5}{\sqrt{3}} = 0,29 \text{ мл}$
ΔV_9 погрешность эталонного мерника	Тип неопределенности: В Вид распределения: прямоугольное Оцененное значение: 0 Интервал, в котором находится значение входной величины, равен 0,5 % от измеряемой величины 1000 мл: $\Delta V_9 = 0,5 \cdot 1000 / 100 = 5 \text{ мл}$ Стандартная неопределенность: $u(\Delta V_9) = \frac{\Delta V_9}{\sqrt{3}} = \frac{5}{\sqrt{3}} = 2,89 \text{ мл}$

Коэффициенты чувствительности:

– для ΔV_u (относительная погрешность):

$$C_1 = \frac{\partial \delta}{\partial \Delta V_u} \cdot 100 = \frac{1 - \Delta V_u}{V_9} \cdot 100 = \frac{100}{V_9};$$

– для ΔV_3 (относительная погрешность):

$$C_2 = \frac{\partial \delta}{\partial \Delta V_3} \cdot 100 = \frac{1 - \Delta V_3}{\overline{V}_3} \cdot 100 = \frac{100}{\overline{V}_3};$$

– для ΔV_o (относительная погрешность):

$$C_3 = \frac{\partial \delta}{\partial \Delta V_o} \cdot 100 = \frac{1 - \Delta V_o}{\overline{V}_3} \cdot 100 = \frac{100}{\overline{V}_3};$$

Относительная суммарная стандартная неопределенность равна:

– в точке рабочего диапазона расхода топлива 5,9 л/ч:

$$\begin{aligned} u_c(\delta) &= \frac{1}{\overline{V}_3} \sqrt{u^2(V_u) + u^2(\overline{V}_3) + u^2(\Delta V_o) + u^2(\Delta V_3)} \cdot 100 = \\ &= \frac{\sqrt{0,42^2 + 0,23^2 + 0,29^2 + 2,89^2}}{1032,1} \cdot 100 = \frac{2,944}{1032,1} \cdot 100 = 0,285 \%; \end{aligned}$$

– в точке рабочего диапазона расхода топлива 31,0 л/ч:

$$\begin{aligned} u_c(\delta) &= \frac{1}{\overline{V}_3} \sqrt{u^2(V_u) + u^2(\overline{V}_3) + u^2(\Delta V_o) + u^2(\Delta V_3)} \cdot 100 = \\ &= \frac{\sqrt{0,42^2 + 0,17^2 + 0,29^2 + 2,89^2}}{1030,5} \cdot 100 = \frac{2,939}{1030,5} \cdot 100 = 0,285 \%; \end{aligned}$$

– в точке рабочего диапазона расхода топлива 62,8 л/ч:

$$\begin{aligned} u_c(\delta) &= \frac{1}{\overline{V}_3} \sqrt{u^2(V_u) + u^2(\overline{V}_3) + u^2(\Delta V_o) + u^2(\Delta V_3)} \cdot 100 = \\ &= \frac{\sqrt{0,42^2 + 0,16^2 + 0,29^2 + 2,89^2}}{1029,6} \cdot 100 = \frac{2,939}{1029,6} \cdot 100 = 0,285 \%; \end{aligned}$$

– в точке рабочего диапазона расхода топлива 83,0 л/ч:

$$u_c(\delta) = \frac{1}{V_3} \sqrt{u^2(V_u) + u^2(\bar{V}_3) + u^2(\Delta V_o) + u^2(\Delta V_3)} \cdot 100 =$$

$$= \frac{\sqrt{0,42^2 + 0,16^2 + 0,29^2 + 2,89^2}}{1028,6} \cdot 100 = \frac{2,939}{1028,6} \cdot 100 = 0,286 \, \%.$$

Процентные вклады неопределенностей равны:

– в точке рабочего диапазона расхода топлива 5,9 л/ч:

$$u(\bar{V}_u) = \frac{u^2(V_u)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,42^2}{2,944^2} \cdot 100 = 2,0 \, \%;$$

$$u(\bar{V}_u) = \frac{u^2(V_u)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,23^2}{2,944^2} \cdot 100 = 0,63 \, \%;$$

$$u(\bar{V}_u) = \frac{u^2(V_u)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,29^2}{2,944^2} \cdot 100 = 0,97 \, \%;$$

$$u(\bar{V}_u) = \frac{u^2(V_u)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{2,89^2}{2,944^2} \cdot 100 = 96,40 \, \%;$$

