

**Министерство сельского хозяйства  
Российской Федерации**

**Технологический институт-филиал ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ**

А.А. Хохлов  
Д.Е. Молочников  
А.Л. Хохлов  
И.Р. Салахутдинов

## **Испытания транспортных и транспортно-технологических машин**

краткий курс лекций



**Димитровград - 2023**

УДК 621.3.43.075

ББК 39.3

X -86

**Хохлов, А.А.** Испытания транспортных и транспортно-технологических машин : краткий курс лекций / А.А. Хохлов, Д.Е. Молочников, А.Л. Хохлов, И.Р. Салахутдинов - Димитровград: Технологический институт – филиал УлГАУ, 2023.- 113 с.

Рецензенты: Глушенко Андрей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования» ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

Испытания транспортных и транспортно-технологических машин : краткий курс лекций для подготовки бакалавров очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

Утверждено  
на заседании кафедры «Эксплуатация мобильных  
машин и социально - гуманитарных дисциплин  
Технологического института –  
филиала ФГБОУ ВО Ульяновский  
ГАУ, протокол № 1 от 4 сентября 2023 г.  
Рекомендовано  
к изданию методическим советом Технологического института –  
филиала  
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ  
Протокол № 1 от 5 сентября 2023г.

© Хохлов А.А., Молочников Д.Е., Хохлов А.Л., Салахутдинов И.Р., 2023

© Технологический институт – филиал ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, 2023

## Оглавление

Лекция №1.	
Классификация и условия проведения испытаний транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования .....	4
Лекция №2	
Методы измерений механических напряжений, сил, моментов и давлений.....	12
Лекция №3	
Испытания тягово-сцепных устройств ТТМ и О.....	38
Лекция №4	
Испытания по определению топливной экономичности транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования.....	42
Лекция №5	
Испытания механизмов и систем транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования.....	45
Лекция №6.	
Аэродинамические испытания транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования.....	99

**Лекция №1.**  
**Классификация и условия проведения испытаний**  
**транспортных и транспортно-технологических машин и**  
**оборудования**

**1.1. Виды испытаний**

Испытания автомобилей различаются по испытываемым объектам, назначению, способам проведения и т.д. (ГОСТ 16504-74). Производят испытания опытных и макетных образцов новых или модернизированных автомобилей и их модификаций, образцов установочной серии новых моделей, базовых моделей или модификаций, а также автомобилей текущего производства.

Опытные и макетные образцы автомобилей и их модификаций подвергают доводочным, предварительным и приемочным испытаниям. Автомобили текущего производства проходят контрольные, ресурсные, приемо-сдаточные и аттестационные испытания, а также испытания на надежность. Образцы всех автомобилей на любом этапе их разработки и производства могут проходить определительные, эксплуатационные, исследовательские и специальные испытания.

По методам, условиям и месту проведения испытания можно разделить на стендовые (лабораторные), полигонные с использованием разных видов дорог, бассейнов, ванн, подъемов, неровностей и т.д., дорожные с регламентацией качества дорог общего пользования, эксплуатационные в экспериментально-производственных и опорных автомобильных хозяйствах и испытания в северных, тропических, высокогорных и других особых условиях.

По продолжительности проведения испытания разделяют на нормальные и ускоренные. Нормальные испытания – это испытания автомобиля, методы и условия проведения которых обеспечивают получение необходимого объема информации в такой же срок, как и в предусмотренных условиях и режимах эксплуатации. При ускоренных испытаниях необходимую информацию получают в более короткий срок.

Ускоренные испытания по степени интенсивности разделяют на форсированные и сокращенные соответственно с интенсификацией и без интенсификации процессов,

вызывающих отказы или повреждения. Форсированные испытания проводят при увеличенных нагрузках (температурах, давлениях, скоростях и т.д.). При сокращенных испытаниях результаты обрабатывают с использованием методов экстраполяции и т.п.

По оцениваемым эксплуатационно-техническим свойствам различают испытания на тягово-скоростные качества, топливную экономичность, тормозные качества, управляемость и устойчивость, плавность хода, проходимость, шум и вибрацию, эргономические качества, надежность, пассивную безопасность и активную безопасность.

Доводочные испытания проводят в процессе разработки опытных образцов для оценки влияния вносимых в них изменений с целью достижения требуемых показателей качества.

*Предварительные испытания* – контрольные испытания опытных образцов автомобилей, проводимые для определения возможности их предъявления на приемочные испытания.

*Приемочные испытания* – контрольные испытания опытных образцов автомобилей, проводимые соответственно для решения вопроса о целесообразности постановки на производство модели или передачи ее в эксплуатацию.

Приемочные испытания проводят по программе, при составлении которой учитывают типовые методики приемочных испытаний отдельных видов автомобилей, действующие в стране. Во время приемочных испытаний проверяют соответствие представленных образцов техническому заданию, проектной документации, стандартам и другим нормативным документам, отечественным и международным нормам безопасности и токсичности, требованиям поставки экспортным организациям. Оценивают технический уровень новой модели по конструкции и эксплуатационно-техническим свойствам; предварительно определяют надежность и необходимый объем конструктивной доработки опытных образцов. Приемочные испытания могут быть ведомственными, межведомственными и государственными.

При испытаниях образцов установочной серии оценивают эффективность работ по устранению недостатков, выявленных в процессе приемочных испытаний, осуществляют контроль за качеством изделий, поставляемых смежными производствами.

*Периодические контрольные испытания* серийных образцов могут быть краткими и длительными. После испытаний дают заключение о качестве изготовленного автомобиля, соответствии его техническим условиям, эффективности проведенных предприятием-изготовителем мероприятий по улучшению конструкции. При длительных контрольных испытаниях, кроме того, проверяют надежность работы автомобиля в целом, его агрегатов, узлов и деталей в пределах гарантийного пробега.

*Испытания на надежность* проводят для определения или оценки показателей надежности работы в заданных эксплуатационных условиях.

*Ресурсные испытания* – испытания на долговечность, проводимые для определения технического ресурса автомобиля или подтверждения назначенного ресурса. В процессе испытаний определяют предусмотренные ГОСТ 13377-75 показатели долговечности такие, как пробеги автомобиля в заданных дорожно-климатических и эксплуатационных условиях до первого капитального ремонта, между капитальными ремонтами, общий пробег автомобиля до списания, продолжительность работы отдельных агрегатов и систем автомобиля до наступления предельного состояния и др. Подтверждение назначенного ресурса автомобиля, его агрегатов и систем дают на основании пробеговых испытаний, установленных инструкцией. *Ресурсные испытания* проводят на автомобильном полигоне или на дорогах общего пользования, а также в автохозяйствах при перевозке грузов. Во время испытаний периодически проводят проверку технического состояния автомобиля.

*Приемо-сдаточные испытания* автомобилей текущего производства проводятся для определения соответствия их технической документации.

*Аттестационные испытания* предназначены для оценки уровня качества продукции при ее аттестации. Эти испытания периодически повторяют в объеме и по показателям, установленным инструкцией о порядке и методике их проведения.

Задачей *определятельных испытаний* является сопоставление значений конструктивных и эксплуатационно-технических параметров автомобилей с заданными значениями точности и достоверной вероятности.

*Испытания называют оценочными*, если при оценке качества не требуется определение значений параметров и показателей с заданными значениями точности и достоверной вероятности.

При *эксплуатационных испытаниях* дают оценку возможности работы автомобиля в условиях эксплуатации (в различных климатических и дорожных условиях), собирают данные по надежности, уточняют параметры, необходимые для нормирования расхода горюче-смазочных материалов, периодичности технического обслуживания, потребности в запасных частях и шинах.

*Исследовательские испытания* проводят для изучения рабочих процессов механизмов, агрегатов и систем, эксплуатационно-технических свойств, нагрузочных, тепловых и скоростных режимов работы агрегатов автомобиля, и т.д. По полученным результатам проверяют правильность теоретических расчетов и исследований, намечают пути совершенствования и развития конструкций, обосновывают оптимальные решения при создании новых образцов и модернизации автомобилей.

Во время специальных испытаний проверяют, соответствует ли автомобиль специфическим требованиям: выявляют возможность его эксплуатации в особых условиях (в северных районах, в условиях жаркого и сухого климата, в высокогорных районах), определяют пригодность к перевозке специальных грузов и т.п.

## **1.2. Условия проведения испытаний**

Программу проведения испытаний составляют в соответствии с их задачами. Несмотря на различие испытаний, программы их проведения должны отражать содержание и объем всех этапов и последовательность их выполнения, общие условия и особенности условий на каждом этапе, методику испытаний на каждом этапе, содержащую способы решения поставленных задач с учетом технических возможностей. В каждой программе должны быть указаны перечень аппаратуры и оборудования, необходимый для проведения работ, данные о техническом персонале для проведения испытаний с распределением обязанностей и график проведения работ.

Многие виды испытаний стандартизованы и программы их выполнения определены государственными и отраслевыми стандартами и нормами.

При разработке программы следует использовать методы планирования эксперимента, которые позволяют с наименьшими затратами времени и средств получать необходимые результаты.

Основу любой программы испытаний составляют следующие виды работ: подготовка и проверка качества изготовления и сборки автомобиля; определение масс и размеров, эксплуатационно-технических свойств автомобиля, тепловых режимов двигателя и агрегатов шасси, нагрузочных режимов агрегатов и напряжений в деталях; исследование вибрации и шумности.

Объем и трудоемкость испытаний определяются количественными показателями: числом исследуемых параметров с учетом их сложности, числом опытов, массой автомобиля, скоростными режимами, длительностью пробега и т.д. Кроме того, при отдельных видах испытаний автомобиль может работать на различных сортах топлива и смазки и в разных эксплуатационных состояниях (привод передних ведущих колес включен или выключен и др.).

Число исследуемых параметров зависит от вида испытаний. Наибольшее число соответствует доводочным и предварительным испытаниям. При контрольных, периодически повторяющихся испытаниях серийных образцов число определяемых параметров должно быть минимальным. В



процессе их проведения определяют показатели тягово-скоростных и тормозных свойств, топливной экономичности, а при длительных испытаниях – также износа деталей. В программу эксплуатационных испытаний входит определение тормозных свойств, расхода топлива, надежности, удобства обслуживания и ремонта и нагрузочных режимов работы агрегатов и деталей.

При контрольных испытаниях могут быть проведены два опыта, если не наблюдается значительного рассеивания результатов. При приемочных испытаниях число опытов должно быть не менее четырех.

В зависимости от вида испытаний выбирают массу автомобиля. Например, контрольные испытания проводят при полной массе, приемочные – без груза и с полной номинальной нагрузкой, доводочные и предварительные – при различных массах, включая (для грузовых автомобилей) прицеп.

Аналогично выбирают числа скоростных режимов и эксплуатационных состояний. Наименьшее число режимов и состояний назначают при контрольных испытаниях.

*Подготовка к испытаниям.* В процессе подготовки к испытаниям проводят отбор и приемку автомобиля и оборудования, а также обкатку нового автомобиля. Способ отбора автомобиля зависит от вида испытаний. Для контрольных испытаний нельзя отбирать лучшие образцы, устранять производственные дефекты, проводить дополнительные регулировки и другие мероприятия, влияющие на оценку качества изготовленного автомобиля.

При выборе образцов для приемочных или ресурсных испытаний можно устранять случайные дефекты и неполадки и выполнять дополнительные регулировки с целью приведения автомобиля в соответствие с техническими условиями и конструкторской документацией.

При приемке предприятие-изготовитель представляет организации, проводящей испытания, техническую документацию на испытываемый автомобиль. Техническое состояние автомобиля определяют при осмотре, устанавливая исправность автомобиля в целом и его отдельных агрегатов с

помощью средств технической диагностики. При осмотре автомобиля определяют его комплектность, выявляют повреждения и недоброкачественность изготовления деталей, а также дефекты поверхностных покрытий и сварных швов. У автомобилей текущего производства проверяют наличие знаков приемки ОТК и пломб. Наряду с внешним осмотром агрегаты проверяют в действии – прослушивают двигатель, проверяют работу органов управления и т.д. Результаты технического осмотра заносят в журнал испытаний.

Перед испытаниями устраняют дефекты, которые препятствуют нормальной безопасной работе автомобиля и его агрегатов, устанавливают аппаратуру, необходимую для проведения испытаний, или производят подготовительные работы, обеспечивающие её быструю установку и включение.

Некоторые виды испытаний проводят с эталонными агрегатами, характеристики которых полностью соответствуют техническим условиям и не изменяются в процессе испытаний. Эталонные агрегаты применяют в тех случаях, когда изменение характеристики в процессе работы может отразиться на показателях эксплуатационно-технических свойств автомобиля. К числу эталонных агрегатов относят смесеобразующие устройства, топливopодающую аппаратуру дизелей, распределитель и свечи зажигания, агрегаты и узлы тормозных систем и рулевого управления, амортизаторы, шины и др. Эталонные агрегаты перед установкой на автомобиль отбирают и обкатывают.

К подготовительным операциям при ресурсных испытаниях относятся первоначальная проверка размеров и маркировка деталей, износ которых предстоит определить, нанесение на поверхности деталей лунок или отпечатков для определения износа методом искусственных баз, активация деталей нанесением радиоактивных веществ при определении темпа износа и т.д. Таким образом, подготовку автомобиля к испытаниям проводят с учетом вида и задач испытаний.

Обкатывают новый автомобиль в соответствии с указаниями заводской инструкции по эксплуатации с целью предотвращения повреждений агрегатов и деталей при больших нагрузках и

скоростях движения, которые имеют место в отдельных видах испытаний. Испытания с высокими скоростями движения (при определении показателей тягово-скоростных свойств) и большими нагрузками (при испытании на проходимость) рекомендуется проводить после пробега автомобилем 3–5 тыс. км.

*Общие условия проведения испытаний.* Топливо и смазочные материалы, используемые при испытаниях, должны соответствовать маркам, указанным в инструкции по эксплуатации автомобиля. Их качество проверяют контрольными анализами.

Техническое обслуживание автомобиля в течение всего периода испытаний проводится согласно заводской инструкции по эксплуатации и действующему положению о техническом обслуживании и ремонте. При хранении автомобиля в период испытаний должны быть исключены изменение технического состояния, нарушение комплектности и регулировок, не учитываемый ремонт, бесконтрольная заправка топливом, слив топлива и масла и т.д. Условия хранения автомобиля определяют программой испытаний. Метеорологические условия оказывают существенное влияние на стабильность результатов дорожных испытаний. Определять большинство эксплуатационно-технических свойств рекомендуется в сухую погоду при температуре воздуха 5–25°C. Скорость ветра не должна превышать 3 м/с. Измеренную анемометром скорость ветра и его направление фиксируют в протоколе испытаний. Тепловые режимы агрегатов автомобиля в процессе испытаний контролируют дистанционными термометрами. Тепловой режим двигателя при испытаниях автомобиля и его агрегатов должен быть в пределах, предусмотренных инструкцией по эксплуатации автомобиля, за исключением специальных экспериментов, проводимых с целью определения влияния теплового режима работы двигателя на КПД, расход топлива и другие показатели. Перед испытаниями по определению показателей эксплуатационно-технических свойств агрегаты, тепловое состояние которых оказывает влияние на эти свойства,

должны быть прогреты при пробеге. Время и условия пробега указаны в методике испытаний.

При проведении испытаний строго обязательно соблюдение мер по обеспечению безопасности испытателей и сохранности автомобиля, а также установленных на нем измерительных приборов и устройств. Перед испытаниями автомобиль тщательно осматривают, проверяют агрегаты, оказывающие влияние на безопасность движения (тормоза, рулевое управление, шины, колеса). Во время выездов в автомобиле может находиться только водитель и испытатель, работающий с измерительной аппаратурой. Вместо пассажиров следует применять балласт, а в некоторых случаях манекены, надежно закрепленные в кузове автомобиля. Водитель и испытатель должны быть в шлемах и пристегнуты ремнями безопасности.

Скоростные испытания автомобилей проводят в дневное время с включенными фарами. При проведении испытаний, связанных с повышенной опасностью, вблизи места испытаний должны находиться пожарный автомобиль с командой, медицинский автомобиль с персоналом и представитель службы безопасности движения.

*Условия проведения дорожных испытаний.* Выбирают дорожные участки для проведения испытаний в соответствии с их задачами. Дорожные условия указывают в программе испытаний. Лучшие условия проведения испытаний (стабильность дорожных условий, необходимую безопасность и высокое качество испытаний) обеспечивают на полигоне. **Все виды дорожных испытаний в настоящее время проводятся на закрытых трассах (полигонах).** В нашей стране испытания проводятся на полигоне Центрального научно-исследовательского ордена Трудового Красного Знамени автомобильного и автотранспортного института (НАМИ), расположенного недалеко от г. Дмитрова Московской обл., а также на его северном филиале в поселке Сусуман Магаданской обл.

**Методы измерений механических напряжений, сил, моментов и давлений**

Испытания автомобилей связаны с большим количеством разнообразных измерений. Преобладающими над механическими измерительными системами являются электрические, при которых обеспечивается высокая точность, чувствительность, широкий диапазон измеряемых величин и возможность автоматической обработки полученной информации.

Типовая схема измерений неэлектрических величин электрическими методами включает первичный и промежуточный преобразователи и устройство для регистрации. Первичный преобразователь в зависимости от измеряемой величины создает электрический сигнал. Характерным примером такого преобразователя является тензорезистор, применяемый для измерения механических напряжений.

Самописцы, осциллографы, магнитографы и другие устройства предназначены для записи и хранения полученной информации в той или иной форме. Промежуточные преобразователи обеспечивают совместность работы первичных преобразователей и регистрирующих устройств. Примерами промежуточных преобразователей являются усилители, фильтры, переключающие устройства и т.д.

В некоторых случаях для использования электрических методов измерения применяют чувствительный элемент, который превращает одну измеряемую величину в другую, удобную для фиксирования ее первичным преобразователем. Например, для измерения давления используют трубчатый чувствительный элемент, изменения напряжения в котором регистрируются тензорезисторами.

**Общие требования, предъявляемые  
к измерительной аппаратуре**

Аппаратура, применяемая при испытаниях автомобилей, должна отвечать целому ряду требований: прежде всего, быть компактной, не бояться динамических перегрузок, вибрации, большой запыленности воздуха и в то же время обладать достаточной чувствительностью и разрешающей способностью. Требование компактности вызвано отсутствием достаточного места для размещения аппаратуры на сиденье в салоне легкового или кабине грузового автомобилей. Необходимость установки приборов в салоне или кабине диктуется недостаточной виброзащищенностью аппаратуры и высоким уровнем колебаний рамы и кузова. При выборе приборов для дорожных

испытаний также необходимо учитывать возможность питания их от низковольтных источников тока.

Разместив аппаратуру на автомобиле, следует надежно закрепить приборы, исключая те из них, которые не следует перемещать произвольно. Особое внимание необходимо обратить на закрепление аккумуляторных батарей, используемых в качестве автономных источников питания, когда питание от бортовой сети автомобиля создает различные помехи, вызванные работой электрооборудования. В тех случаях, когда помехи могут быть вызваны измерительными приборами, работающими от общего источника тока, целесообразно применять специальные меры защиты или для каждого прибора использовать отдельный источник питания.

При установке аппаратуры в труднодоступном месте необходим пульт дистанционного управления, с помощью которого можно управлять приборами с рабочего места. Перед началом испытаний требуется рассчитать или предварительными экспериментами определить уровень измеряемых величин и их частоты, по которым выбирают коэффициент усиления, частотный диапазон, скорость записи и другие характеристики аппаратуры. Все эти данные учитывают при подборе и настройке аппаратуры.

До начала и после проведения испытаний следует соответственно определить и проверить характеристики всего измерительного комплекса: коэффициент калибровки, амплитудно-частотную характеристику, величину погрешности.