– в точке рабочего диапазона расхода топлива 31,0 л/ч:

$$u(\bar{V}_u) = \frac{u^2(V_u)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,42^2}{2,939^2} \cdot 100 = 2,01 \, \%;$$

$$u(\bar{V}_u) = \frac{u^2(V_u)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,17^2}{2,939^2} \cdot 100 = 0,32 \, \%;$$

$$u(\Delta V_o) = \frac{u^2(\Delta V_o)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,29^2}{2,939^2} \cdot 100 = 0,97 \, \%;$$

$$u(\Delta V_3) = \frac{u^2(\Delta V_3)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{2,89^2}{2,939^2} \cdot 100 = 96,69 \, \%;$$

– в точке рабочего диапазона расхода топлива 62,8 л/ч:

$$u(\bar{V}_u) = \frac{u^2(V_u)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,42^2}{2,939^2} \cdot 100 = 2,01 \%;$$

$$u(\bar{V}_s) = \frac{u^2(\bar{V}_s)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,16^2}{2,939^2} \cdot 100 = 0,31 \%;$$

$$u(\Delta V_o) = \frac{u^2(\Delta V_o)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,29^2}{2,939^2} \cdot 100 = 0,97 \%;$$

$$u(\Delta V_s) = \frac{u^2(\Delta V_s)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{2,89^2}{2,939^2} \cdot 100 = 96,71 \%.$$

– в точке рабочего диапазона расхода топлива 84,4 л/ч:

$$u(\bar{V}_u) = \frac{u^2(V_u)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,42^2}{2,939^2} \cdot 100 = 2,01 \%;$$

$$u(\bar{V}_s) = \frac{u^2(\bar{V}_s)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,16^2}{2,939^2} \cdot 100 = 0,31 \%;$$

$$u(\Delta V_o) = \frac{u^2(\Delta V_o)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{0,29^2}{2,939^2} \cdot 100 = 0,97 \%;$$

$$u(\Delta V_s) = \frac{u^2(\Delta V_s)}{u_c^2(\Delta V)} \cdot 100 = \frac{2,89^2}{2,939^2} \cdot 100 = 96,71 \%.$$

Относительная расширенная неопределенность измерения объема топлива калибруемым расходомером топлива в точках рабочего диапазона расхода топлива:

– 5,9 л/ч равна $U = k \cdot u_c(\Delta V_u) = 2 \cdot 0,285 = 0,570 \%;$

- 31,0 л/ч равна $U = k \cdot u_c(\Delta V_u) = 2 \cdot 0,285 = 0,570 \%$;
- 62,8 л/ч равна $U = k \cdot u_c(\Delta V_u) = 2 \cdot 0,285 = 0,571 \%$;
- 84,4 л/ч равна $U = k \cdot u_c(\Delta V_u) = 2 \cdot 0,286 = 0,571 \%$.

Указанные относительные расширенные неопределенности являются произведением относительной стандартной неопределенности измерения и коэффициента охвата $k = 2$ при уровне доверия 95 %. Результаты расчетов заносят в таблицу П.4.5.

Таблица П.4.5

Бюджет неопределенности

Величина X_i	Значение x_i	Интервал $\pm u$	Тип неопределенности	Распределение вероятностей	Стандартная неопределенность $u(x_i)$	Коэффициент чувствительности C_i	Вклад неопределенности $u(y)$	Процентный вклад, %
а) в точке рабочего диапазона измерения расхода топлива $\sim 5,9$ л/ч								
Среднее арифметическое значение объема по эталону $V_{\text{э}}$, мл	1032,1		A	Нормальное	0,23	0,1	0,023	0,63
Показания калибруемого расходомера $V_{\text{ис}}$, мл	1030,6		B	Прямоугольное	0,42	0,1	0,042	2,00
Погрешность эталона $\Delta V_{\text{э}}$, мл		5,0	B	Прямоугольное	2,89	0,1	0,289	96,40
Погрешность оператора $\Delta V_{\text{оп}}$, мл		0,5	B	Прямоугольное	0,29	0,1	0,029	0,97
Абсолютная погрешность показаний расходомера $\Delta V_{\text{ис}}$, мл	-1,5							
Относительная погрешность $\delta = \frac{\Delta V}{V}$	-0,00147				0,285			
Относительная суммарная неопределенность $u_c(\delta) = 0,285$ %								
Относительная расширенная неопределенность $U = ku_c(\delta) = 0,570$ %								