Коэффициент калибровки является своего рода ценой деления всего измерительного комплекса и определяется отношением сигнала на входе  $\sigma c$  (измеряемая величина) к выходному  $S$ :

$$K = \sigma c / S.$$

Входной сигнал  $\sigma c$  рассчитывают или измеряют другим прибором с известной ценой деления. Перед калибровкой все органы настройки аппаратуры устанавливают в рабочее положение и они остаются неизменными до окончания испытаний. В процессе калибровки величину  $\sigma c$  изменяют от нуля до таких значений, при которых линейная зависимость

между сигналами входа и выхода нарушается. По результатам калибровки строят график (рис. 3.1). Задаваясь допустимым отклонением  $\Delta K$  коэффициента  $K$  от постоянного значения (например,  $\Delta K = \pm 2\%$ ), можно определить пределы допустимых измерений как по выходному сигналу  $S_K$ , так и по измеряемой величине  $\sigma_{C_{\max}}$ :

$$\sigma_{C_{\max}} = KSK.$$

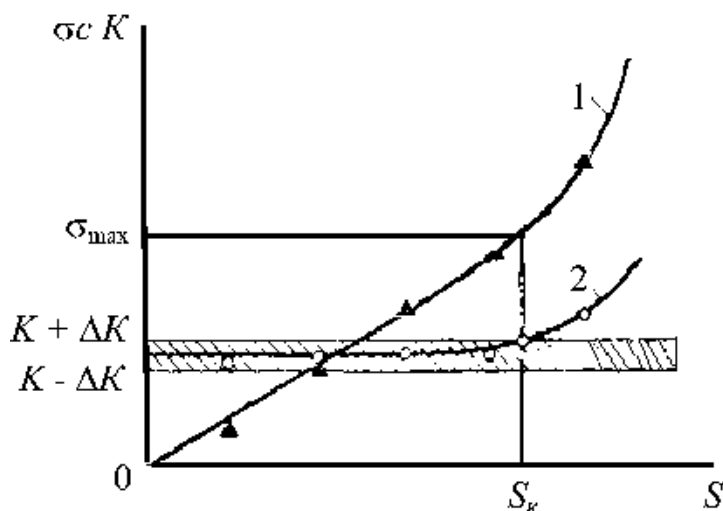


Рис. 3.1. Зависимости, получаемые при калибровке аппаратуры:  
 1 – входного сигнала  $\sigma_c$  и выходного  $S$ ; 2 – коэффициента калибровки  $K$  и выходного сигнала  $S$

При измерении величин, превышающих  $\sigma_{C_{\max}}$ , возникает погрешность, связанная с нелинейностью аппаратуры.

Калибровку можно проводить при статическом и динамическом нагружениях. При динамическом нагружении находят зависимость динамического коэффициента калибровки  $K_d$  от частоты измеряемого процесса  $\Omega$ . Зная величины статического и динамического коэффициентов  $K_c$  и  $K_d(\Omega)$ , устанавливают величину  $A(\Omega)$ , определяющую амплитудно-частотную характеристику аппаратуры (АЧХ), представленную на рис. 3.2.

$$A(\Omega) = \frac{S_d(\Omega)}{S_c} \cdot \frac{K_c}{K_d(\Omega)}.$$

По этой характеристике определяют рабочий диапазон частот  $\Omega_{\text{раб}}$  измеряемых процессов, если задаться допустимым отклонением  $\pm \Delta A$  коэффициента  $A(\Omega)$  от единицы. При измерении процессов, частоты которых находятся за пределами рабочего диапазона частот, погрешность будет связана с неравномерностью АЧХ.

Случайную погрешность исключают многократными измерениями одной и той же величины. Результаты этих измерений статистически обрабатывают и получают среднеарифметическую величину  $\bar{K}$  и ее среднеквадратичное отклонение  $\delta_{\bar{K}}$ :

$$\bar{K} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n}; \delta_{\bar{K}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - \bar{K})^2}{n(n-1)}}$$

где  $n$  – число измерений;  $K_i$  – значение измеряемой величины в  $i$ -м измерении.

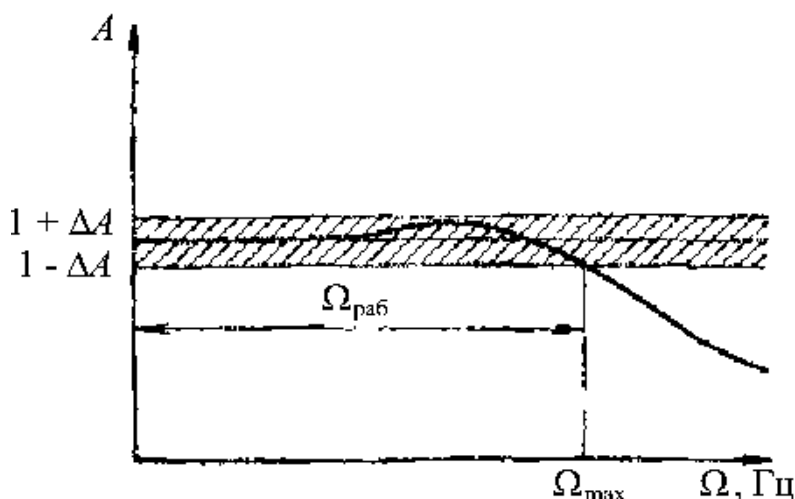


Рис. 3.2. Амплитудно-частотная характеристика аппаратуры

Зная зависимость плотности вероятностей отдельных измерений, можно определить действительное значение измеряемой величины с заданной точностью (рис. 3.3).

Это значит, что фактическое значение коэффициента  $K_{\phi}$  с вероятностью  $\Phi$  находится в доверительном интервале  $\pm t_{\alpha} \delta_{\bar{K}}$



относительно средней величины  $\bar{K}$  (заштрихованная зона на рис. 3.3):

$$K_{\Phi} = \bar{K} \pm t_{\alpha} \delta_{\bar{K}},$$

где  $t_{\alpha}$  – коэффициент, определяемый по таблицам Стьюдента в зависимости от числа измерений и заданной вероятности. Вероятность  $\Phi$  зависит от плотности вероятностей  $p(\alpha)$  на участке доверительного интервала и от вида распределения случайной величины:

$$\Phi = \int_{-t_{\alpha}}^{t_{\alpha}} p(\alpha) d\alpha,$$

где  $\alpha = (Ki - \bar{K})/\delta_{\bar{K}}$  – аргумент нормированного распределения.

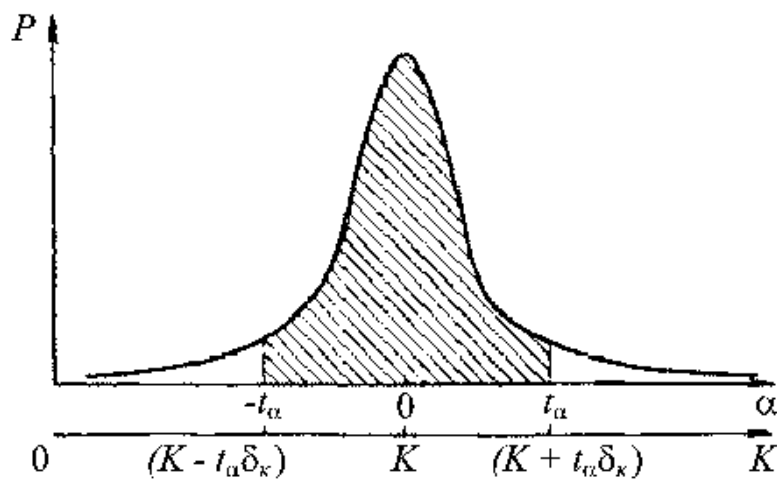


Рис. 3.3. Плотность распределения вероятностей

## ТЕНЗОМЕТРИРОВАНИЕ

*Тензометрирование* – это преобразование механических величин в электрические.

Измерение механических напряжений и связанных с ними величин сил, моментов и давлений распространено при испытаниях автомобилей. Использование преобразователей резисторного типа или тензорезисторов обеспечивает широкое

внедрение метода тензометрирования при различных видах испытаний автомобиля и его узлов. Наклеенный на деталь тензорезистор изменяет свое сопротивление в соответствии с деформацией поверхностных слоев детали, что позволяет получить необходимый электрический сигнал. Коэффициент тензочувствительности тензорезистора ( $\gamma$ ) находится по формуле

$$\gamma = \frac{l\Delta R}{R\Delta l}, \quad (4.1)$$

где  $\Delta R$  – изменение сопротивления тензорезистора;  
 $R$  – номинальное сопротивление тензорезистора;  
 $\Delta l$  – упругая деформация на длине тензорезистора;  
 $l$  – база тензорезистора.

Связь упругих деформаций с напряжениями в деталях определяется по закону Гука. В случае одноосного напряженного состояния эта зависимость имеет вид

$$\sigma = \varepsilon E, \quad (4.2)$$

где  $\varepsilon$  – относительная деформация;  
 $E$  – модуль упругости материала;  
 $\sigma$  – напряжение.

Подставив  $\varepsilon = \Delta l/l$  в выражение (2), получим

$$\sigma = \frac{\Delta R}{\gamma R} E. \quad (4.3)$$

Для случая плоского напряженного состояния зависимости между напряжениями и деформациями вычисляют по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_{\max} + \mu\varepsilon_{\min}); \\ \sigma_{\min} &= \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_{\min} + \mu\varepsilon_{\max}), \end{aligned} \quad (4.4)$$

где  $\sigma_{\max}$ ,  $\sigma_{\min}$  – главные напряжения;  
 $\varepsilon_{\max}$ ,  $\varepsilon_{\min}$  – главные относительные деформации;  
 $\mu$  – коэффициент Пуассона.

Для определения главных деформаций по величине и направлению применяют метод, основанный на использовании

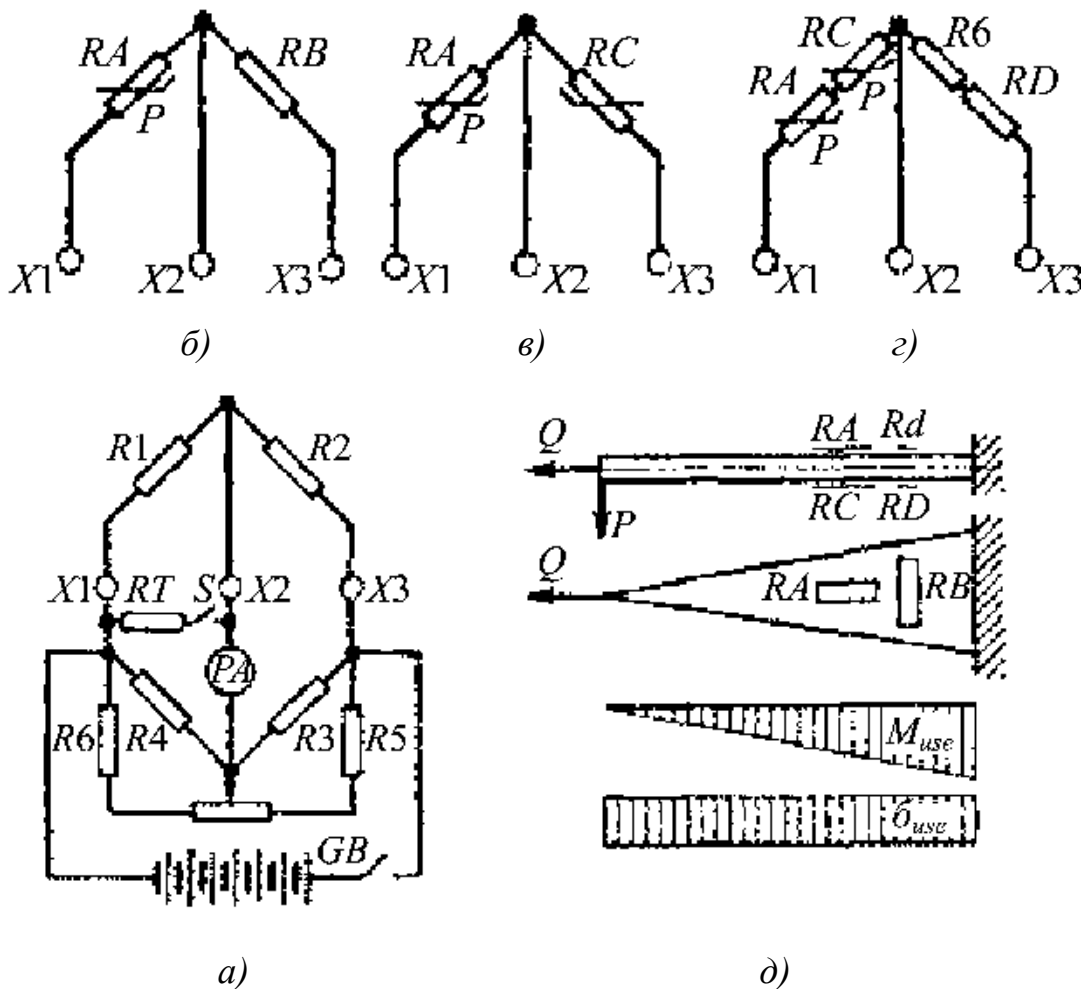
треугольных или прямоугольных соединений тензорезисторов (розеток), или метод хрупких покрытий. Сигналы от розеток регистрируются приборами. Обработывают результаты измерений с помощью формул и диаграмм. Величину  $\Delta R$  измеряют с помощью мостовой схемы (рис. 4.1,а). Условие равновесия моста следующее:

$$R1R3 = R2R4. \quad (4.5)$$

где  $R1R4$  – сопротивления плеч моста.

Если плечи моста образованы только тензорезисторами, то их номинальные сопротивления должны быть равны.

В случае применения тензоусилителя часто используют так называемую полумостовую схему, в которой тензорезисторы образуют один полумост с плечами  $R1$  и  $R2$ , а другой полумост состоит из выходных обмоток трансформатора питания моста. Плечо моста с тензорезистором, воспринимающим деформацию детали, называют активным.



*Рис. 4.1. Схемы включения тензорезисторов:*

*а – полумостовая; б – полумостовая для измерения полного напряжения;  
в – полумостовая для измерения напряжений изгиба;  
г – мостовая для измерения напряжений растяжения;  
д – на калибровочной балке консольного типа*

На рис. 4.1,б показана полумостовая схема включения активного тензорезистора  $RA$ . Эта схема чувствительна к действию изгибающей нагрузки  $P$  и осевой силы  $Q$  (рис. 4.1,д). Для определения одной изгибающей нагрузки необходимо соединить два активных тензорезистора  $RA$  и  $RC$  по схеме, приведенной на рис. 4.1,в. Осевую нагрузку можно выделить включением двух активных тензорезисторов  $RA$  и  $RC$  в одно плечо моста, а двух пассивных  $RB$  и  $RD$  – в другое (рис. 4.1,г). В этом случае действие изгибающей нагрузки будет скомпенсировано.

Начальный разбаланс схемы связан с разбросом сопротивлений тензорезисторов, проводов и контактных соединений. Для его устранения в измерительных устройствах применяют переменные резисторы  $RLU$ . Блокировочные резисторы  $RB$  предотвращают короткое замыкание плеч моста при достижении подвижным контактом резистора  $RLU$  крайних положений. В случае питания моста переменным током для баланса схемы моста имеют значение не только активные, но и реактивные сопротивления плеч. В этом случае применяют два переменных резистора  $R_{III}$  и  $R_{III}$ , один из которых включают через конденсатор  $C$  (см. рис. 4.1,г).

*Тензорезисторы и их свойства.* Тензорезистор приклеивают к поверхности детали. Чувствительная решетка, закрепленная с помощью связующего материала на основе, имеет выводы для включения тензорезистора в измерительную схему. Материалом для чувствительной решетки в большинстве случаев являются константановые проволока диаметром 0,025–0,050 мм или фольга толщиной 0,001–0,01 мм.

При измерении используют различные тензорезисторы. Наряду с одиночными тензорезисторами применяют розетки из двух или трех тензорезисторов, изготовленные на общей основе.

Мембранными тензорезисторами измеряют деформацию мембран или перепад давлений, который ее вызывает. Все большее распространение получают полупроводниковые тензорезисторы с высоким коэффициентом тензочувствительности. Их можно применять в схемах непосредственного измерения без усилителя. Характеристика некоторых типов тензорезисторов приведена в табл. 4.1.

Таблица 4.1

**Характеристика тензорезисторов**

Тензорезистор	Сопротивление, Ом	База, мм	Допустимая температура, °С	Клей для соединения с деталью
Проволочный:				
2ППКБК-10-150	150	10	-48 ÷ +52	Циакрин, 192-Т, БФ-2
ПКП-5-100	100	5	-48 ÷ +52	ВЛ-4, ВЛ-931, циакрин
К-6-100 ....	100	6	-178 ÷ +57	Циакрин, ВС-10Т
Е428-035 ...	145	3	22 ÷ 142	БФ-2
ЛХ-354 ....	700	23	-48 ÷ +302	Цемент ВН-76
Фольговый:				
2ФКПА-10-50	50	10	-38 ÷ +72	ВЛ-931
2ФКРВ-10-100	100	10		
2ФКРБ-30-100	100	30		
2ФКМВ-10-100	100	10		
Полупроводниковый:				
Ю-8А и Ю-8Б	109 ÷ 111	1,4	-80 ÷ +115	ВЛ-931
Ю-12А и Ю-12Б	216 ÷ 220	2,4–6,4	-60 ÷ +115	ВЛ-931

Основные данные тензорезистора указаны в его марке. Например, в обозначении проволочного тензорезистора на бумажной основе ПКБ-10-100Х: П – проволочный; К – константановая проволока; Б – бумажная основа; 10 – база, мм; 100 – сопротивление, Ом; Х – холодный способ наклейки. Тензорезисторы выпускают партиями. Допускаемый разброс сопротивления тензорезисторов в партии должен быть не более  $\pm 0,5\%$ . При наклейке полумоста необходимо следить, чтобы тензорезисторы были только одной партии. Тензочувствительность тензорезистора, которая оценивается коэффициентом  $\gamma$ , зависит от материала решетки:

$$\gamma = (1 + 2\mu) + \frac{\Delta\rho l}{\rho\Delta l}, \quad (4.5)$$

где  $\rho$  – удельная проводимость;

$\Delta\rho$  – изменение удельной проводимости.

Величина  $\gamma$  зависит от коэффициента Пуассона  $\mu$  и от изменения удельной проводимости  $\Delta\rho$ . Коэффициент Пуассона учитывает изменение площади поперечного сечения проводника

решетки, а  $\Delta\rho$  определяется свойствами материала этого проводника.

Например, у тензорезисторов с решеткой из константана  $\gamma = 2,0 \div 2,1$ , а у полупроводниковых  $\gamma = 90 \div 100$ .

База (длина решетки) тензорезистора является одной из основных его характеристик. От нее зависит точность измерения напряжения. Показания тензорезистора – это результаты усредненной на длине базы деформации, поэтому, с одной стороны, чем короче база, тем ближе полученные показания к действительным. С другой стороны, у тензорезистора с короткой базой больше поперечных участков, которые реагируют на нормальные к направлению базы напряжения, что вносит погрешность в показания тензорезистора. Применение такого тензорезистора, как правило, обусловлено необходимостью измерений в зоне высокой концентрации напряжений или ограниченностью места его установки. Тензорезисторы с короткой базой допускают проведение измерений при более высокой частоте  $f$  изменения деформаций:

$$f = c/10l,$$

где  $c$  – скорость распространения деформации в материале тензорезистора.

При работе без усилителя чувствительность схемы в значительной степени зависит от сопротивления тензорезистора  $R$ , особенно при меньшем или равном сопротивлению измерительного прибора. Чувствительность схемы может быть увеличена повышением силы тока питания, ограниченного допустимым нагревом. Фольговые тензорезисторы имеют лучшие условия охлаждения, поэтому они работают с большим током питания.

Из других характеристик тензорезисторов следует указать также их ползучесть и чувствительность к температуре. Под ползучестью понимают уменьшение показаний тензорезистора во времени за счет пластических деформаций слоя клея и связующего материала при условии сохранения деформации детали, на которую наклеен тензорезистор. Ползучесть выражают в процентах относительной деформации, теряемой за определенное время (в том случае, когда нет необходимости в

измерении постоянной составляющей, можно пренебречь влиянием ползучести). Температурный режим работы тензорезисторов влияет на ползучесть, которая увеличивается с повышением температуры. Средняя величина ползучести составляет около 0,2% при температуре  $t = 20 \pm 5^\circ\text{C}$ .

Чувствительность тензорезистора к температуре выражается в изменении его сопротивления, которое зависит как от свойств материала проводника тензорезистора, так и от температурных деформаций детали. Сигнал от тензорезистора в результате действия температуры вносит искажения в результаты измерений. Применяют различные способы борьбы с влиянием температуры.

В том случае, когда нагрев детали определяется температурой окружающего воздуха, применяют схему температурной компенсации. Для этого на ту же самую деталь устанавливают дополнительный тензорезистор. Включают его так, чтобы при одинаковом температурном воздействии на оба тензорезистора баланс моста не нарушался. При этом дополнительный тензорезистор может быть как активным, так и пассивным плечом моста. В последнем случае его называют температурным компенсатором.

Если установить температурный компенсатор непосредственно на деталь рядом с активным тензорезистором невозможно, то его наклеивают на отдельную панель (из того же, что и деталь, материала), которую устанавливают так, чтобы она находилась в одинаковых температурных условиях с измеряемой деталью.

При измерениях за пределами температур от  $-48$  до  $52^\circ\text{C}$  применяют так называемый термокомпенсированный тензорезистор. Его температурный коэффициент изменения сопротивления подобран так, чтобы изменение температуры детали, на которую он наклеен, не сказывалось на результатах измерений. Такие тензорезисторы термокомпенсированы только при установке их на определенные материалы. Например, тензорезисторы типа Е термокомпенсированы для измерения напряжения на деталях, выполненных из стали 30ХГСА и некоторых цветных сплавов.



В условиях высоких температур применяют специальные тензорезисторы с первичным преобразователем температуры. Данные, полученные при измерении деформаций, корректируют с учетом фактической температуры в зоне измерений и характеристики тензорезистора.

*Аппаратура, применяемая для работы с тензорезисторами.* В процессе тензометрирования наряду с тензорезисторами используют различную аппаратуру (устройства для непосредственного измерения, тензоусилители, измерители деформаций, токосъемные и переключающие устройства, калибровочные приспособления и т.д.). С ее помощью обеспечивается питание тензорезисторов, производится балансировка и контроль за работой моста, усиливается сигнал, снимаемый с тензорезисторов, и выполняется ряд других функций.

Устройства для непосредственного измерения применяют при достаточной величине измеряемого сигнала и очень чувствительных регистрирующих приборах. С их помощью включают тензорезисторы в мостовые схемы, смонтированные на специальной панели, осуществляют балансировку и контроль за работой схем, а также калибровку аппаратуры. Устройства непосредственного измерения обеспечивают качество процесса измерения.

Тензоусилители усиливают сигнал, поступающий от тензорезисторов. По принципу работы их можно разделить на усилители постоянного тока и работающие на несущей частоте. В усилителях постоянного тока (УПТ) сигнал от тензорезисторов проходит через все устройства, сохраняя форму. Частота сигнала может меняться от нуля до своего максимального значения. Эти усилители не вносят искажений в измеряемый процесс, в них отсутствует взаимное влияние каналов, что позволяет использовать их при большой длине соединительных кабелей и значительном удалении аппаратуры от исследуемого объекта. К недостаткам УПТ следует отнести повышенный дрейф нуля, т.е. изменение сигнала на выходе усилителя при неизменном сигнале на входе, и слабую помехоустойчивость. Для

уменьшения дрейфа нуля при изготовлении УПТ применяют высококачественные детали и материалы, специальные схемы температурной компенсации и стабилизированные источники питания. Но все это связано с увеличением стоимости УПТ. Примером тензоусилителей постоянного тока являются приборы «Топаз-3», «Топаз-4», «ПА-1».

Генератор тензоусилителей, работающих на несущей частоте, вырабатывает переменный ток постоянной частоты для питания тензорезисторов. Активные плечи моста модулируют ток питания по амплитуде и по фазе. В результате этого через усилитель проходит сигнал с результирующей частотой

$$f_p = f_n \pm f_i,$$

где  $f_n$  – несущая частота;  $f_i$  – частота измеряемого процесса.

Величину несущей частоты  $f_n$  выбирают так, чтобы сигнал проходил в относительно узкой полосе частот. Так, например, тензоусилитель ТА-5 имеет частоту  $f_i = 7$  кГц, а частоту измеряемого процесса  $f_p = 1$  кГц, значит, значения  $f_p$  находятся в пределах 6–8 кГц. Это повышает качество работы усилителя и дает возможность упростить его конструкцию.

После усиления сигнал поступает в фазочувствительный детектор, где происходит выделение основной информации. Эти усилители работают с высокой стабильностью нулевого тока, высоким коэффициентом усиления и хорошей помехоустойчивостью. Однако их нельзя располагать на большом расстоянии от исследуемого объекта, так как при большой длине соединительных кабелей появляются искажения и взаимное влияние между каналами. К тензоусилителям, работающим на несущей частоте, можно отнести приборы ТА-5, 8-АНЧ-7М, ТТ-6V и др.

Существуют конструкции, в которых применяют как усилители постоянного тока, так и работающие на несущей частоте. В этом случае возможно использование длинных кабелей без создания значительных помех и получение высокой стабильности нулевого тока.

Весьма перспективными являются приборы импульсной тензометрии. Тензорезисторы получают импульсы от специального блокинг-генератора. Вследствие малой длительности действия импульса можно увеличить ток питания измерительного моста, не опасаясь перегрева тензорезисторов. При этом чувствительность схемы можно повысить в несколько раз. Кроме того, применение импульсов позволяет использовать один канал связи для измерения нескольких величин. Это достигается поочередной подачей импульсов на разные измерительные схемы от одного блокинг-генератора с помощью тактовых сигналов распределительных устройств.

В импульсной тензометрии значительно проще решают вопросы использования радиотелеметрических схем для передачи измерительной информации по радио. При проведении измерений на подвижных деталях отпадает необходимость использования токосъемных устройств. Импульсный характер получаемой информации особенно важен при подаче ее к вводу в ЭЦВМ. Если непрерывный сигнал необходимо сначала преобразовать в последовательность импульсов, то для импульсного сигнала достаточно преобразователем кода перевести амплитуду импульса в цифровой код.

Для сбора и хранения цифровой информации используют различные накопители, например накопитель на магнитной ленте НМЛЮ-440. По окончании испытаний информацию из накопителя подают непосредственно в ЭЦВМ для обработки.

Характеристики некоторых типов тензоусилителей приведены в табл. 4.2, а блок-схема усилителя ТА-5, работающего на несущей частоте, показана на рис. 4.2.

*Таблица 4.2*

**Характеристика тензоусилителей и цифровых тензомостов**

Наименование	ТА-5	ПА-1	ТУП-12	KWS/T-5	ТТ-6V	SS-24R	ЦТМ-3
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
Число каналов (измеряемых точек)	4	1	12	1	6	(24)	(100)
Сопротивление тензорезисторов, Ом	100–400		100–200	100–1200	60–600	60–500	50–40

Пределы измерений:							
относительной деформации, %	I	до 1	до 1	до 0,5	до 1	- 2,95÷3,0 5	до 1
диапазона частот, Гц	0–1000		0–200	0–1300	0–1500	0	0

1	2	3	4	5	6	7	8
Параметры на выходе:							
сила тока, мА	30	–	10	20	15	–	–
напряжение, В	–	±1	–	±2	–	–	–
нагрузка, Ом	100	1000	10	1000	10	–	–
Напряжение питания датчиков, В	6	–	–	–	0–3	1,8	2
Несущая частота, Гц	7000	0	3000	5000	5000	400	600
Диапазон температур, °С	20–50	–8÷32	10–50	–10 ÷ 40	–10 ÷ 40	–10 ÷ 50	10–35
Напряжение питания, В	~110/ ~220	=24	=24	=12~220	~200=1 2	=9	~200
Мощность питания, Вт	120	3	30	22	44	–	120
Масса, кг	16	0,7	12	–	18	5,5 + 8,2	21

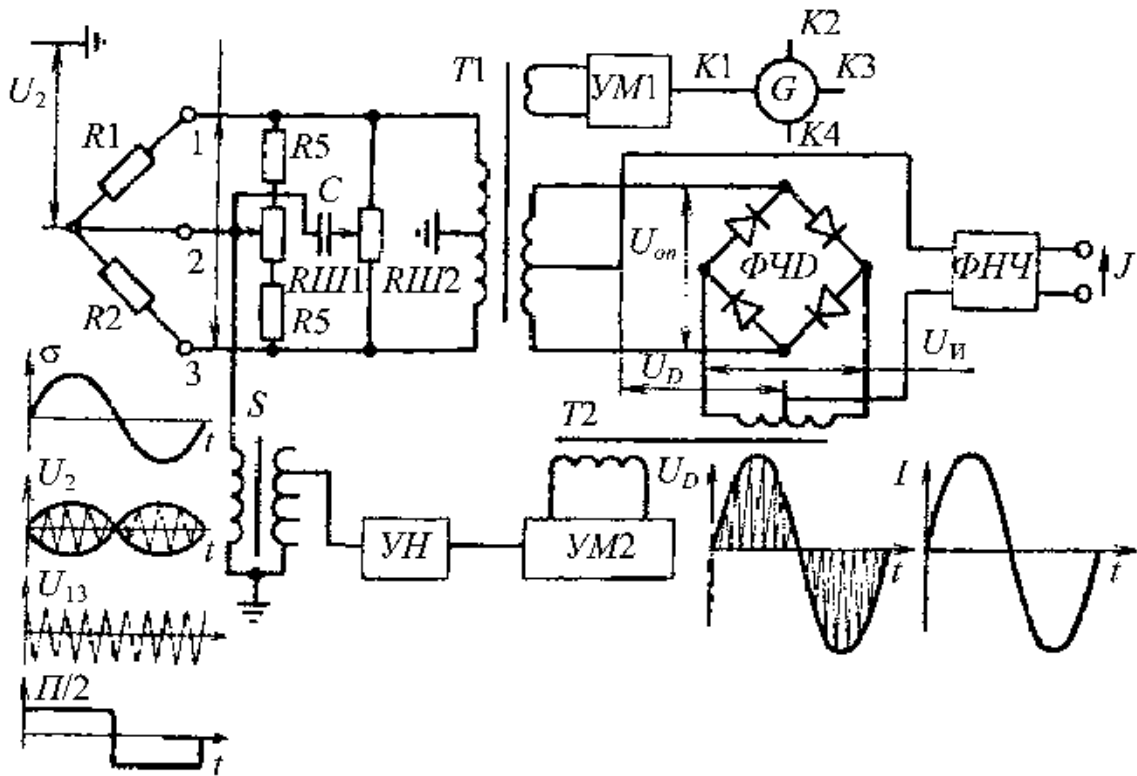


Рис. 4.2. Блок-схема тензоусилителя, работающего на несущей частоте

В этом приборе генератор  $G$  вырабатывает несущую частоту, которая подается на усилители мощности  $УМ1$ . В каждом канале тензоусилителя есть свой усилитель мощности, который вырабатывает напряжение 7–14 В для питания тензодатчиков и опорное напряжение  $U_{оп}$  для питания фазочувствительного детектора ( $ФЧД$ ). Одновременно усилитель мощности выполняет роль буферного каскада, устраняя взаимное влияние каналов.

Мостовая схема образована тензорезисторами  $R1$  и  $R2$  и двумя обмотками трансформатора  $T1$ . С этих обмоток через клеммы 1 и 3 подается напряжение  $U_{13}$  на питание тензорезисторов. Входные цепи ВЦ обеспечивают балансировку моста при разнице активного сопротивления плеч до 1–2% и реактивного до 200–500 пФ. Для балансировки по активному сопротивлению использован переменный резистор  $R_{III1}$ , а по реактивному – резистор  $R_{LU2}$  и конденсатор  $C$ . С помощью переключателя  $S$  можно ослабить сигнал.

Во входные цепи через клемму 2 подается напряжение разбаланса моста  $U_2$  с частотой, огибающей это напряжение, вдвое больше частоты измеряемого сигнала  $\sigma$  и с частотой заполнения, равной несущей частоте генератора. Фаза  $\sigma$  между напряжением питания тензорезисторов и напряжением  $U_2$  зависит от знака сигнала  $\sigma$ . После входных цепей сигнал поступает на усилитель напряжения  $УН$  и усилитель мощности  $УМ2$ . Затем усиленное трансформатором  $T_2$  напряжение  $U_i$  сигнала подводится к фазочувствительному детектору  $ФЧД$ . Таким образом, к этому детектору подводятся два напряжения: по одной диагонали опорное  $U_{оп}$ , по другой – напряжение измеряемой величины  $U_i$ .

Импульсы опорного напряжения отпирают то или иное плечо  $ФЧД$ , и рабочая точка выпрямительных диодов смещается на линейный участок характеристики. При этом происходит детектирование полезного сигнала в зависимости от соотношения фаз между напряжением  $U_{оп}$  и  $U_i$ . Для улучшения работы  $ФЧД$  импульсам опорного напряжения придают прямоугольную форму. С применением  $ФЧД$  повышается помехоустойчивость усилителя. В каждое плечо последовательно с диодом включен постоянный резистор (на схеме не показан) для выравнивания сопротивления плеч, что также уменьшает искажения на выходе усилителя.

Сигнал после  $ФЧД$  напряжением  $U_{ФЧД}$  содержит несущую частоту генератора, поэтому его необходимо пропустить еще через фильтр низкой частоты ( $ФНЧ$ ). Несущая частота задерживается, а полезный сигнал подается, например, на гальванометр осциллографа. Цепь нагрузки замыкается через средние точки обмоток трансформаторов  $T_1$  и  $T_2$ , через одно из плеч  $ФЧД$  и через фильтр несущей частоты. На схеме не указаны блок питания, прибор для контроля баланса и устройство для калибровки.

Цифровые тензомосты относятся к измерителям деформации, их используют в условиях статических испытаний при большом числе точек измерения. Результаты измерений в цифровом виде получают на световом табло или на бумажной ленте. В принципе работа цифрового тензомоста аналогична

работе тензоусилителя. Для питания тензорезисторов, как и в тензоусилителе, используют переменный ток несущей частоты, вырабатываемый специальным генератором. Формирователь усиливает мощность тока генератора и придает ему форму прямоугольных импульсов. Далее этот ток через трансформатор поступает на питание тензорезисторов и создает опорное напряжение на фазочувствительном детекторе.

Напряжение сигнала разбаланса через усилительный блок и стробирующее устройство поступает на ФЧД, где сравнивается с опорным напряжением. Стробирующее устройство вместе с формирователем предназначено для восстановления прямоугольной формы сигнала и фазы, кратной  $\pi/2$ . При достижении компенсации распределитель импульсов подает команду на дешифратор и на устройство управления печатью для вывода результатов. С помощью дешифратора результат измерения снимается с устройства дискретного уравнивания и преобразуется в десятичный код. Сигнал с дешифратора поступает на усилитель мощности и затем на печатающее устройство типа СД-107Д. Кроме того, результат измерений фиксируется на световом табло.

При работе с переключателем перед величиной относительной деформации указывается номер тензорезистора. Погрешность измерений не превышает 10–5 относительных единиц, что составляет 2,0 МПа при измерении напряжений в стали.

Цифровой тензомост работает с большим начальным разбалансом, равным половине максимально возможной относительной деформации объекта. Это сделано для того, чтобы можно было проводить измерение положительных и отрицательных деформаций в пределе  $\pm 5 \cdot 10^{-3}$  относительных единиц без предварительной балансировки. Цифровые тензомосты целесообразно использовать в комплекте с автоматическим переключающим устройством. В режиме ручного переключения можно записывать показания отдельных точек, а в режиме автоматической работы – последовательно всех подключенных тензорезисторов. Процесс измерения в

одной точке длится не более 1,4 с. Переключатель типа ПД-100М допускает работу со 100 тензорезисторами.

К переключающим устройствам предъявляют очень высокие требования в отношении стабильности переходного сопротивления. Разработанные специально для тензоизмерений переключатели, работающие в масле, имеют вариацию переходного сопротивления в пределах 0,0006 Ом. Это равнозначно ошибке 1,44 МПа при измерении деформаций стали тензорезисторами с сопротивлением  $R = 100$  Ом. Такую величину погрешности можно считать приемлемой для большинства измерений.

Высокую стабильность переходного сопротивления имеют герметизированные магнитоуправляемые контакты-герконы – ферромагнитные пружины в стеклянном баллоне с инертным газом. Под действием магнитного поля контакты притягиваются и замыкают цепь. Существует несколько типов герконов, так одним из них типа КЭМ-6 можно переключать электрические цепи переменного тока мощностью до 12 Вт при напряжении 24 В с частотой до 100 Гц, а цепи постоянного тока – при напряжении 60 В.

Погрешность измерения при переключении целых мостов меньше, чем при переключении отдельных тензорезисторов. В этом случае переходное сопротивление контактов не оказывает влияния на показания прибора. Можно переключать только измерительные диагонали мостов, а питание всех мостов осуществлять параллельно, но при этом необходим большой расход энергии.

Токоъемные устройства применяют при измерении напряжений на вращающихся деталях. Эти устройства можно разделить на контактные и бесконтактные.

Наиболее просты по конструкции токоъемные устройства с сухими контактами. Кольца закрепляют на вращающиеся детали, а щетки или струны устанавливают на неподвижной детали. Основной недостаток этих токоъемных устройств – изменение переходного сопротивления в зависимости от наличия окислов на поверхности контактов, запыленности и



влажности воздуха, давления и температуры в зоне контакта и ряда других факторов.

Важное значение имеет точность изготовления и сборки токосъемных устройств, которая существенно влияет на циклическую погрешность, что в значительной степени ограничивает наибольшую угловую скорость при их работе. Для лучшей работы контактных токосъемных устройств при их изготовлении используют высококачественные и драгоценные материалы, повышают точность изготовления деталей и их сборки. Для большей долговечности работы применяют приспособление, позволяющее отводить щетки от колец после окончания измерений, а зону контакта герметизируют.

Влияние изменения переходного сопротивления можно в значительной степени ослабить, устанавливая на вращающейся детали полный мост соединения тензорезисторов (рис. 4.3,а), а не полумост (рис. 4.3,б).

В этом случае переходное сопротивление контактов не влияет на баланс моста, но схема должна быть сбалансирована до начала измерений. С этой же целью иногда применяют полумостовую схему включения токосъемных устройств с дополнительными щетками, каждую из которых соединяют через резистор с сопротивлением, значительно большим переходного сопротивления контакта (рис. 4.3,б). В более простых схемах применяют несколько щеток, работающих параллельно.

Повысить качество контактных токосъемных устройств можно также применением жидкостного контакта с ртутью или галлием. Переходное сопротивление в этих устройствах стабильнее, его вариация составляет приблизительно 0,0008 Ом (0,006–0,009 Ом у устройств с сухим контактом). Однако низкая долговечность, малая вибростойкость и повышенная токсичность ртути в значительной степени ограничивают применение такого устройства.