Окончание таблицы П.4.5

Величина X_i	Значение x_i	Интервал $\pm u$	Тип неопределенности	Распределение вероятностей	Стандартная неопределенность $u(x_i)$	Коэффициент чувствительности C_i	Вклад неопределенности $u(y)$	Процентный вклад, %
б) в точке рабочего диапазона измерения расхода топлива $\sim 31,0$ л/ч								
Среднее арифметическое значение объема по эталону V_{Σ} , мл	1030,5		A	Нормальное	0,17	0,1	0,017	0,32
Показания калибруемого расходомера $V_{ис}$, мл	1030,6		B	Прямоугольное	0,42	0,1	0,042	2,01
Погрешность эталона ΔV_{Σ} , мл			B	Прямоугольное	2,89	0,1	0,289	96,69
Погрешность оператора ΔV_{op} , мл			B	Прямоугольное	0,29	0,1	0,029	0,97
Абсолютная погрешность показаний расходомера $\Delta V_{ис}$, мл	0,1							
Относительная погрешность $\delta = \frac{\Delta V_{ис}}{V_{\Sigma}}$	0,00008				0,285			
Относительная суммарная неопределенность $u_c(\delta) = 0,285$ %								
Относительная расширенная неопределенность $U = ku_c(\delta) = 0,570$ %								

Результат измерения:

Оцененная относительная погрешность измерения объема топлива калибруемым расходомером в точках рабочего диапазона измерения расхода топлива:

- 5,9 л/ч составляет $(\delta \pm U) = (-0,147 \pm 0,570) \% (k = 2, p = 95 \%)$;
- 31,0 л/ч составляет $(\delta \pm U) = (+0,008 \pm 0,570) \% (k = 2, p = 95 \%)$;
- 62,8 л/ч составляет $(\delta \pm U) = (+0,096 \pm 0,571) \% (k = 2, p = 95 \%)$;
- 84,4 л/ч составляет $(\delta \pm U) = (+0,193 \pm 0,571) \% (k = 2, p = 95 \%)$.

Таблица П.4.6

Результаты калибровки расходомера

Предел измерения, л/ч	Калибруемая точка, л/ч	Показания калибруемого расходомера, мл	Показания эталонного мерника, мл	Относительная погрешность расходомера, %	Относительная расширенная неопределенность, %
1–100	5,9	1030,6	1032,5	–0,147	0,570
	31,0	1030,6	1030,5	+0,008	0,570
	62,8	1030,6	1029,6	+0,096	0,571
	84,4	1030,6	1028,6	+0,193	0,571

Приложение 5

Справочные технические данные по сельскохозяйственным автомобилям

Показатели	Особо малой и малой грузоподъемности				Общего назначения					
	ИЖ-2715 ИЖ-27151	УАЗ-451 М УАЗ-451ДМ	УАЗ-452 УАЗ-452Д	4	5	6	ЗИЛ-130-80	Урал-377 Н	КамАЗ-5320	КамАЗ-5312
1	2	3	4		5	6	7	8	9	10
Грузоподъемность, кг (по грунту)	2 чел. и 350/400	1000	800		2500	4000	6000	7500	8000	10000
Полная масса буксируемого прицепа, кг	-	-	-		2500	3500	8000	5000 (10000*)	11500	14000
Габариты, мм длина ширина высота	4100 1820 1670	4360/4460 2240 2040	4360/4460 2240 2040		5708 2280 2130	6395 2380 2220	6675 2500 2300	7611 2500 3610	7435 2650 2620	8530 2650 2620
Колесная база, мм	2400	2300	2300		3300	3700	3800	3525+ +1400	3190+ +1320	3690+ +1320
Колея колес ,мм передних задних	1247 1237	1442 1442	1442 1442		1650 1690	1650 1690	1800 1790	2020 2020	2026 1850	2026 1850

Продолжение приложения 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Масса снаряженного автомобиля без лебедки, т	1100/1050	1540/1510	1720/1670	2520	3250	4300	7275	7080	8200
Распределение снаряженной массы, кг									
через передний мост	580/570	860/850	990/925	1220	1460	2120	3410	3320	3600
через задний мост (заднего тележку)	520/480	680/660	730/745	1300	1790	2180	3865	3700	4600
Полная масса, кг	1590	2700/2660	2670/2620	5170	7400	10325	15000	15305	18425
Распределение полной массы, кг									
через передний мост	630	1200/1120	1260/1190	1560	1810	2625	4000	4375	4425
через задний мост (заднего тележку)	960	1500/1540	1410/1430	3610	5590	7900	11000	10930	14000
Максимальная скорость, м/с	32	28	26	20	24	25	22	22...28	22...28
Тормозной путь со скоростью 22,2 (14) м/с, м	43,2	53	53	(25)	(29,2)	(28)	(16)	(17,2)	(17,2)