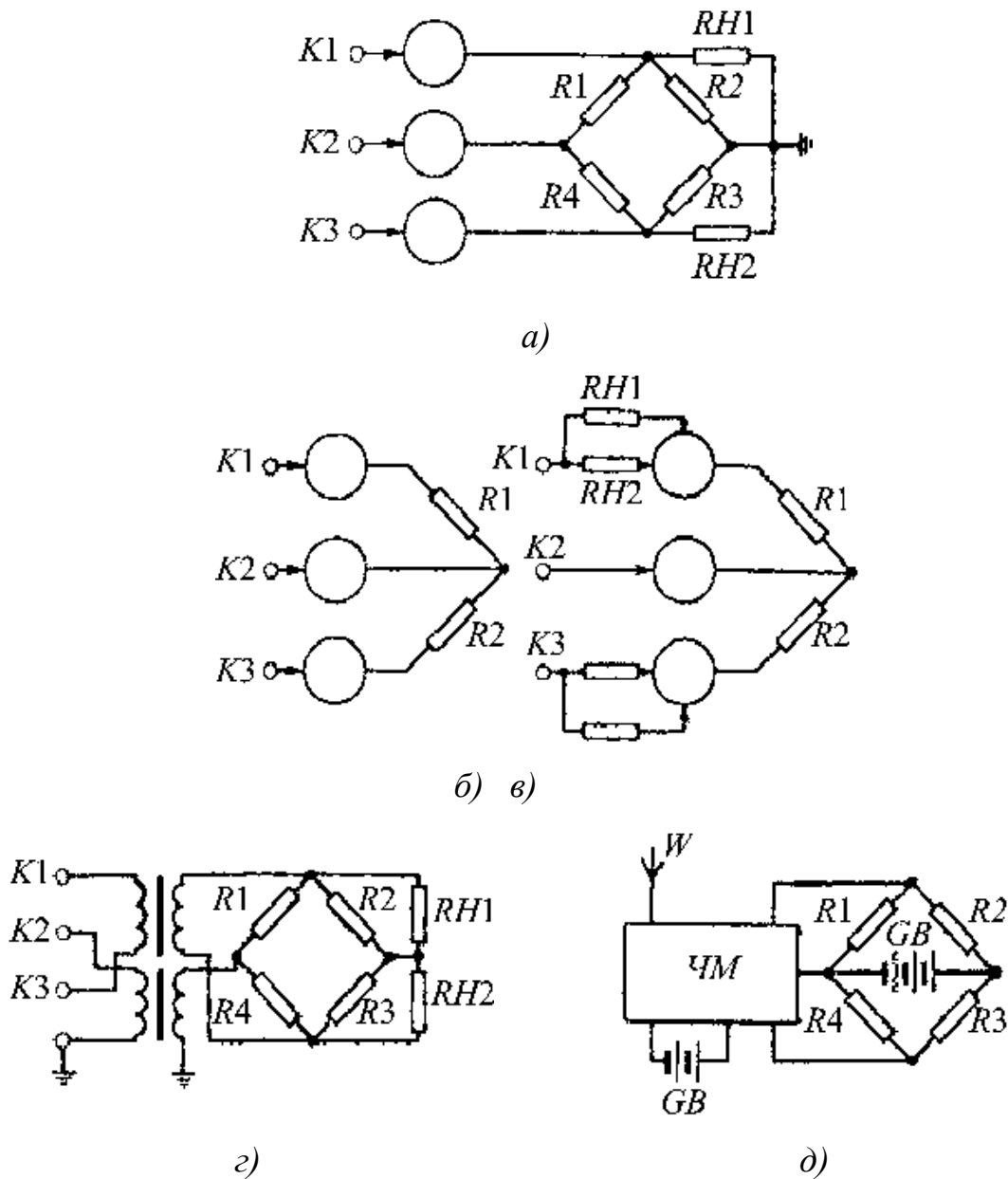
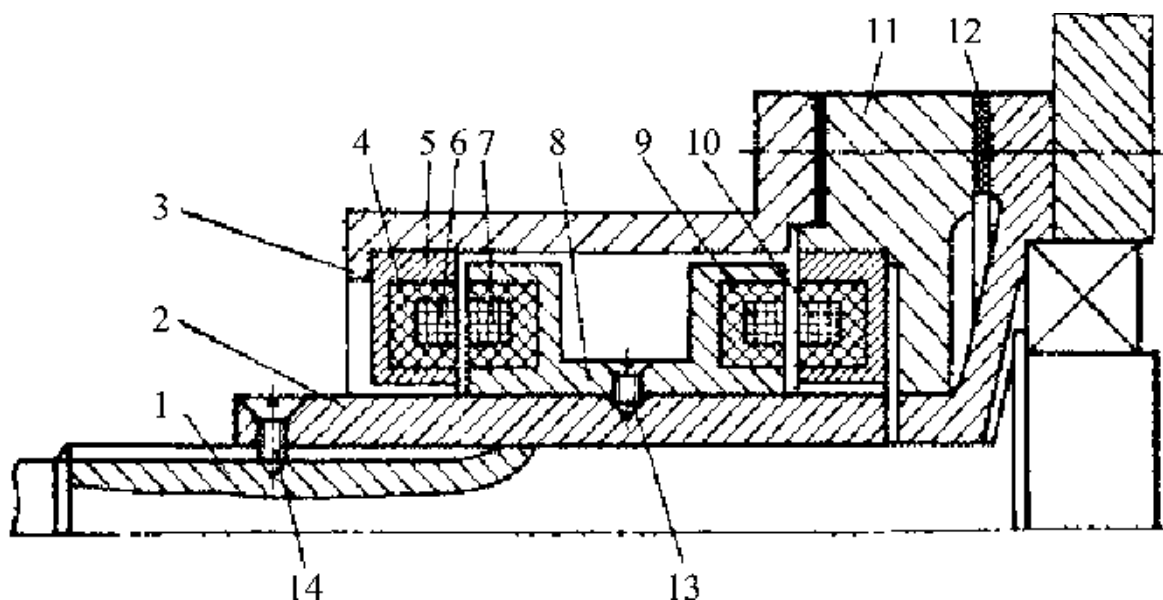


Рис. 4.3. Схемы включения токосъемных устройств:  
*а* – полумостовая; *б* – полумостовая; *в* – мостовая с дополнительными щетками; *г* – трансформаторная схема; *д* – с радиопередатчиком;  
*R1–R2–R3–R4* тензорезисторы; *RH1–RH2* – настроечные резисторы;  
*K1, K2, K3* – токосъемники

Бесконтактные токосъемные устройства подразделяют на емкостные, трансформаторные и основанные на использовании радиотелеметрических схем. Больше распространение получили трансформаторные устройства (см. рис. 4.4).



*Рис. 4.4. Трансформаторное токосъемное устройство*

В этом устройстве один из вращающихся трансформаторов обеспечивает передачу напряжения питания тензорезисторов, а второй – принимает сигнал разбаланса моста. Обмотки трансформаторов 6, 7 и 9, 10 расположены соосно и вклеены в металлокарбонильные сердечники, которые состоят из собственно сердечника 4 и кожуха 5. Неподвижные сердечники закреплены в крышке 3, которая вместе с корпусом 11 установлена на неподвижную деталь. Подвижные сердечники расположены в блоке 8, который прикреплен к шлицевой втулке 2 винтами 13. Втулка 2 удерживается винтами 14 на валу 1. Зазоры в магнитопроводе регулируют с помощью сменных прокладок 12. Это устройство имеет небольшую циклическую погрешность, связанную с неточностью изготовления и сборки. За счет регулировки зазора погрешность измерения можно уменьшить и довести до 0,0002 Ом.

Проводить различные измерения на вращающихся валах можно с помощью миниатюрного радиопередатчика (рис. 4.3,д). Сигналы от тензорезисторов, измеряющих деформации исследуемой детали, например вала, воздействуют на полупроводниковый конденсатор – варикап, который изменяет свою емкость. Таким образом, сигнал моста модулирует частоту

передатчика, который собран на одном транзисторе и установлен на вращающейся детали. Передается информация в радиусе до 10 м. Приемник располагают на автомобиле, а его антенну размещают параллельно оси вала на расстоянии 1–2 м.

*Калибровка тензорезисторов.* Калибровка бывает прямая и косвенная. Прямая калибровка заключается в том, что тензорезисторы деформируются вместе с деталью, напряжения в которой заранее рассчитаны. Чаще всего для этого используют калибровочную балку (см. рис. 4.1,д). На выходе аппаратуры, работающей вместе с тензорезисторами, измеряется выходной сигнал. Коэффициент калибровки ( $K$ ) при использовании калибровочной балки определяют по формуле

$$K = \frac{\sigma}{Sn_0} \frac{E_d}{E_б}, \quad (4.6)$$

где  $Sn_0$  – отношение чисел активных тензорезисторов на измеряемой детали и на калибровочной балке;

$\sigma$  – напряжение;

$E_б, E_d$  – модули упругости материалов соответственно балки и детали.

Для прямой калибровки применяют балки с консольным или с симметричным нагружением двумя силами, действующими в середине пролета. Консольная балка по форме должна быть близка к балке равного сопротивления изгибу, поэтому при использовании консольной балки значительно снижается погрешность измерения, связанная с неточной установкой тензорезистора.

Разность в упругих свойствах материала балки и измеряемой детали учитывают отношением их модулей упругости. Результаты калибровки справедливы для всей партии, из которой были взяты тензорезисторы. Косвенную калибровку проводят искусственным нарушением баланса моста, подключая шунтирующий тензорезистор  $RT$  с помощью выключателя  $S$  (см. рис. 4,а), или подавая определенный сигнал на входные цепи усилителя от калибровочного устройства. Подключение шунтирующего резистора  $RT$  эквивалентно воздействию напряжения  $\sigma_э$  на тензорезистор, которое можно определить из

следующего выражения, полученного подстановкой удельного изменения сопротивления в формулу (4.3):

$$\sigma_3 = \frac{R}{R + R_m} \frac{E}{\gamma}. \quad (4.7)$$

Подставив выражение (4.7) в (4.6), получим уравнение для определения коэффициента  $K$  для рассматриваемого случая, т.е.  $E/E_0 = 1$ .

Калибровку с помощью контрольного сигнала проводят при работе тензоусилителя специальным калибровочным устройством. При включении устройства сигнал в виде прямоугольного импульса подается поочередно на все каналы (предварительно на каждый канал подается нулевой сигнал). Величина калибровочного импульса соответствует напряжениям в определенном материале детали, ее указывают в инструкции, в которую занесены также и другие условия калибровки (число активных плеч, сопротивление тензорезисторов, полярность импульса и т.д.).

*Крутильные колебания трансмиссии.* Эти колебания исследуют методами торсиографирования или тензометрирования. Торсиографами регистрируют угловые колебания маховых масс трансмиссии. Используя наклеиваемые на детали тензорезисторы и токосъемные устройства, определяют колебания крутящего момента на валах. Этот второй метод исследования крутильных колебаний, при котором получают большую информацию о работе трансмиссии, предпочтительнее первого, особенно в тех случаях, когда токосъемные устройства устанавливают на всех основных валах (на первичном валу коробки передач, на карданном и на полуосях). На рис. 4.5,а показано бесконтактное трансформаторное токосъемное устройство, установленное на первичном валу коробки передач автомобиля ГАЗ-3110; на рис. 4.5,б – аналогичное токосъемное устройство, размещенное на карданном валу автомобиля. Токосъемное устройство 3 на трубе карданного вала 5 удерживается силой трения, которая создается разъемными конусами 6, поджимаемыми гайками 7. На рис. 4.5,в показана схема установки токосъемного устройства аналогичного типа на

полуоси 8 грузового автомобиля. Корпус токосъемного устройства 9 вращается вместе с колесом автомобиля, а его центральная ось 10 удерживается от вращения рычагом 11.

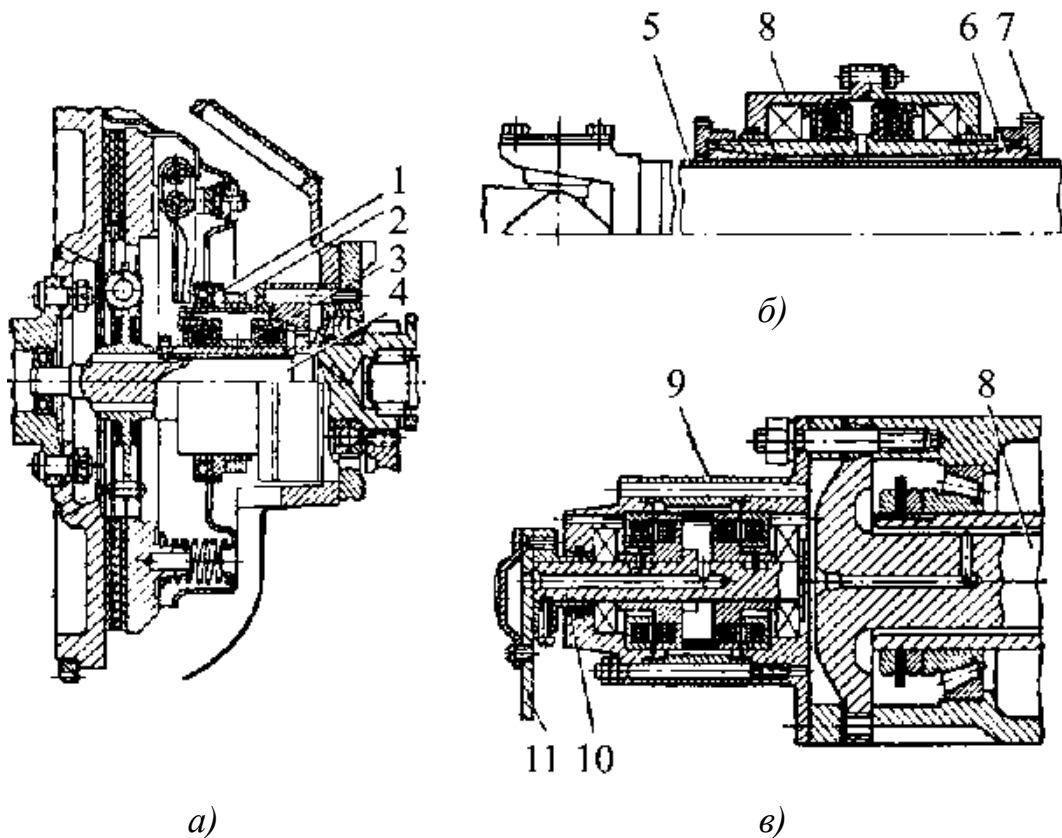


Рис. 4.5. Схемы установок бесконтактных токосъемных устройств:  
 а – на первичном валу коробки передач; б – на карданном валу;  
 в – на фланце полуоси; 1 – муфта выключения сцепления;  
 2 – вилка сцепления; 3 – токосъемное устройство; 4 – первичный вал  
 коробки передач; 5 – труба карданного вала; 6 – разъемный конус;  
 7 – гайка, 8 – полуось; 9 – корпус токосъемного устройства;  
 10 – центральная ось токосъемного устройства; 11 – рычаг

При исследовании крутильных колебаний трансмиссии автомобиля выявляют резонансные режимы и изучают переходные процессы, возникающие при включении сцепления в момент его замыкания.

### 3 ИСПЫТАНИЯ ТЯГОВО-СЦЕПНЫХ УСТРОЙСТВ ТТМ и О

Автопоезд, в отличие от одиночного автомобиля, состоит из нескольких звеньев. Кинематическое и силовое взаимодействие звеньев автопоезда, передача тягового усилия от тягача к прицепу осуществляется через разъемно-сцепные устройства.

В зависимости от конструктивного варианта автопоезда различают две основные группы сцепных устройств:

- 1) тягово-сцепные;
- 2) опорно-сцепные.

*Тягово-сцепные устройства* используются для буксировки транспортных прицепов и некоторых специальных прицепных систем. Характерная особенность сцепок этой группы состоит в том, что для них основным видом нагрузки являются продольные усилия. Вертикальные нагрузки в данном виде сцепок ограничиваются весом деталей дышлового приспособления.

*Опорно-сцепные устройства* применяются для буксировки полуприцепов. Данный вид сцепки помимо продольных усилий, воспринимают и передают на тягач значительные вертикальные нагрузки от веса буксируемого полуприцепа, одновременно выполняя функции поворотного механизма.

Тягово-сцепное устройство включает четыре основных узла: разъемно-сцепной узел, амортизационно-поглощающий механизм, поворотно-выдвижной механизм и узел крепления.

Обычно конструкция разъемно-сцепного узла определяет наименование типа тягово-сцепного устройства. При помощи этого узла осуществляется сцепка отдельных звеньев автопоезда и их расцепка. В эксплуатации находят применение главным образом следующие типы тягово-сцепных устройств: тяговые крюки, тяговые вилки, шаровые сцепки, беззазорные сцепки.

Стенд вибрационного типа состоит из следующих основных узлов (рис. 11.1): электрооборудования 1, клиноременной передачи 2, вибратора 4, узла 8 крепления испытуемого изделия 9, измерительной аппаратуры 6. В систему электрооборудования входят двигатель постоянного тока серии П ( $N = 2,2$  кВт),  $n = 1200-3500$  об/мин), реостат и другие электроаппараты.

Электродвигатель смонтирован на шарнирной плите, создающей натяжение ременной передачи и закрепленной на сварной подставке 7. К этой же подставке подвешен на плоских пружинах 3 центробежный вибратор 4, который служит для создания знакопеременной циклической нагрузки. Величина усилия до 300 Н с частотой 10–25 Гц достигается за счет установки сменных неуравновешенных масс 5 и бесступенчатого регулирования скорости вращения выходного вала электродвигателя. Датчик типа РМ 25Кп (ФРГ) обеспечивает измерение усилий с точностью  $\pm 3\%$ . Конструкция узла 8 предусматривает изменение угла установки исследуемых изделий. На стенде проводятся испытания тягово-сцепных устройств к легковым автомобилям.

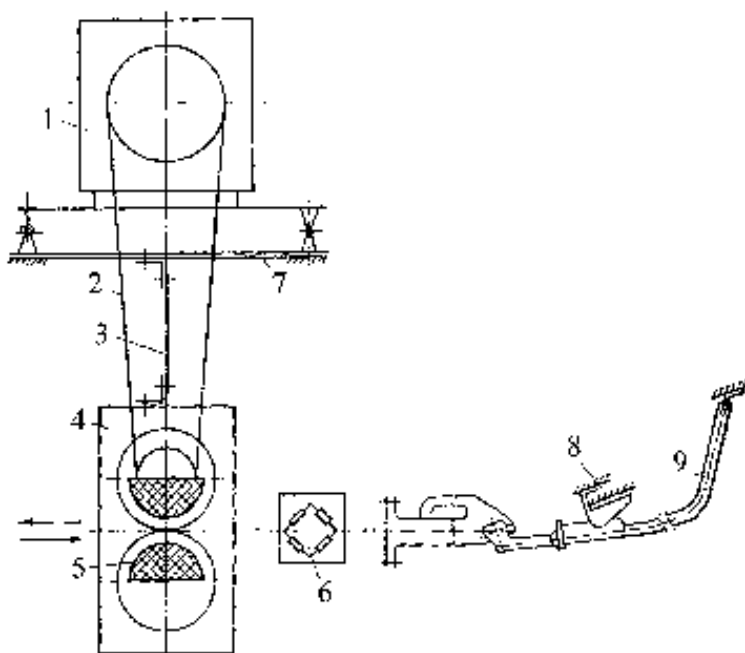
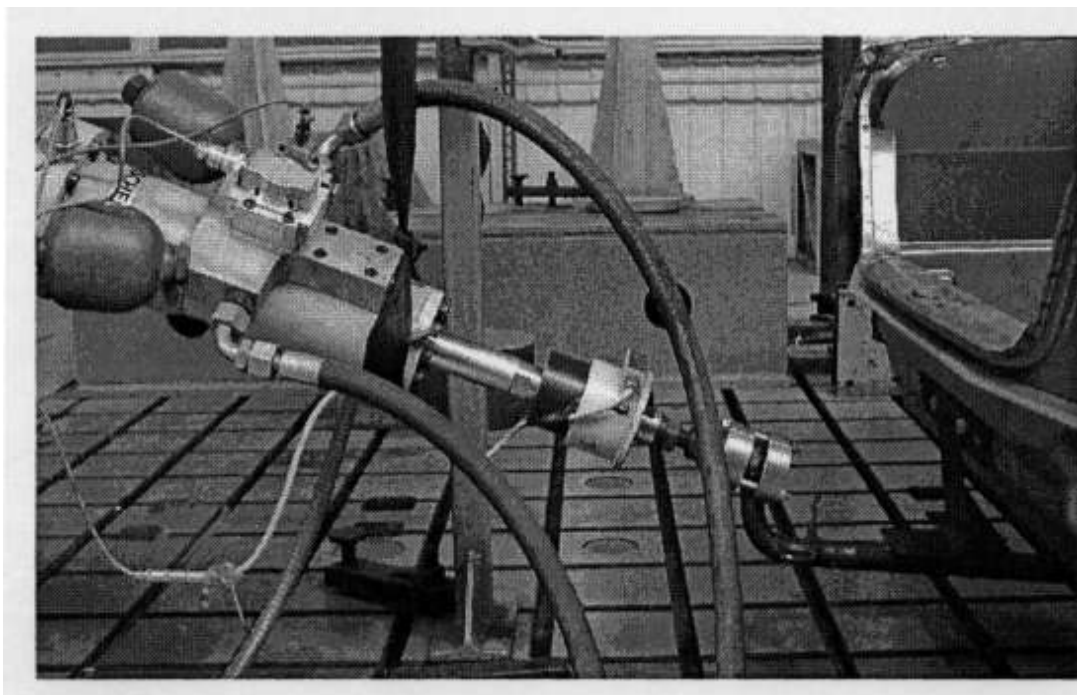


Рис. 11.1. Схема стенда для испытаний тягово-сцепных устройств к прицепам легковых автомобилей.





*Рис.11.2. Испытания сцепного устройства с помощью нагружения гидроцилиндром*

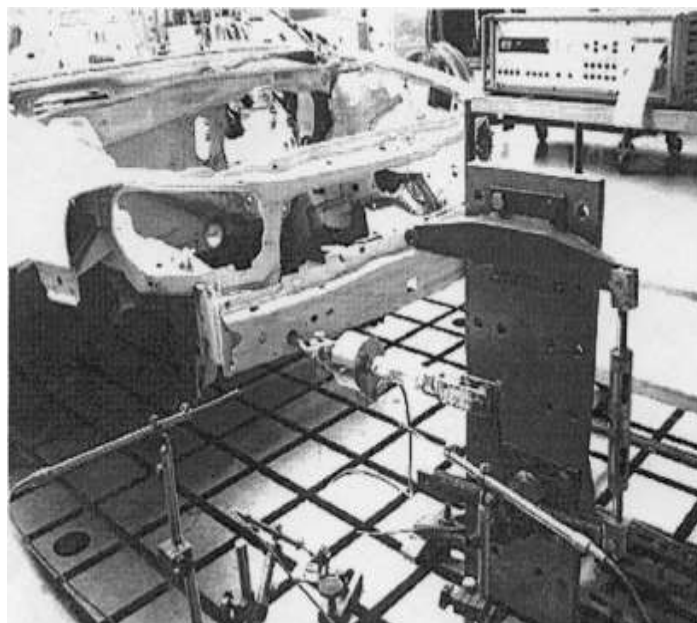
Стенд для испытаний буксирных проушин автомобиля на соответствие требованиям директивы 77/389 ЕЭС ООН (рис. 11.3)

Кузов жестко фиксируется на пазовой плите стенда растяжками. С помощью рычажного механизма на буксирную проушину прикладывается требуемая нагрузка под нужным углом. Деформация проушины и зоны ее крепления измеряется датчиками перемещения в трех основных осях X.Y.Z.

Для регистрации силы и перемещения используется аппаратура ф.НВМ с выводом результатов испытаний на персональный компьютер.

Параметры и технические характеристики стенда:

- тип стенда – механический с ручным приводом;
- диапазон прикладываемой нагрузки –  $\pm 20$  КМ;
- диапазон измеряемых перемещений –  $\pm 50$  мм;
- угол приложения нагрузки –  $\pm 30$  град по горизонтали;
- $\pm 10$  град по вертикали.



*11.3. Стенд для испытаний буксировочных проушин*

## Лекция №4

### Испытания по определению топливной экономичности транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования

#### Измерители и показатели топливной экономичности автомобиля

Топливо является важнейшим эксплуатационным материалом который потребляется автомобильным транспортом в большом количестве.

Расход топлива автомобилем зависит от его конструкции и технического состояния, а также от дорожных и климатических условий, квалификации водителя и организации транспортного процесса.

Совершенство конструкции автомобиля с точки зрения топливной экономичности оценивают по общему расходу топлива  $Q$  л, отнесенного к длине пройденного пути  $S$  км или к величине транспортной работы  $W$ .

Расход топлива на единицу пробега автомобиля

$$q_n = \frac{Q}{S}, \text{ л/км} \quad (1)$$

с учетом единицы транспортной работы

$$q_n = \frac{Q}{W} = \frac{Q}{S_{zp} G_{zp}}, \text{ л/ткм (или л/пасс-км)}, \quad (2)$$

где  $W$  – объем транспортной работы в  $ткм$  (или  $пасс-км$ );  $G_{zp}$  – вес перевезенного груза (или количество пассажиров),  $т$ ;  $S_{zp}$  – пробег автомобиля в груженом состоянии,  $км$ .

В качестве *измерителей топливной экономичности* двигателя применяют расход топлива в килограммах за час работы –  $G_m$   $кг/ч$ , а также удельный расход в граммах на  $1$   $кВт$  за час работы –  $g_e$   $г/кВт.ч$ .

Связь между  $G_m$ ,  $g_e$  и  $q_n$  выражается следующими формулами:

$$G_m = \frac{Q \rho_m}{t} \text{ кг/ч}; \quad (3)$$

$$g_e = \frac{G_m}{N_e} \cdot 1000 = \frac{Q \rho_m}{t N_e} \cdot 1000 \text{ г/кВт.ч}; \quad (4)$$

$$q_n = \frac{G_m t}{10 \rho_m S} = \frac{g_e N_e}{10 \rho_m V_a} \text{ л/100 км}, \quad (5)$$

где  $\rho_m$  – плотность топлива,  $кг/л$ ;  $t$  – время,  $ч$ .

Так как  $N_e$  двигателя затрачивается в процессе движения автомобиля на преодоление сопротивлений, то  $q_n$  зависит от таких факторов как

$$q_n = \frac{g_e}{\rho_m} (P_{mp} + P_d + P_d - P_j) \text{ л/100 км.} \quad (6)$$

\*

Следовательно, расход топлива на единицу пробега уменьшается при улучшении топливной экономичности двигателя, оцениваемой величиной  $g_e$ . Все конструктивные параметры двигателя и особенности его рабочего процесса, влияющие на эффективный расход топлива, сказываются и на топливной экономичности автомобиля. Так, например, автомобили, имеющие дизель, эффективный расход топлива которых составляет 210-280  $\text{г/кВт.ч}$ , часто оказываются экономичнее автомобилей с карбюраторными двигателями ( $g_e = 300-380 \text{ г/кВт.ч}$ ), несмотря на меньший вес последних.

Расход топлива автомобилем увеличивается при увеличении сил сопротивления трансмиссии, дороги и воздуха. В процессе разгона часть топлива расходуется на увеличение кинетической энергии автомобиля, и общий расход топлива увеличивается.

Использование уравнения 6 для определения расхода топлива затрудняется тем обстоятельством, что величина  $g_e$  не является независимой переменной. Она изменяется при изменении числа оборотов коленчатого вала  $n_e$  и степени  $u$  использования мощности двигателя, как показано на рис. 1. Поэтому увеличение или уменьшение сопротивлений движению, вызывающее изменение мощности двигателя и скорости автомобиля, отражается также и на величине  $g_e$ .

Чтобы определить расход топлива автомобилем в определенных дорожных условиях, необходимо располагать экспериментальным графиком (нагрузочной характеристикой двигателя), аналогичным показанному на рис. 1).

Методы расчета расхода топлива при помощи нагрузочных характеристик двигателя предложены Н.А. Яковлевым, Г.В. Зимелевым и др.

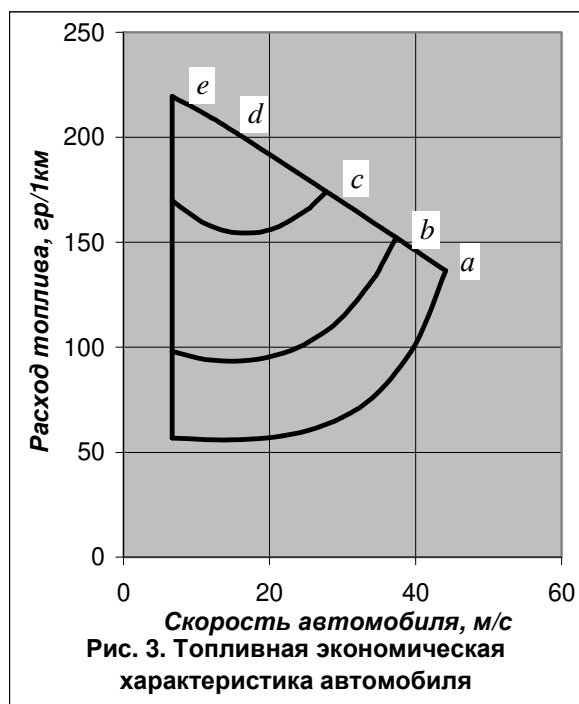
В случае отсутствия экспериментальных данных топливно-экономическую характеристику автомобиля можно построить, пользуясь методикой, разработанной И.С. Шлиппе. Согласно этой методике эффективный расход топлива определяют по уравнению

$$g_e = g_N K_u K_{об} \text{ г/кВт.ч,} \quad (7)$$

где  $g_e$  – эффективный расход топлива при  $N_{max}$ ,  $\text{г/кВт.ч}$ ;  $K_{об}$  – коэффициент, учитывающий изменение  $g_e$  в зависимости от чистоты вращения вала двигателя;  $K_u$  – коэффициент, учитывающий изменение  $g_e$  в зависимости от степени использования мощности  $u$ .

Примерные значения коэффициентов, полученные обработкой статистических данных, приведены на рис. 2.

Для построения топливной-экономичности характеристики задаются несколькими значениями  $n_e$  и по известной величине  $n_N$  определяют отношение  $n_e/n_N$ . После этого по рис 2, а находят  $K_{об}$ . Определив величины скорости, соответствующие каждому из значений  $n_e$ , вычисляют силы сопротивления трансмиссии и воздуха. Задавшись значением коэффициента сопротивления дороги  $\psi$ , определяют  $u$  использования мощности при постоянном  $\psi$  и различной скорости движения. После этого для каждого значения  $u$  по рис. 2, б находят величину коэффициента  $K_u$  и по выражению 6 с учетом уравнения 7 определяют расход топлива  $g_n$ . Соединив отдельные точки плавной кривой, получают зависимости расхода топлива от скорости при одном значении  $\psi$ . Повторив вычисления для других величин  $\psi$ , можно построить всю топливно-экономическую характеристику автомобиля (рис. 3).



## Лекция №5

### Испытания механизмов и систем транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования

К стендовым испытаниям изделий относят такие, которые проводятся на испытательном оборудовании, представляющем собой техническое устройство для воспроизведения внешних воздействий на изделие, возникающих в процессе его эксплуатации, с целью получения необходимой информации о характеристиках и свойствах этого изделия.

Как правило, стендовые испытания являются ускоренными по сравнению с нормальными дорожными, поскольку методы и условия их проведения обеспечивают получение необходимой информации в более короткие сроки, чем при нормальных дорожных испытаниях.

Немаловажным является и такое обстоятельство, как возможность многократного воспроизведения установленных режимов испытаний, что позволяет получать статистические характеристики различных свойств узлов, агрегатов и деталей автомобиля, на основе которых можно оценивать стабильность или прогнозировать изменение этих свойств. Поэтому стендовые испытания автомобилей и их отдельных узлов, агрегатов получают все большее развитие, заменяя в ряде случаев дорожные при решении ряда технических вопросов. Дорожные испытания автомобилей *в условиях эксплуатации и на полигонах* целесообразно проводить при достаточно отработанных и доведенных после стендовых испытаний узлах и агрегатах.

Достоверность результатов стендовых испытаний постоянно повышается в связи с совершенствованием их режимов на основе более тесной корреляции с режимами эксплуатационных испытаний автомобилей.

Развитие стендовых поэлементных испытаний обусловило создание целого ряда специализированных установок и методик. В связи с этим возникло новое направление – модульный принцип создания испытательных стендов, что обеспечивает универсальность и быструю переналадку оборудования при решении различных исследовательских задач.

*При стендовых испытаниях объектов имитируют различные воздействия на них.*

*Механические воздействия* создают при стендовых испытаниях (функциональных, на надежность) узлов, агрегатов и деталей автомобилей

*Климатические воздействия* имитируют при проведении стендовых испытаний узлов и деталей, эксплуатируемых в условиях тропиков или Крайнего Севера. Создают и другие виды воздействий: например, при определении коррозионной стойкости изделий химическое воздействие агрессивной среды. Возможно и комплексное воздействие различных факторов. Для этого используют специальные испытательные стенды.

*Неразрушающие испытания* включают такие, при которых ни воздействия, ни методы контроля результатов испытаний не приводят к разрушению изделия.

*К разрушающим испытаниям* относят те из них, в которых указанные выше факторы обуславливают разрушение испытуемого изделия.

Стендовые испытания также широко используются и на стадии серийного производства изделий (испытание готовой продукции).

*Периодические стендовые испытания* выпускаемой продукции проводят в объемах и в сроки, установленные нормативно-технической документацией, с целью контроля стабильности качества продукции и определения возможности продолжения ее выпуска.

Стенды для испытания автомобилей, агрегатов и их составных частей могут быть отнесены к следующим группам:

1) *лабораторно-исследовательские испытательные стенды*, предназначенные для проведения исследовательских и доводочных испытаний;

2) *технологические испытательные стенды*, на которых осуществляют испытания и контроль качества продукции на всех этапах ее изготовления;

3) *диагностические стенды* для проверки и анализа состояния автомобилей и его агрегатов в процессе эксплуатации.

Лабораторно-исследовательские испытательные стенды являются основным оборудованием научно-исследовательских подразделений и экспериментальных баз конструкторских служб автомобильных и автоагрегатных заводов. Технологические испытательные стенды размещаются в технологических линиях производств, чаще всего на участках сборки и контроля выпускаемых изделий. Диагностическими стендами оборудуют линии технического обслуживания автомобилей автотранспортных предприятий.

Конструктивные схемы стендов зависят от особенностей испытываемых узлов и исследуемых их свойств. В зависимости от вида определяемых характеристик, как и в классификации стендовых испытаний, стенды разделяют на два основных вида – для оценки функциональных характеристик объекта и характеристик его надежности. Такие стенды могут быть специальными и универсальными.

*К универсальным стендам* относят стандартные машины и устройства для испытания на сжатие, растяжение и циклическое нагружение. Универсальные стенды широко используются в различных отраслях промышленности для испытания деталей общемашиностроительного назначения. В автомобильной промышленности используют, например, гидравлические прессы для создания циклической нагрузки (с необходимыми усилием сжатия и частотой) при испытаниях разнообразных пружин и автомобильных рессор.

*Специальные стенды* включают машины и устройства, предназначенные для испытания отдельных деталей, узлов и

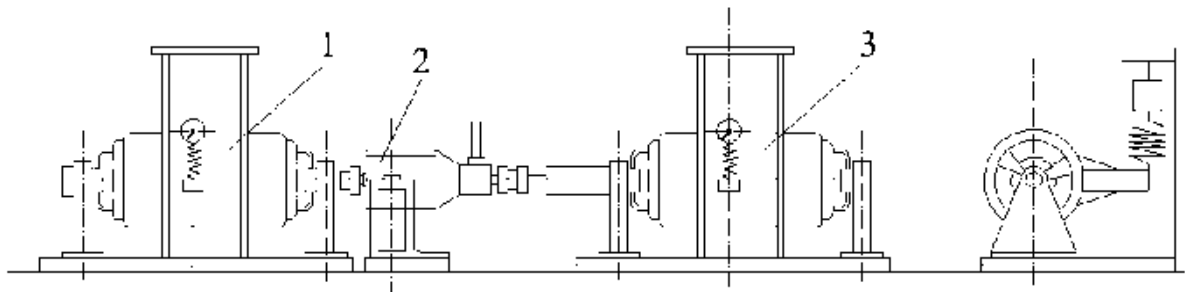


агрегатов автомобиля. Специальные стенды могут создаваться для испытания изделий нескольких типов и исследования различных их функциональных свойств. Так, на специальных стендах определяют мощность, топливную экономичность, температурные характеристики двигателей, их вибронегруженность, токсичность и дымность отработавших газов, функциональные характеристики систем управления автомобилем – соответствие требованиям технических условий передаточного отношения и КПД рулевого механизма, углов установки колес, эффективности колесных тормозов и т.д. На специальных стендах определяют функциональные характеристики гидравлических амортизаторов подвески, т. е. зависимость сопротивления амортизатора от скорости перемещения его штока. Разработаны специальные стенды, предназначенные для испытания агрегатов трансмиссии на прочность, долговечность (усталость), износостойкость, жесткость.

*По способу создания нагрузки различают стенды с прямым нагружением (разомкнутым потоком мощности) и с замкнутым контуром нагружения.*

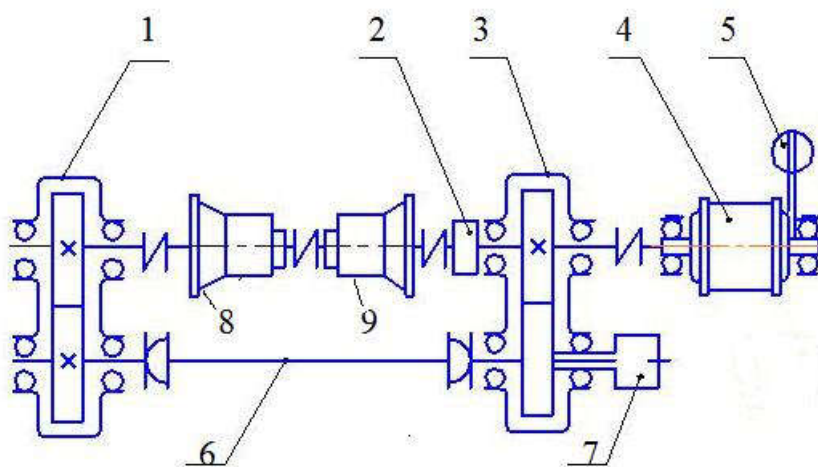
Стенд с прямым нагружением (рис. 10.1) включает балансирный электрический приводной двигатель 1, электрический или гидравлический тормоз 2 с динамометрическим устройством и соединяющие их карданные или упругие валы. Стенды этой группы применяют для испытания агрегатов на прочность, а также для определения КПД различных механизмов. Они просты в управлении, однако для них характерен значительный расход электроэнергии.

В целях повышения экономичности испытаний в качестве тормоза может быть применен генератор постоянного тока или двигатель-генератор. При этом используется принцип рекуперации электроэнергии, когда служащий тормозом генератор частично преобразует энергию торможения в энергию тока, возвращаемую в сеть.



*Рис. 10.1. Схема стенда с прямым нагружением:  
1 – электродвигатель; 2 – испытуемая коробка передач;  
3 – тормоз (нагружающее устройство)*

В стендах с замкнутым контуром нагружения отсутствуют тормозные устройства, приводной двигатель имеет значительно меньшую мощность, чем в стендах с прямым нагружением. Такие стенды используют для испытаний узлов и агрегатов на долговечность, подбора смазочного материала, определения КПД и т.п. Принцип метода исследования на стендах (рис. 10.2) заключается в создании упругих деформаций в замкнутом контуре, образуемом элементами стенда (редукторами 1 и 3, муфтами 2, испытуемыми агрегатами (коробки передач-8 - технологическая и 9-испытуемая) и валами 6, и изменения крутящих моментов от приводного двигателя 4 с помощью рычажного устройства 5. Крутящие моменты создаются при закручивании валов специальным устройством – нагружателем 7. Наиболее часто применяют нагружатели механические или гидравлические.



*Рис. 10.2. Стенд для испытаний коробок передач с замкнутым контуром.*

Стенды с нагрузкой от маховых масс работают по принципу нагружения испытуемого объекта моментами вращающихся масс (маховиков). Гидравлические нагрузжатели обеспечивают высокую точность и быстроту изменения нагрузки. Нагружающий крутящий момент в замкнутом контуре изменяют путем регулирования давления масла в силовых цилиндрах.

Жесткость и прочность агрегатов определяют, создавая максимальный крутящий момент на входном валу агрегата при закрепленном выходном.

Прочность различных деталей при циклическом нагружении определяют на специальных стендах-пульсаторах. Переменная нагрузка заданной частоты и амплитуды должна соответствовать условиям эксплуатации этих деталей.

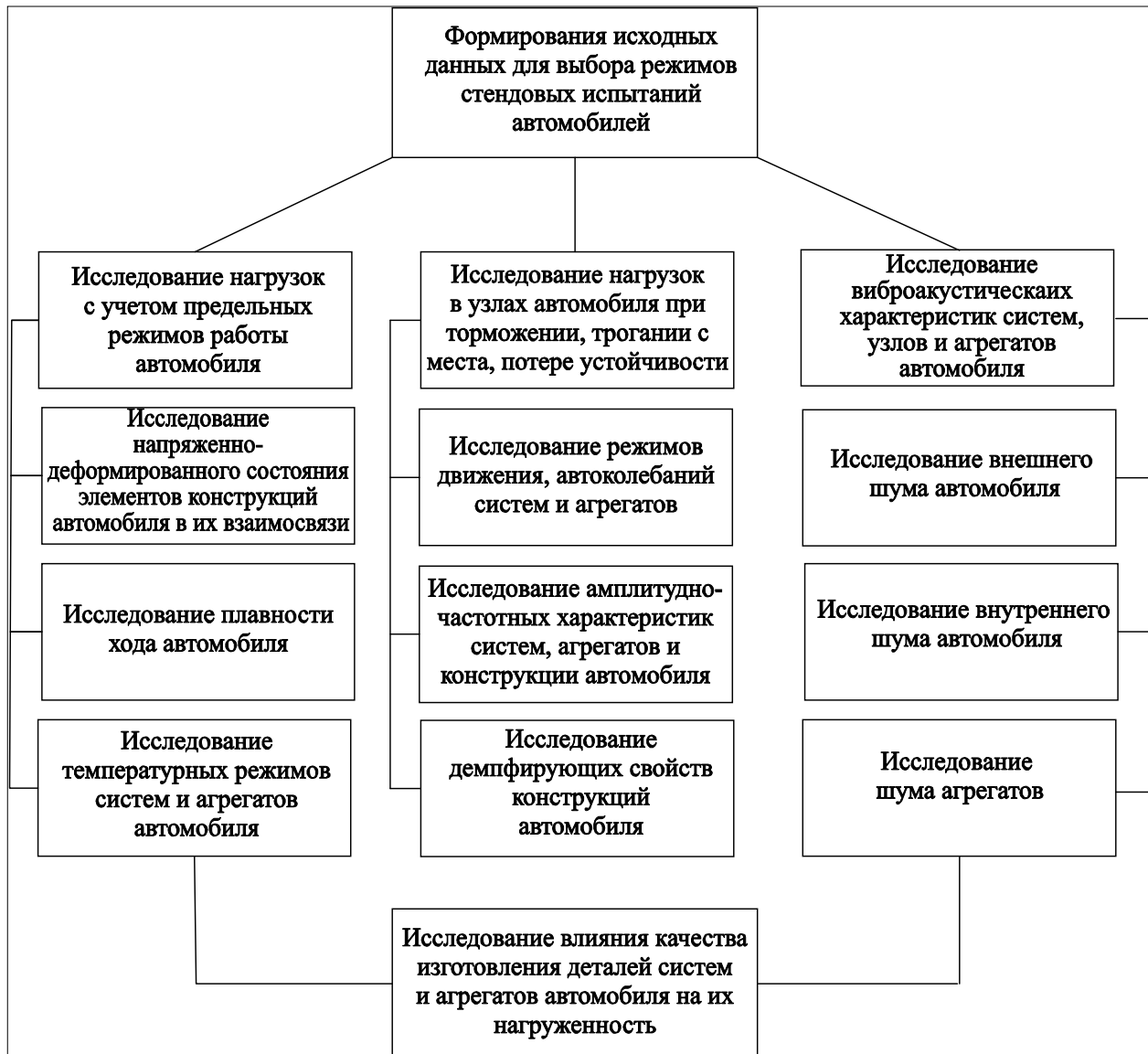
На специальных стендах анализируют также интенсивность изнашивания и износ трущихся деталей. Например, износостойкость фрикционных накладок тормозных колодок или накладок дисков сцепления определяют на соответствующих стендах при испытании агрегатов на долговечность. Эти детали могут быть испытаны на износостойкость на специальных стендах и отдельно, вне агрегатов, составными частями которых они являются.