Продолжение приложения 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Контрольный расход топлива, л/100км	9,2/9,8	12	13	20	24	29	46	24	27
Двигатель: тип	Карбюраторный 4-х тактный					Дизельный 4-х тактный			
модель	УАЗ-412	УАЗ-451М	УАЗ-451М	ГАЗ-52-04	ЗМЗ-53	ЗИЛ-130	ЗИЛ-37594	КамМАЗ-740	
Число и расположение цилиндров	4Р	4Р	4Р	6Р	8V				
Диаметр цилиндра, мм	82	92	92	82	92	100	108	120	
Ход поршня, мм	70	92	92	110	80	95	95	120	
Рабочий объем, л	1,48	2,445	2,445	3,48	4,25	6	7	10,85	
Степень сжатия	8,8	6,7	6,7	6,7	6,7	6,5	6,5	17	
Максимальная мощность, кВт	55,2	55,2	55,2	55,2	84,6	110,3	132,4	154,4	
Частота вращения коленвала при максимальной мощности, кВт	5800	4000	4000	2800	3200	3200	3200	2600	2600
Максимальный крутящий момент, Н·м	111,8	166,7	166,7	205,9	284,4	402	465,8	637,4	637,4

Продолжение приложения 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Частота вращения колена при максимальном моменте, мин ⁻¹	3000... 3800	2800	2800	1400... 1600	2000... 2500	1800... 2000	1500... 1800	1500... 1800	1400... 1600
Передаточные числа трансмиссии в передачах									
I	14,73	21,14	41,0/21,14	73,71	44,74	47,02	64,57/106,8	41,66/56,46	46,06/56,46
II	8,61	13,54	26,26/13,5	21,11	21,11	25,91	35,58/58,86	21,48/26,32	25,76/29,1
III	5,61	8,1	15,71/8,1	11,54	11,68	14,47	18,73/30,98	13,32/16,33	14,73/18,05
IV	4,22	5,13	9,94/5,13	6,83	6,89	9,29	10,47/17,31	8,16/10,00	9,0/11,0
V	-	-	-	-	-	6,32	8,16/13,5	5,32/6,53	5,88/7,22
Задний ход	14,31	26,77	51,94/26,77	53,41	53,07	44,81	70/115,8	39,25/48,2	43,39/53,28
Число колес	4	4	4	6+1	6+1	6+1	6+1	10+1	10+1
Размер шин, мм	165-330	215-380	215-380	220-508	240-508	260-508P	400-533	260-508P	260-508P

Продолжение приложения 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Давление воздуха в пинах колес, МПа передних задних	0,16 0,19	0,18 0,0,26	0,2 0,22	0,29 0,34	0,44 0,52	0,39 0,62	0,31 0,35	0,72 0,49	0,72 0,59
Кузов: Тип	Фургон/ пикап	Фургон/ пикап	Фургон/ пикап						
Внутренние размеры платформы, мм									
длина	1650	2733/2600	2733/2600	3073	3740	3752	4500	5200	6100
ширина	1440	1818/1870	1818/1870	2070	2170	2326	2326	2320	2320
высота	117	1315/425	1315/425	610	680	515	715	500	500

Продолжение приложения 5

Показатели	Автомобили - самосвалы					Повышенной проходимости				
	САЗ-3503	ГАЗ-САЗ-53Б	ЗИЛ-ММЗ-М559	КамАЗ-55102	ГАЗ-66-01	ЗИЛ-131	Урал-4320	ЗИЛ-157КД		
1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Грузоподъемность, кг (по грунту)	2400	3500	5500	7000	2000	3500	5000	3000		
Полная масса буксируемого прицепа, кг	2750	3750	5125	8700	2000	4000	7000	3600		
Габариты, мм длина ширина высота	5260	6195		7570	5655	7040	7366	6922		
	2250	2475	6350	2500	2322	2500	2500	2315		
	2150	2730	2500	2830	2440	2480	2680	2360		
			2350/3228							
Колесная база, мм	330	3700	3800	3190+1320	3300	3350+1250	3525+1400	3665+1120		