### **10.1. Режимы стендовых испытаний**

*Режим испытаний* – совокупность различных внешних факторов, воздействующих на испытуемый объект (автомобиль, узел, деталь), соответствующая условиям функционирования объекта при его эксплуатации. Режимы испытаний определяют уровень, частоту, продолжительность воздействий.

Методы проведения стендовых испытаний характеризуют способами определения значений исследуемых факторов. Методы и режимы испытаний взаимосвязаны. Результаты испытаний и их достоверность непосредственно зависят от принятых методов, составной частью которых являются режимы испытаний.

Принцип формирования исходных данных для выбора режимов стендовых испытаний автомобилей, его деталей и агрегатов отражен на рис. 10.3.



*Рис. 10.3. Исходные данные для формирования режимов стендовых испытаний*

Режим стендовых (в частности, ресурсных) испытаний в большинстве случаев отличается от режима эксплуатации объекта, но они являются взаимосвязанными. Их связь определяется воспроизведением при испытаниях таких же процессов разрушения, как и в условиях эксплуатации объекта.

При выборе режима стендового испытания возможны следующие варианты:

а) при испытаниях воспроизводят режим эксплуатации объекта без каких-либо или существенных изменений;

б) воспроизводят частный эксплуатационный режим с увеличенной частотой воздействий;

в) при испытаниях обеспечивают режим, исключая воздействия, практически не влияющие на изделие;

г) реализуют комбинированный режим испытаний, сочетающий режимы нескольких предыдущих вариантов;

д) испытания проводят при условном режиме, отличающемся от режима эксплуатации, но эквивалентном или не эквивалентном ему по разрушающему воздействию на объект.

Вариант «а» приемлем для специализированных автомобилей с малой годовой наработкой (например, автомобилей с крановыми или буровыми установками). В этом случае нет необходимости в разработке специального режима ускоренных испытаний, достаточно воспроизвести реальный эксплуатационный режим нагружения объекта. Преимущество таких испытаний заключается в том, что их результаты непосредственно характеризуют эксплуатационную надежность изделия.

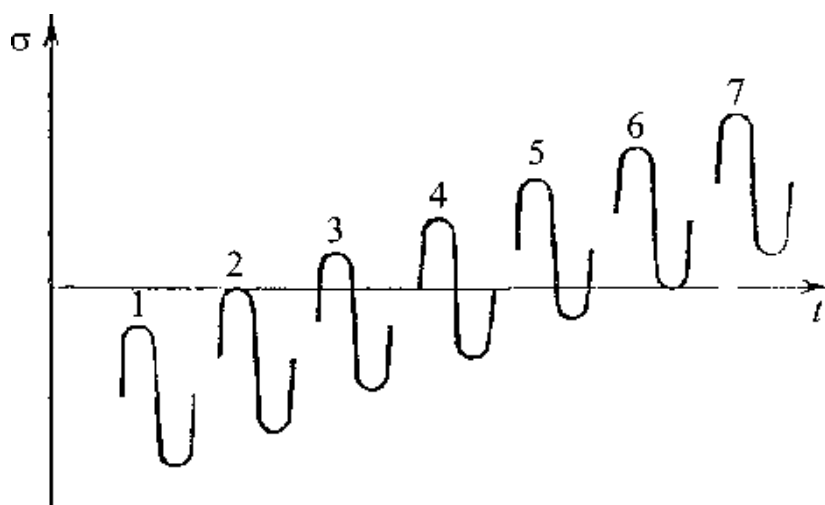
Вариант «а» используют и при ускоренных стендовых испытаниях объектов без интенсификации процессов, вызывающих их отказы или повреждения. Ускорение испытаний в данном случае достигается за счет сокращения перерывов в работе узла или детали.

По варианту «б» режим испытаний отличается от режима эксплуатации объекта значительным увеличением частоты воздействий – обычных или оказывающих наибольшее повреждающее воздействие. Его используют в случаях, когда из спектра переменных эксплуатационных нагрузок, разнообразных по характеру и изменяющихся по времени, представляется возможным выделить типичный цикл, даже маловероятный в условиях эксплуатации, но оказывающий значительное разрушающее действие на изделие. Этот цикл воспроизводят с увеличенной частотой.

Разновидности циклов напряжений приведены на рис. 10.4.

В варианте «в» из спектра эксплуатационных нагрузок, являющегося исходным для выбора режима испытаний,

предварительно исключают нагрузки, оказывающие ограниченное повреждающее воздействие на объект.



*Рис. 10. 4. Циклы напряжений:*

*1–3, 5–7 – асимметричные; 4 – симметричные;  
3–5 – знакопеременные; 1,2,6,7 – знакопостоянные*

Вариант «г» позволяет в одном комплексе испытаний (по специальным программам) воспроизводить широкий диапазон условий использования изделия. Программа стендовых испытаний может включать блок, отражающий на магнитной ленте или другом носителе реальные режимы эксплуатации автомобиля: на подъемах и спусках, остановках и трогании с места, при изменении направления движения, переключении передач, разгонах и торможениях, движении по дорогам с различным микропрофилем и в разных климатических условиях. Программу-блок можно реализовать любое число раз, пока на стенде не будет воспроизведен заданный пробег автомобиля.

Положительная особенность вариантов «б» – «г» заключается в том, что при обоснованном выборе режима коэффициент ускорения испытаний может быть с приемлемой точностью определен расчетом, а по результатам ускоренных стендовых испытаний сравнительно легко оценен эксплуатационный ресурс изделия. В частности, в испытаниях на усталость при повышении частоты циклов нагружений результаты стендовых испытаний объекта практически совпадают с результатами эксплуатационных испытаний, если

температура испытуемой детали не превышает 50°C. Если же температура деталей или узлов в условиях их эксплуатации превышает 50°C, в стендовых испытаниях необходимо обеспечивать эксплуатационный температурный режим.

Вариант «д» включает многочисленные условные и схематизированные режимы испытаний. Весьма распространено, например, программирование режима, при котором выбранная часть спектра эксплуатационных нагрузок воспроизводится в виде циклов с рядом ступеней нагружения, отличающихся от спектра эксплуатационных нагрузок, но эквивалентных последним по разрушающему воздействию на объект. В другом случае совокупность эксплуатационных воздействий разлагают на элементы, которые воспроизводят отдельно. Например, при разработке режимов испытаний шестеренных насосов гидравлической системы рулевого управления автомобиля преследуют следующие цели: проверить работоспособность подшипников при большой нагрузке и плохой смазке (в режиме максимального давления рабочей жидкости и низкой частоты вращения вала насоса); оценить сопротивление усталости элементов конструкции (при циклическом воздействии максимального давления рабочей жидкости и наибольшей частоте вращения вала и насоса); проверить работоспособность зубчатых колес (при максимальной частоте вращения вала насоса и максимальном давлении рабочей жидкости); выявить явление кавитации рабочей жидкости, оценить качество уплотнений (как правило, при высокой частоте вращения вала насоса и низком давлении рабочей жидкости).

В варианте «д» испытания изделия также создают условия более тяжелые, чем в любых (даже неблагоприятных) условиях эксплуатации. Один из способов задания таких условий при программных испытаниях заключается в умножении амплитуды нагрузки на каждой последующей ступени на некоторый постоянный коэффициент (коэффициент форсирования испытаний). Другой способ связан с воспроизведением при испытании режимов, близких к предельным, маловероятным в реальности. Эти способы обеспечивают значительное ускорение стендовых испытаний по сравнению с эксплуатационными. При

этом неизменным условием, обеспечивающим достоверность результатов таких испытаний, является идентичность мест и характера разрушения конструкции в условиях эксплуатации и на стенде.

Режим испытаний «д» эффективен для выявления относительно слабых элементов изделия, быстрого сравнения различных вариантов его конструкции, определения запасов прочности.

При проведении стендовых испытаний узлов и деталей автомобиля часто возникает необходимость решения типовых задач: снятия статических и динамических характеристик, определения коэффициента полезного действия механизмов, оценки их ресурса, сравнительных испытаний, определения физико-механических свойств материалов и т.д.

Существующие методы типизации режимов испытаний включают следующие этапы:

- выявление структуры режима нагружения, т. е. его оценка по виду нагрузок (сосредоточенные, распределенные), по характеру процессов нагружения (импульсные, ступенчатые, непрерывные, комбинированные) и их виду (случайные, регулярные и детерминированные);

- выявление характеристик режима нагружения по характеру изменения (стационарный процесс и нестационарный процесс) и по сопоставимости значений статистических параметров (эргодические и неэргодические случайные процессы);

- выбор метода типизации, проводимой в зависимости от полноты информации о режимах нагружения. При известных вероятностных характеристиках режима нагружения следует применять вероятностный метод типизации, а при неизвестных или частично известных вероятностных характеристиках режима нагружения – статистический или вероятностно-статистический. Если известны закономерности процесса нагружения и их можно описать функциональными зависимостями, используют детерминированный метод типизации режимов испытаний;



– выбор математической модели нагружения в зависимости от классификационных признаков режимов и выбранного метода типизации.

В процессе проведения стендовых испытаний инженер-исследователь должен дать сравнительную оценку режимов нагружения по разрушающему воздействию на объект. Моделирование реального (эксплуатационного) нагружения элементов конструкций при стендовых ресурсных испытаниях возможно при схематизации случайных процессов нагружения. Схематизированные случайные процессы нагружения элементов автомобилей используют для расчетной оценки этих элементов по критерию накопления усталостных повреждений, выявления наиболее нагруженных однотипных элементов и оценки эксплуатационных режимов по их разрушающему воздействию.

## **10.2. Стенды для испытаний агрегатов трансмиссий**

Кинематическая схема стенда для испытаний на долговечность ведущих мостов автомобилей показана на рис. 10.5.

Стенд состоит из следующих основных узлов: привода, включающего электродвигатель 18, муфту 7 и коробку передач 16; главного редуктора 13, предназначенного для передачи крутящего момента от коробки передач на входные фланцы испытуемого 6 и замыкающего 7 ведущих мостов автомобиля; датчиков крутящего момента 12 и 4 соответственно на входе и выходе ведущего моста; боковых редукторов 2 с тремя вертикально расположенными шевронными шестернями; нагружателя планетарного типа 15; трех установок охлаждения масла 8, включающих электродвигатель, насос НШ-10Е, фильтр, сетчатый охладитель и соединительные трубопроводы 1; пульта управления и шкафа с электрооборудованием (на схеме не показаны).

Работа стенда осуществляется следующим образом. При включенном электродвигателе 18 через муфту 17, коробку передач 16, главный редуктор 13, датчик крутящего момента 12, замыкающий ведущий мост 7, боковые редукторы 2, зубчатые

муфты 3, датчик крутящего момента 4 и соединительные и приводные карданные валы 5, 9, 10, 14 крутящий момент передается на испытуемый ведущий мост 6. Предварительно его нагружают требуемым крутящим моментом, передающимся от нагружателя 15 через главный редуктор 13 и карданный вал 11. Нагружатель представляет собой двухрядный планетарный редуктор. Нагружение моста может производиться как при неподвижном, так и при вращающемся контуре.

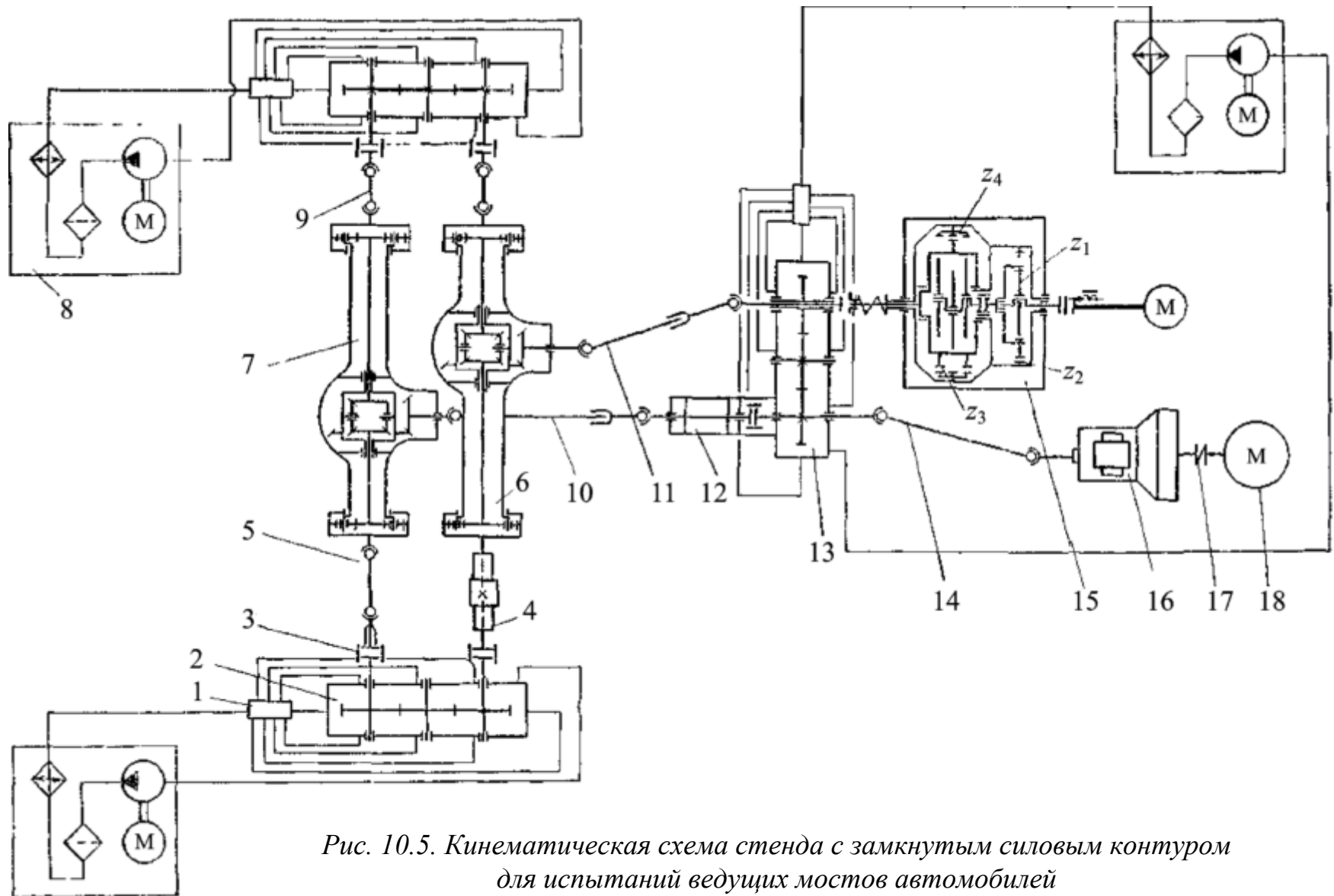
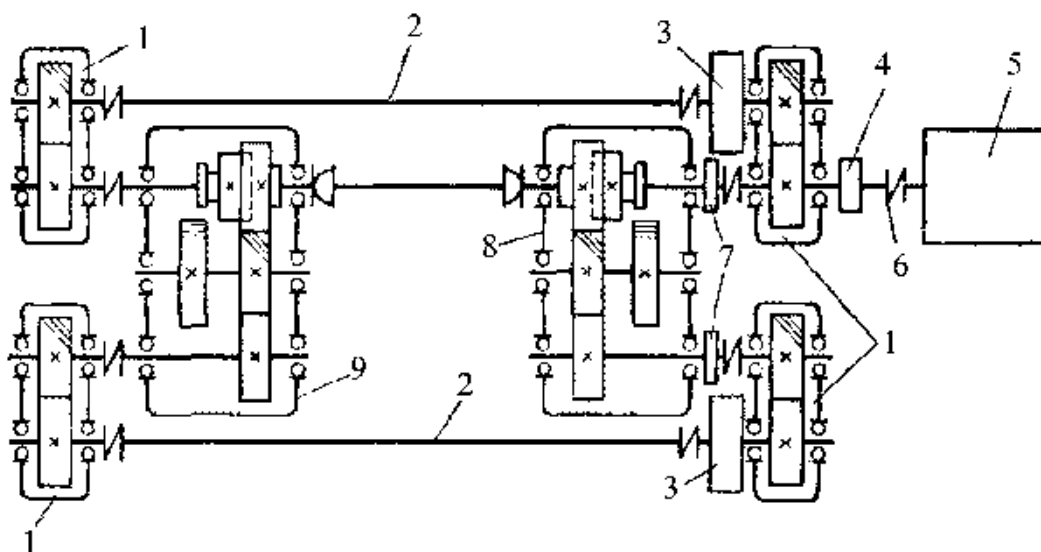


Рис. 10.5. Кинематическая схема стенда с замкнутым силовым контуром для испытаний ведущих мостов автомобилей

От вала электродвигателя через электромагнитную муфту вращение передается эксцентриковому валу (водилу) первого планетарного ряда, на котором находится шестерня  $Z_1$  (сателлит), входящая в зацепление с зубчатым венцом  $Z_2$  (короной). Вращательное движение передается от сателлита водилу второго планетарного ряда, на котором находятся три сателлита  $Z_3$ , соединенные с короной  $Z_4$ . Планетарный редуктор нагружателя обеспечивает большое передаточное число (порядка 10000), поэтому создается эффект самоторможения при выключении электродвигателя нагружателя, и нагрузка в контуре сохраняется.

На рис. 10.6. приведена принципиальная схема стенда с замкнутым контуром для испытания раздаточных коробок. Испытываемая раздаточная коробка 8 соединена карданными валами с технологической раздаточной коробкой 9. Система приводится во вращение электродвигателем 5 через муфту 6. Два замкнутых контура системы, наличие которых необходимо для испытания всех шестерен валов и подшипников раздаточной коробки, создаются редукторами 1 и валами 2. Нагружающие устройства 3 выполнены в виде вращающихся цилиндров. Для контроля заданной программы испытаний раздаточной коробки в системе предусмотрены преобразователи частоты вращения 4 и крутящих моментов 7.

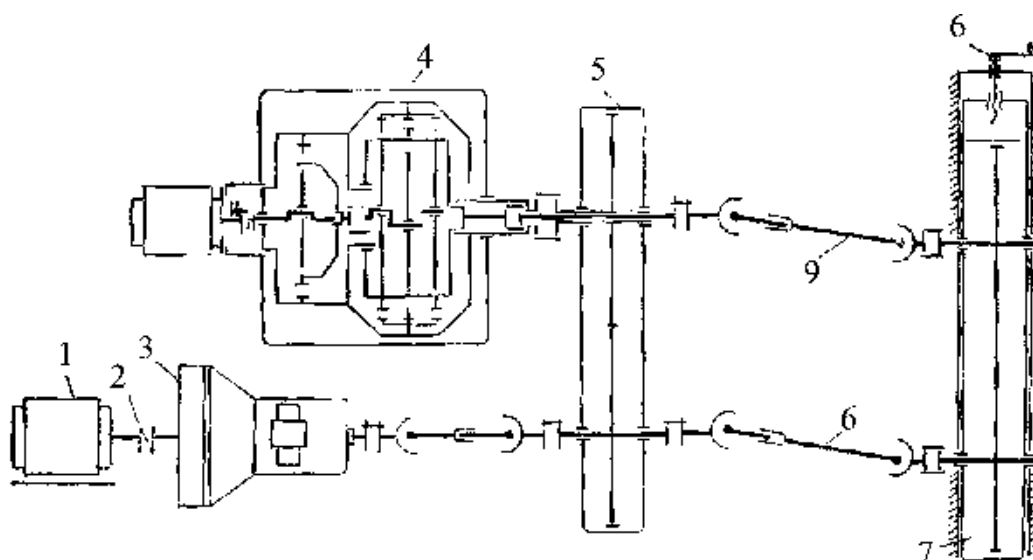


*Рис. 10.6. Кинематическая схема стенда с замкнутым силовым контуром для испытания раздаточных коробок автомобилей*

На стенде для испытаний на усталость карданных валов (рис. 10.7) один из образующих (замкнутый силовой контур редукторов 7) может перемещаться в горизонтальной плоскости при помощи винтовой пары 6. Это позволяет изменять углы установки карданных валов для исследования их влияния на долговечность карданной передачи.

Ускоренные испытания уплотнений подшипников шарниров карданных передач проводятся на стендах с замкнутым контуром или прямым нагружением (рис. 10.8). Особенностью такого стенда является наличие пылевой камеры. На испытуемом карданном валу закрепляют крыльчатку, которая при его вращении перемещает песок и создает определенную степень запыленности атмосферы в ванне. С помощью гидротормоза карданный вал нагружают требуемым крутящим моментом. Частоту вращения вала измеряют тахометром с приводом от коробки передач стенда.

Для регистрации момента разрушения шарниров (после попадания пыли в подшипники) имеется автоматическое устройство, выключающее электродвигатель при повышении температуры внутри ванны до 50 °С.



*Рис. 10.7. Кинематическая схема стенда для испытаний на усталость карданных валов: 1 – электродвигатель;*

2 – муфта; 3 – редуктор (коробка передач); 4 – нагрузитель;  
5, 7 – редукторы, 6 – винтовая пара; 8, 9 – испытуемые карданные валы

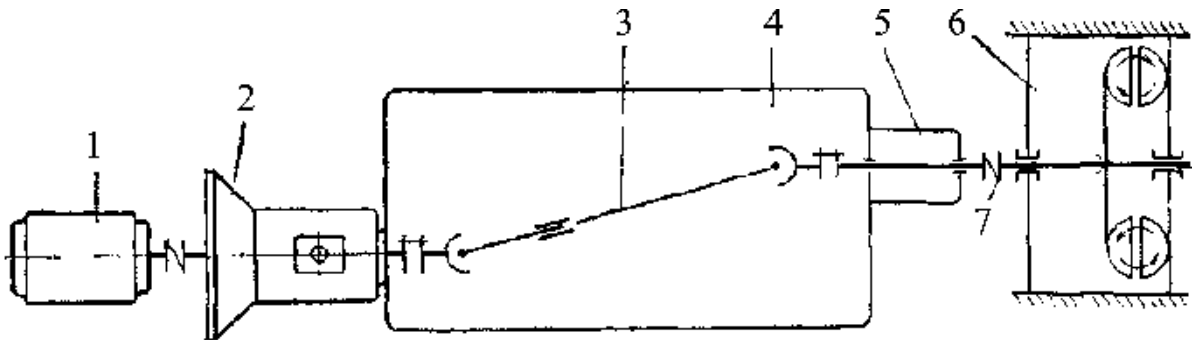


Рис. 10.8. Кинематическая схема стенда

для испытаний уплотнений подшипников шарниров карданных валов:  
1 – электродвигатель; 2 – редуктор (коробка передач); 3 – испытуемый карданный вал; 4 – пылевая камера; 5 – опора карданного вала; 6 – гидравлический нагрузитель; 7 – муфта

На рис. 10.9 представлена кинематическая схема стенда для испытаний шлицевых соединений карданных передач. Электродвигатель 1 вращает через муфту 2 редуктор (коробка передач) 3, соединенный через промежуточный карданный вал 4 с коническим редуктором 5, который вращает испытуемый карданный вал 6, маховик 7 и кривошип 10, соединенный с нагружающим пневмоцилиндром 9. Планшайба 11 создает возвратно-поступательное движение шлицевого соединения. Кривошип 10 смонтирован на плите 8.

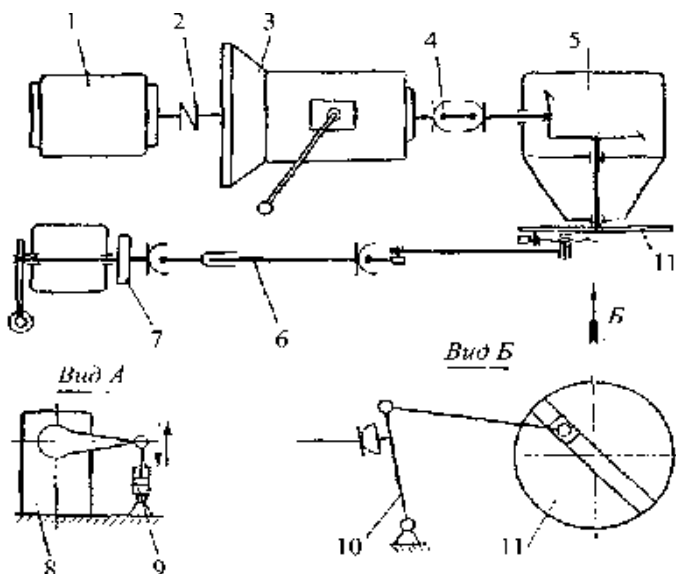


Рис.10.9.Схема стенда для испытаний шлицевых соединений карданных передач

### 10.3. Испытания сцеплений

При дорожных и стендовых испытаниях исследуют как все сцепление, так и отдельные его детали: измеряют момент трения сцепления, коэффициент надежности при повышенных частотах вращения, балансировку сцепления, термостойкость фрикционных накладок, а также определяют характеристики демпфера крутильных колебаний, механизма выключения сцепления, нажимных пружин и фрикционных материалов. Кроме того, в тех случаях, когда сцепление работает при напряженном тепловом режиме, проводят исследование вентиляции картера сцепления.

При определении долговечности сцепления устанавливают износостойкость фрикционных накладок и долговечности нажимных пружин, деталей механизма выключения сцепления, демпфера крутильных колебаний и ведомого диска сцепления и картера сцепления.

Перед испытаниями проверяют соответствие испытываемого сцепления техническим условиям. При новом ведомом диске сцепления проводят его приработку следующим образом. На стенде, включая 50–100 раз сцепление, обеспечивают при каждом включении работу буксования, соответствующую троганию автомобиля с места в тяжелых дорожных условиях. При дорожных испытаниях осуществляют пробег определенной длины (100–200 км) при регламентированном режиме движения (2–3 включения сцепления на километр пробега, включая трогание с места). После приработки поверхность прилегания ведомого диска сцепления должна составлять не менее 80%.

Контролируют фрикционные свойства материала накладок ведомого диска двумя способами: определением момента трения сцепления в сборе и коэффициента трения материала накладки. Момент трения в сцеплении находят при испытаниях на стенде, принципиальная схема которого приведена на рис. 10.10,а. Сцепление 1 закрепляют на маховике 2, который удерживается от проворачивания рычагом 4, опирающимся на динамометр 3.

Ведомый диск сцепления 5 валиком 6 соединен с редуктором 7 и электродвигателем 8, который проворачивает ведомый диск относительно маховика 2. При испытаниях измеряют момент трения (динамометром 3), угловую скорость вращения ведомого диска и температуру фрикционных накладок.

Испытания проводят в следующей последовательности: 1) определяют момент трения у неприработанного сцепления при малых относительных угловых скоростях вращения маховика и ведомого диска сцепления (0,1–0,16 рад/с); 2) осуществляют приработку сцепления в течение 1–3 мин с перерывами для охлаждения на 30 с при разности угловых скоростей вращения маховика и ведомого диска 94–105 рад/с; 3) определяют момент трения сцепления при разной скорости скольжения; 4) устанавливают зависимость момента трения сцепления от скорости скольжения и температурного состояния сцепления.

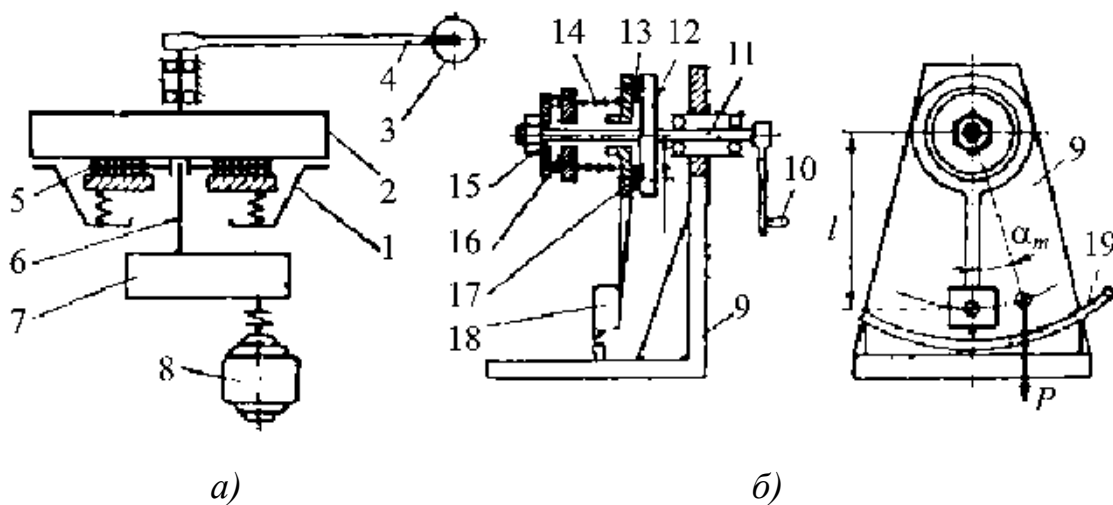


Рис. 10.10. Схемы стендов для определения фрикционных свойств материала сцепления: а – по моменту трения в сцеплении; б – по коэффициенту трения

Коэффициент трения материала накладок сцепления определяют при испытаниях на стенде. При этом измеряют момент трения и осевое усилие, прижимающее к шлифованной торцовой поверхности маховика образцы фрикционных накладок установленного размера или фрикционную накладку. Для этого используют различные стенды, например стенд с



маятником, обеспечивающий высокую точность измерения коэффициента трения при относительной простоте конструкции.

Принципиальная схема такого стенда показана на рис. 10.10,б. В опоре 9 на шарикоподшипниках свободно вращается вал 11 с рукояткой 10. Кольцо 17, жестко прикрепленное к маятнику 18, прижимается к жестко связанному с валом 11 маховику 12 гайкой 15 через пружинный динамометр 14 и упорный шариковый подшипник 16. Между кольцом 17 и маховиком 12 устанавливают или испытываемые образцы фрикционных накладок 13 или фрикционное кольцо ведомого диска. Повернув предварительно рукоятку 10 на два оборота для приработки поверхности образца, медленно поворачивают ее со скоростью  $2^\circ$  в секунду до начала движения маятника. Угол отклонения маятника в этот момент измеряют по градуированной шкале 19. Коэффициент трения определяют по формуле:

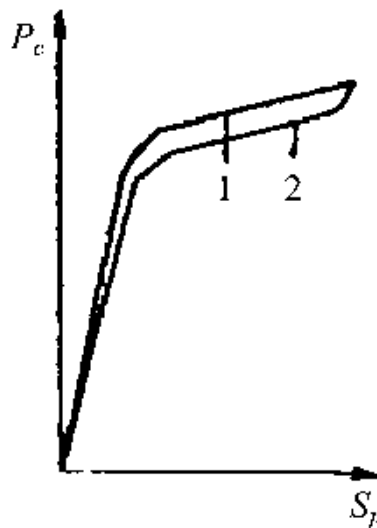
$$\mu_{\text{тр}} = \frac{q_m \cdot L}{Q r_{\text{об}}} \sin \alpha_m,$$

где  $q_m$  – вес маятника;  $L$  – длина маятника;  $Q$  – усилие пружины 14;  $r_{\text{об}}$  – средний радиус образца;  $\alpha_m$  – угол поворота маятника.

Этот стенд обычно выполняют переносным (с длиной рычага маятника примерно 200 мм), что позволяет, помещая его в термостат, измерять коэффициент трения нагретых до  $200^\circ\text{C}$  образцов фрикционных накладок.

При определении характеристики нажимного механизма сцепления устанавливают зависимость усилия, действующего на рычаги от их перемещения. Усилие, создаваемое механическим или гидравлическим устройством, можно измерять динамометром. Перемещение рычагов определяют по индикатору. Примерная характеристика нажимного устройства приведена на рис. 10.11. По оси абсцисс отложена величина хода выжимных рычагов  $S_p$ , по оси ординат – сила выключения сцепления  $P_c$ . Цифрами 1 и 2 обозначены соответственно ход нагрузки и разгрузки.

Характеристика демпфера (гасителя) крутильных колебаний может быть определена на стенде, на котором измеряют крутящий момент на ступице ведомого диска сцепления и угол поворота ступицы относительно самого диска. В зависимости от нагружения различают статическую и динамическую характеристику демпфера крутильных колебаний. Режим динамического нагружения (частоты и амплитуды нагрузки) должен соответствовать резонансному режиму работы трансмиссии автомобиля (обычно трехузловой формы колебаний).



*Рис. 10.11. Характеристика нажимного устройства ведомого диска сцепления*

Для определения динамической характеристики демпфера крутильных колебаний используют стенд, схема которого приведена на рис. 10.12. К валу ведомого диска сцепления, установленного на неподвижном маховике, прикреплен рычаг 1, который через ролик 2 на конце эксцентриком 3 приводится в колебательное движение с установленной частотой. Измеряя крутящий момент на валике ведомого диска и угол поворота рычага 1, получают динамическую характеристику демпфера крутильных колебаний. При этом крутящие моменты нужно измерять при режимах нагрузки и разгрузки для определения момента трения в демпфере. При снятии характеристики

демпфера крутильных колебаний находят следующие моменты: преднатяга  $M_T$ , замыкания демпфера  $M_3$ , трения демпфера  $M_{тр}$  (как площадь графика), а также максимальный угол  $\alpha_{max}$  деформации демпфера. Статическая характеристика демпфера крутильных колебаний приведена на рис. 10.13.

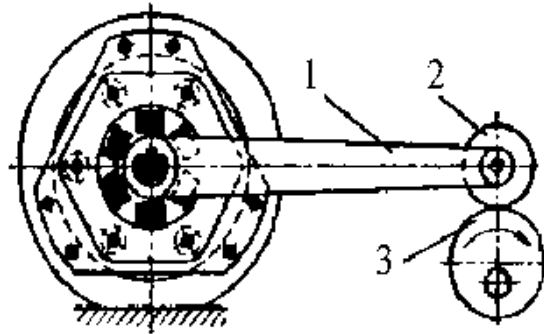


Рис. 10.12. Схема стэнда для определения динамической характеристики демпфера крутильных колебаний

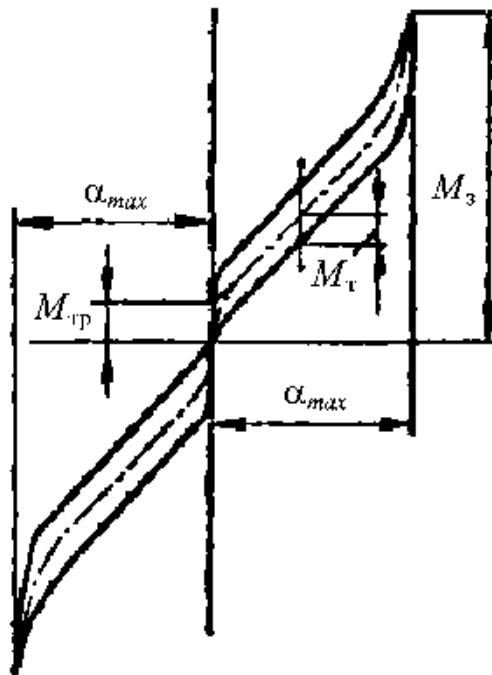


Рис. 10.13. Статическая характеристика демпфера крутильных колебаний

Характеристику нажимных пружин сцепления определяют на универсальных прессах, используя в некоторых случаях, например при испытании диафрагменных пружин, специальные приспособления.

В случае необходимости определяют специальные характеристики фрикционных накладок – термостойкость, намокаемость в воде и масле, износостойкость и т.д. Для определения термостойкости фрикционных накладок сцеплений образец накладки с поверхностью 10–20 см<sup>2</sup> помещают на три часа в сушильный шкаф с постоянной температурой, поддерживаемой в пределах 275–280°С. При этом материал накладки не должен размягчаться или обугливаться. После охлаждения определяют твердость накладок и коэффициент трения, которые должны соответствовать величинам, приведенным в технических условиях.

Важной характеристикой сцепления является его динамическая сбалансированность в сборе с маховиком и коленчатым валом.

Долговечность сцепления и отдельных его деталей экспериментально определяют на стендах во время испытаний, проводимых в дорожных условиях, а также по анализу эксплуатационных данных. Форсированные дорожные испытания на долговечность фрикционных накладок, деталей, которые лимитируют долговечность сцепления, проводят при регламентированном режиме движения автомобиля.

Каждый цикл испытания состоит из нескольких троганий с места при повышенных частотах вращения двигателя на крутом подъеме (например, равном 2/3 максимального, преодолеваемого автомобилем на данной передаче) и пробега по определенному маршруту с целью охлаждения сцепления. Для любого конкретного автомобиля устанавливают число троганий с места при заданных условиях и частотах вращения двигателя, крутизну подъема и величины пробегов. После испытаний оценивают величину износа накладок и техническое состояние сцепления. Вследствие форсированности режима число включений сцепления невелико, поэтому нельзя одновременно судить об усталостной долговечности всех деталей механизма выключения сцепления.

В зависимости от конструкции стенда программу испытаний составляют или для каждого вида испытаний отдельно, или для некоторых видов сразу. Все программы должны быть построены на основании экспериментального изучения работы сцепления в

эксплуатационных условиях. Характер поломок и износа деталей при испытании на стенде и в эксплуатационных условиях должен быть идентичен. Программы должны быть составлены так, чтобы можно было установить соответствие долговечности, полученных на стенде и в условиях эксплуатации.

Схема стенда для испытания фрикционных накладок сцепления на долговечность приведена на рис. 10.14. Принцип работы этого стенда заключается в следующем. Электродвигатель 1 разгоняет маховик 5 при выключенном сцеплении 4 до угловой скорости  $\omega_1$ , затем силовой цилиндр 2 разъединяет муфтой 6 электродвигатель 1 и маховик 5, одновременно выключая электродвигатель, а силовой цилиндр 3, включая сцепление 4, тормозит движение маховика 5 до угловой скорости  $\omega_2$ . После этого сцепление выключается, а силовой цилиндр 2 включает муфту 6 и электродвигатель 1, и цикл повторяется. Подбором угловых скоростей  $\omega_1$  и  $\omega_2$  можно имитировать работу буксования сцеплений при трогании автомобиля.