Продолжение приложения 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Колея колес, мм передних задних	1630	1650	1800	2026	1800	1820	2000	1755
	1600	1690	1790	1850	1750	1820	2000	1750
Масса снаряженного автомобиля без лебедки, т	2750	3750	5125	8700	3470	6460	8020	5340
Распределение снаряженной массы, кг через передний мост через задний мост (заднего тележку)	1290	1480	2355	-	2140	2900	4020	2420
	1460	2270	2770	-	1330	3560	4000	3120
	5300	7400	10850	15850	5800	10185	15425	8690
Распределение полной массы, кг через передний мост через задний мост (заднего тележку)	1600	1800	2950	4500	2730	3060	4350	2680
	3700	5600	7900	11350	3070	7125	9075	6010
Максимальная скорость, м/с	20	22,2	25	22,2	26,4	22,2	23,6	18

Продолжение приложения 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тормозной путь со скоростью 22,2 (14) м/с, м	(25)	(27)	(20)	(21)	(25)	(29)	(15)	(29)
Контрольный расход топлива, л/100 км	20	24	31	24/35	24	40	26	38,5
Двигатель: тип	4-х тактный карбюраторный		ЗИЛ-130	4-х тактный динный зельный	4-х тактный карбюраторный		4-х тактный динный зельный	4-х тактный карбюр.
модель	ГАЗ-52-04	ЗМЗ-53			ЗМЗ-66	ЗИЛ-131		
Число цилиндров	6	8	8	8	8	8	8	6
Расположение цилиндров	У-образное							
Диаметр цилиндра, мм	82	92	100	120	92	100	120	101,6
Ход поршня, мм	110	80	95	120	80	95	120	114,3
Рабочий объем, л	3,48	4,25	6,0	10,85	4,25	6,0	10,85	5,55
Степень сжатия	6,7	6,7	6,5	17,0	6,7	6,5	17	6,5
Максимальная мощность, кВт	55,2	84,6	110,3	154,4	84,6	110,3	154,4	80,9

Продолжение приложения 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Частота вращения коленвала при максимальной мощности, мин ⁻¹	2600	3200	3200	2600	3200	3200	2600	2800
Максимальный вращающий момент, Н·м	206	284,4	402	637,4	284,2	402	637,4	343,2
Частота вращения коленвала при максимальном моменте, мин ⁻¹	1400... 1600	2000... 2200	1800... 2000	1500... 1800	2000... 2500	1800... 2000	1500... 1800	1100...14 00
Задний ход	53,41	53,07	44,81	39,25/48,19	53,07/105, 2	52,03/10 8,2	50,43/83,4 1	54,86/107, 4
Число колес	6+1	6+1	6+1	10+1	4+1	6+1	6+1	6+1
Размер шин, мм	220- 508P	240-508	260-508	260-508P	320-457	320-508	370-508	320-457
Давление воздуха в шинах, МПа передних задних	0,29 0,34	0,34 0,52	0,49 0,59	0,72 0,64	0,27 0,27	0,29 0,29	0,31 0,31	0,34 0,34

Окончание приложения 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Передаточные числа трансмиссии в пере- дачах								
I	43,71	77,74	47,02	41,66/51,06	44,74/88,67	54,6/113,57	53,48/88,45	57,56/112,65
II	21,11	21,11	25,91	21,48/26,32	21,11/41,84	30,09/52,59	27,5/45,48	31,72/6208
III	11,54	11,68	14,47	13,32/16,33	11,68/23,15	16,81/34,96	15,31/25,81	17,70/34,67
IV	6,83	6,83	9,29	8,16/10	6,83/13,54	1079/22,44	9,52/15,74	11,37/22,26
V	-	-	6,32	5,32/6,53	-	7,34/15,27	6,89/11,39	7,74/15,14
Кузов: Тип	Металлический прямобортный		Цельно металл.					
Внутренние размеры платформы, мм								
длина	2660	3520	3320	5335	3313	3600	3900	3570
ширина	2000	2280	2300	2320	2050	2322	2378	2090
высота	590	1125	777/1630	640/1280	890	346	885	355

Учебное издание

**Захаров Александр Викторович, Ващула Александр Владимирович,
Захарова Ирина Олеговна**

ТЕОРИЯ ТРАКТОРОВ И АВТОМОБИЛЕЙ

Лабораторный практикум

Ответственный за выпуск *А. И. Бобровник*

Редактор *А. И. Стебуля*

Компьютерная верстка *А. И. Стебули*

Подписано в печать 29.11.2011 г. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 8,14. Уч.-изд. л. 6,36. Тираж 100 экз. Заказ 998.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».

ЛИ № 02330/0552984 от 14.04.2010.

ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.

Пр. Независимости. 99–2, 220023, Минск.