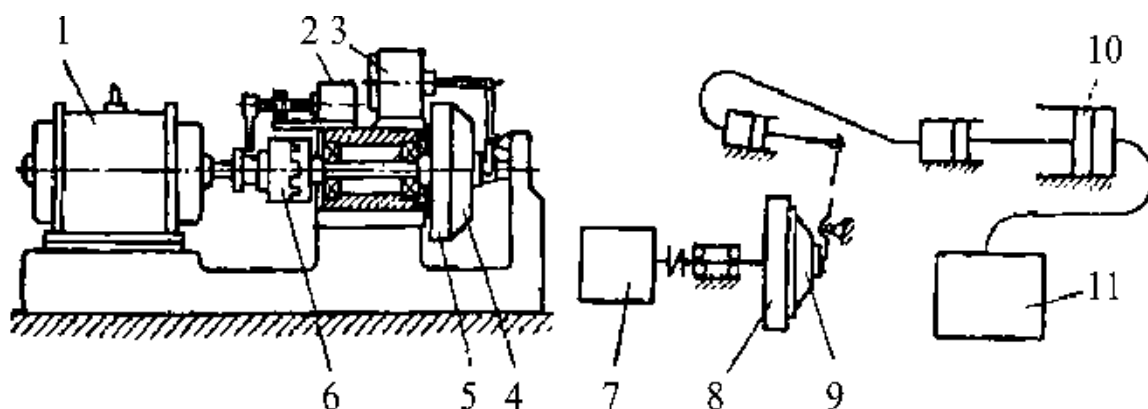


Рис. 10.14. Схемы стендов для испытаний на долговечность фрикционных накладок сцепления и деталей привода сцепления

Детали механизма включения сцепления на долговечность можно испытать на стенде, схема которого приведена на рис. 10.14. Испытываемое сцепление 9, установленное на маховике 8, приводится во вращение электродвигателем 7, частоту вращения которого регулируют в определенном

диапазоне. Выключают и включают сцепление с помощью пневмо- или гидроцилиндра 10. Частоту вращения двигателя, число циклов выключения и включения сцепления, время, необходимое на охлаждение сцепления, регламентируют при составлении программы испытаний. Механизм выключения сцепления должен выдержать установленное число циклов работы без повреждений, препятствующих нормальной работе сцепления. Обычно установленное число циклов составляет (5–10)·10<sup>5</sup>. Стенд имеет блок управления 11. Детали сцепления испытывают также на стендах более простой конструкции. Нажимные пружины сцепления на усталостную прочность проверяют на универсальных прессах. Режим нагружения должен соответствовать режиму нагружения пружины при нормальном выключении сцепления.

Для большей безопасности работы автомобиля проверять сцепление на прочность необходимо при повышенной частоте вращения коленчатого вала двигателя. Испытания проводят на разгонном стенде с плавно нарастающей угловой скоростью вращения до разрушения сцепления или до угловой скорости, которая выдерживается в течение 15 мин, вдвое превышающей максимальную угловую скорость вращения коленчатого вала двигателя. В последнем случае проверяют только отсутствие каких-либо повреждений сцепления. При этих испытаниях сцепления особое внимание должно быть уделено технике безопасности.

Для определения долговечности работы гасителя крутильных колебаний и ведомого диска сцепления используют стенд, схема которого была приведена на рис. 10.12. При вращении эксцентрика 3 через ролик 2 и рычаг 1 гаситель крутильных колебаний и ведомый диск сцепления, прижатый к маховику, нагружают циклическим крутящим моментом. Среднее значение и амплитуды крутящего момента устанавливают экспериментальным исследованием действительного нагрузочного режима гасителя крутильных колебаний.

#### 10.4. Испытания механических коробок передач

При испытании коробки передач в лабораторных и дорожных условиях определяют ее основные характеристики, статическую прочность и долговечность, а также изучают различные процессы ее работы. Методы стендовых контрольных и приемочных испытаний коробок передач регламентированы отраслевым стандартом. Применяют стенды как замкнутого, так и разомкнутого типов.

Во время испытаний устанавливают величину и положение масляного пятна контакта зубьев шестерен всех передач под нагрузкой, температурную характеристику, общий уровень вибраций и шума, жесткость конструкции, качество работы синхронизаторов и механизма управления коробкой передач и КПД коробки передач.

Вязкость масла, заливаемого в картер коробки передач, а следовательно, и его смазывающие свойства зависят от температурного состояния коробки передач. Во время дорожных испытаний, особенно при движении по горным или грунтовым дорогам летом, температуру масла измеряют регулярно. Оценивают температурное состояние коробки передач по максимальной и средней температуре масла за пробег.

На стенде температурное состояние коробки передач устанавливают или по времени ее непрерывной работы в постоянном режиме, при котором температура масла повышается от 40 до 120°C, или по величине и интенсивности повышения температуры масла в течение заданного срока от 40°C (при температуре окружающего воздуха 15–20°C и отсутствии искусственного охлаждения). Постоянный режим работы коробки передач в обоих случаях соответствует режиму максимальной мощности двигателя.

Температурную характеристику коробки передач определяют на стенде разомкнутого типа, схема которого приведена на рис. 10.15,а. Стенд имеет балансирный электродвигатель 1, вращающий первичный вал коробки передач 2, вторичный вал которой через редуктор 3 соединен с

балансирным электротормозом 4, Крутящие моменты измеряют динамометрами 5. Этот стенд используют и для определения КПД коробки передач. Измеряя крутящие моменты на первичном  $M_1$  и на вторичном  $M_2$  валу коробки передач, величину КПД определяют по формуле:

$$\eta = M_2 / M_1 i_k,$$

где  $i_k$  – передаточное отношение коробки передач.

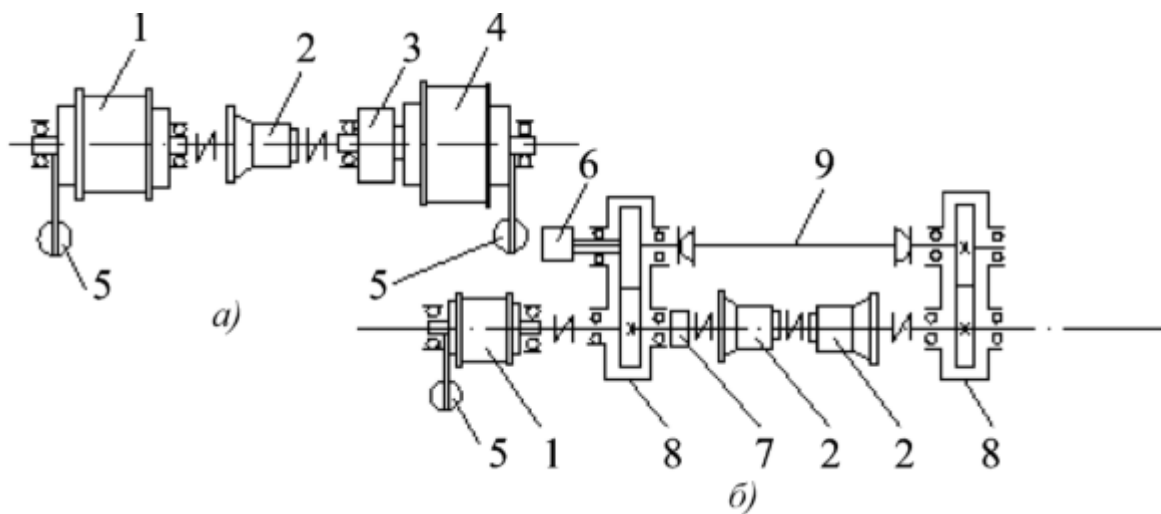


Рис. 10.15. Схемы стендов для определения КПД коробки передач:  
а – разомкнутого типа; б – замкнутого типа

В испытаниях на стенде можно получить зависимость КПД коробки передач от нагрузки, частоты вращения ее валов и температурного состояния. Однако при контрольных и приемочных испытаниях ограничиваются определением КПД на всех передачах при двух постоянных режимах с максимальным крутящим моментом и с максимальной мощностью двигателя. По отраслевому стандарту КПД коробки передач определяют на стенде замкнутого типа (рис. 10.15,б). Замкнутый контур, состоящий из двух коробок передач 2, двух редукторов 8, карданного вала 9, вращается балансирно установленным электродвигателем 1. Нагрузка в замкнутом контуре создается вращающимся гидроцилиндром 6. Крутящий момент  $M_x$  измеряется преобразователем 7, а  $M_и$ , необходимый для вращения замкнутого контура, – динамометром 5. При определении КПД коробки передач необходимо учесть трение в



редукторах 8. Для этого, установив вместо коробок передач карданный вал, определяют крутящий момент  $M_2$ , необходимый для прокручивания замкнутого контура. Предполагая, что трение в обеих коробках передач одинаковое, КПД можно определить по следующей формуле:

$$\eta_k = \sqrt{\frac{M_x - (M_1 + M_2)}{M_x}}$$

Испытания коробок передач на вибрацию и шумность производят на всех передачах на стенде разомкнутого типа с малозумным тормозом при максимальной частоте вращения без нагрузки и с полной нагрузкой. Стенд помещают в специальную изолированную от шума камеру. Уровень помех должен быть не менее чем на 7 дБ ниже уровня измеряемого шума. Вибропреобразователь крепят непосредственно к картеру коробки передач, а микрофон устанавливают на расстоянии 250 мм от стенки картера. Общий уровень шума измеряют в нескольких октавных полосах. Для выявления источников колебаний, наиболее вероятными из которых являются зубчатые колеса и подшипники, определяют спектральный состав шума и вибраций. Частоты колебаний и вибраций  $f$  (в Гц) можно рассчитать по формуле:

$$f = \frac{0,5k_g \cdot \omega_B Z_i}{\pi},$$

где  $k_g$  – номер гармоники;

$Z_i$  – число зубьев шестерни или число шариков (роликов) в подшипнике;

$\omega_B$  – угловая скорость вращения вала (рад/с), на котором находится шестерня или подшипник.

Герметичность уплотнений валов и разъемов картера при заглушённых отверстиях проверяют визуально после заливки в картер коробки передач маловязкого масла до уровня наливной пробки и подачи сжатого воздуха под давлением порядка 0,03 МПа.

Статическую прочность коробки передач определяют по нагрузкам, разрушающим наиболее слабое ее звено. При

испытании на крутильных машинах на всех передачах (включая задний ход) определяют запас прочности коробки передач, который подсчитывают как отношение разрушающего крутящего момента, приложенного к первичному валу коробки передач, к максимальному крутящему моменту двигателя автомобиля, на котором установлена коробка передач.

При испытании коробки передач определяют долговечность шестерен (на изгибную и контактную усталость, а также на абразивный износ), подшипников качения (на контактную усталость и на абразивный износ), подшипников скольжения, муфт переключения передач (синхронизаторов, торцовых поверхностей зубьев шестерен и т.д.), сальников, деталей механизма переключения передач и картера коробки передач. Для автоматической коробки передач число испытаний, естественно, больше. Некоторые виды испытаний объединяют, применяя комбинированные стенды.

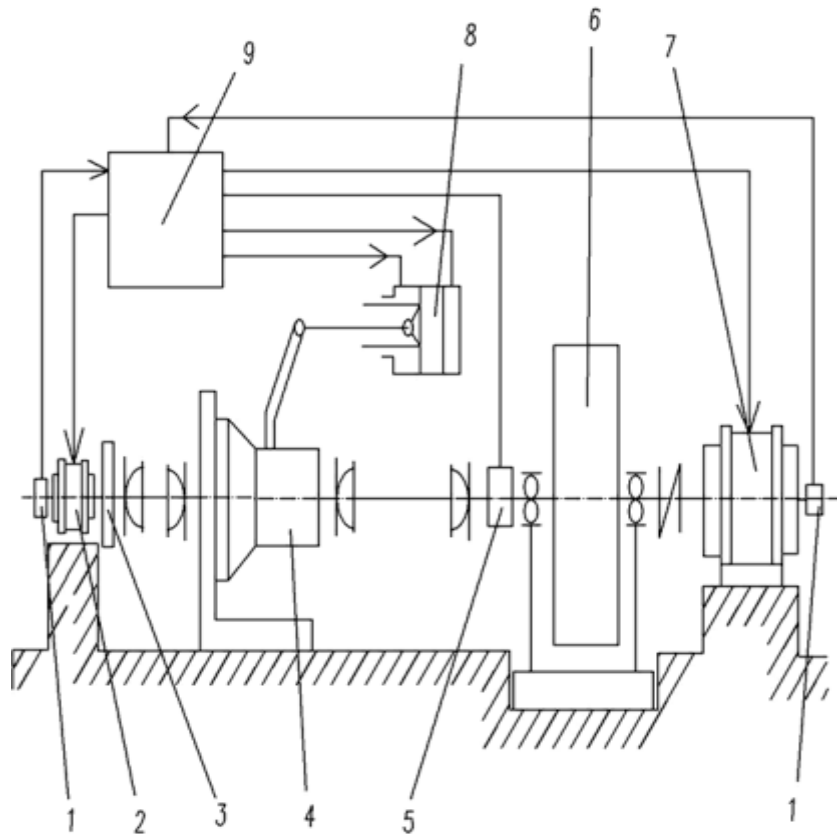
Долговечность уплотнений (сальников) определяют на прямой передаче при угловой скорости вращения первичного вала коробки передач от 105 рад/с до угловой скорости  $\omega_{с\max}$ , соответствующей режиму максимальной мощности двигателя. Длительность испытаний составляет не менее 100 ч.

Во время стендовых испытаний устанавливают влияние различных конструктивных и технологических факторов на работу синхронизаторов коробок передач. Конструкция стенда обеспечивает требуемый режим включения. При испытаниях измеряют следующие параметры: усилие, действующее на рычаге, переключения передач, время синхронизации, синхронизирующий крутящий момент, частоту вращения валов. Силу, необходимую для включения синхронизаторов, измеряют с помощью тензорезисторов, наклеиваемых на вилки переключения передач.

Работоспособность синхронизатора оценивают по усилиям, прикладываемым к рычагу для осуществления всех процессов синхронизации; по числу случаев самовыключения муфты синхронизатора и пробивания синхронизатора, т. е. его включения до полного выравнивания скоростей вращения соединяемых валов.

Форсированные ресурсные стендовые испытания дают возможность в кратчайшие сроки определить долговечность синхронизаторов. Стенд работает автоматически по программе, которую вводят с помощью перфоленты. Форсируют испытания как повышением частоты включения, так и увеличением работы буксования при каждом включении. Для составления программы и определения коэффициентов перехода проводят предварительно исследование работы синхронизаторов в типичных эксплуатационных условиях.

Принципиальная схема стенда для ресурсных испытаний синхронизаторов показана на рис. 10.16. Первичный вал испытываемой коробки передач 4 соединен с маховиком 3 и электродвигателем 2; вторичный вал – с маховиком 6 и электродвигателем 7. Включение передач осуществляют при помощи гидроцилиндра 8, на который воздействуют через блок управления 9. Цикл испытаний состоит в разгоне первичного вала до угловой скорости вращения  $\omega_1$  (при нейтральном положении рычага коробки передач), включений передачи (цилиндром 8 при полном выравнивании скоростей двух соединяемых валов) и ее выключении. Работа буксования синхронизатора зависит от моментов инерции маховика 3 и ротора электродвигателя 2, а также от соотношения частот вращения первичного и вторичного валов коробки передач. Стенд контролируется первичными преобразователями частот вращения 1, а также крутящего момента 5.



*Рис. 10.16. Схема стенда для испытаний синхронизаторов*

Для экспериментальной оценки качества работы автоматических коробок передач необходим ряд дополнительных (по сравнению с обычными механическими коробками передач) испытаний.

### **10.5. Стенды для испытания систем управления**

При изучении функциональных характеристик рулевых механизмов с гидравлическими усилителями на специальных стендах определяют следующие показатели: гидравлический люфт; внутренние утечки рабочей жидкости через распределитель; крутящий момент на входном валу рулевого механизма; упругость и механический КПД рулевого механизма.

Функциональные характеристики рулевых механизмов со встроенным гидроусилителем можно определить на стенде, схема которого приведена на рис. 10.17. На входном валу рулевого механизма *12* закрепляют динамометрическое колесо *8*

с индикаторной головкой. Вал сектора рулевого механизма соединяют с нагрузочным элементом 13 с помощью шкива 11. Нагнетательная полость распределителя рулевого механизма 7 связана с масляным насосом 1, полость слива через дроссель 15 и распределительный клапан 14 – с рабочим 18 или мерным баком. Распределительный клапан включает седла 4 или 5, образующие с корпусом три полости (среднюю и две крайние), и клапан со штоком 6, соединенным с подпружиненным рычагом, закрепленным на оси.

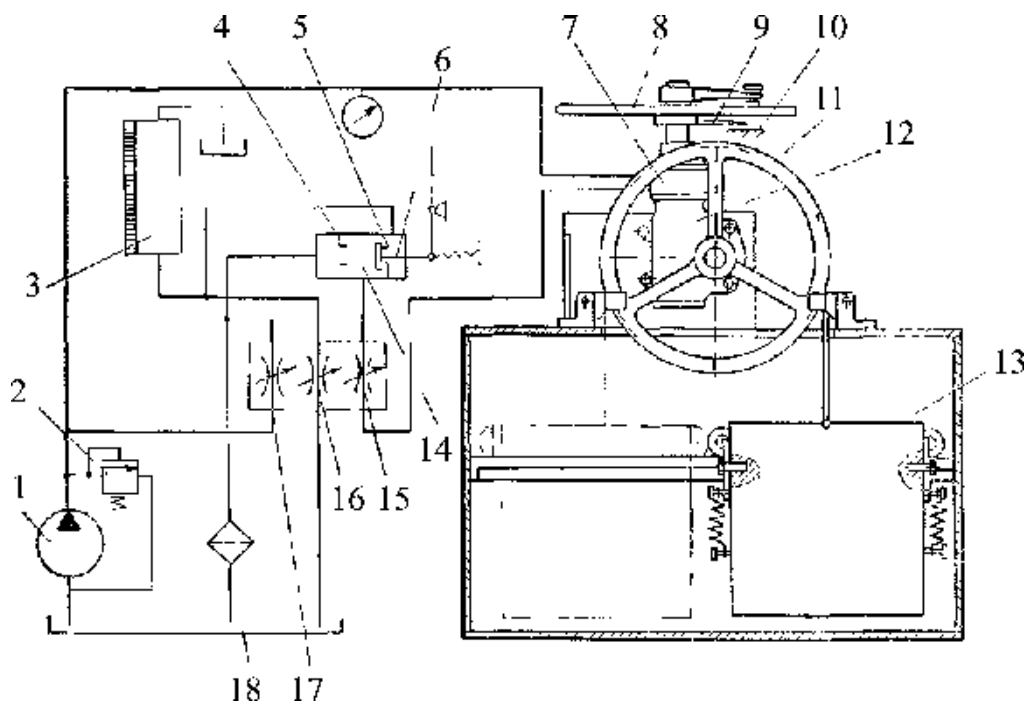


Рис. 10.17. Стенд для определения показателей функциональных свойств рулевых механизмов

Насос и мерный бак через дроссели 16 и 17 сообщаются с рабочим баком. Максимальное давление рабочей жидкости, развиваемое насосом, ограничивается с помощью предохранительного клапана 2. В сливную магистраль включен фильтр.

Давление в нагнетательной полости распределителя регистрируется манометром. Угол поворота динамометрического колеса определяется по шкале 10 с помощью указателя 9.

При определении гидравлического люфта рулевого механизма вал его сектора блокируют и включают насос (дроссель 17 закрыт, 15 и 16 – открыта). Входной вал рулевого

механизма с помощью динамометрического колеса поворачивают по часовой стрелке и в противоположном направлении на угол, при котором давление в нагнетательной полости распределителя будет на 0,1 МПа превышать давление при нейтральном положении золотника. Суммарный угол поворота входного вала и есть гидравлический люфт, который находят по шкале 10. Внутренние утечки рабочей жидкости через распределитель определяют при повороте входного вала до упора по часовой стрелке и в противоположном направлении. Вал сектора блокируют, включают насос (дроссель 16 закрыт, 15 – открыт, 17 – поддерживает необходимое давление в нагнетательной полости распределителя). С помощью распределительного клапана средняя полость разобщается с рабочим баком и соединяется с мерным баком, на который нанесена шкала для определения объема рабочей жидкости.

Крутящий момент на входном валу рулевого механизма определяют при максимальном давлении в нагнетательной полости распределителя. Поворот динамометрического колеса производят в двух противоположных направлениях. При этом вал сектора блокируют, включают насос (дроссель 17 закрыт, 15 – открыт).

Упругий механический люфт характеризуется суммарным угловым перемещением входного вала в двух противоположных направлениях до резкого возрастания крутящего момента на динамометрическом колесе. Указанный люфт оценивают при выключенном насосе и заблокированном валу сектора рулевого механизма.

Упругость рулевого механизма определяют при включенном насосе (вал сектора заблокирован, дроссель 17 закрыт, 15 – открыт) но суммарному угловому перемещению входного вала в двух противоположных направлениях, соответствующему максимальному давлению в нагнетательной полости распределителя.

Для определения механического коэффициента полезного действия рулевого механизма вал сектора освобождают от фиксаторов и нагружают необходимым крутящим моментом, что обеспечивается подъемом нагрузочного элемента. Крутящий

момент на входном валу рулевого механизма замеряют с помощью динамометрического колеса.

При испытании рулевых механизмов на надежность нагружают входной вал, а привод рулевого механизма осуществляют от вала сектора.

Принципиальная схема стенда для испытаний рулевых механизмов на надежность приведена на рис. 10.18.

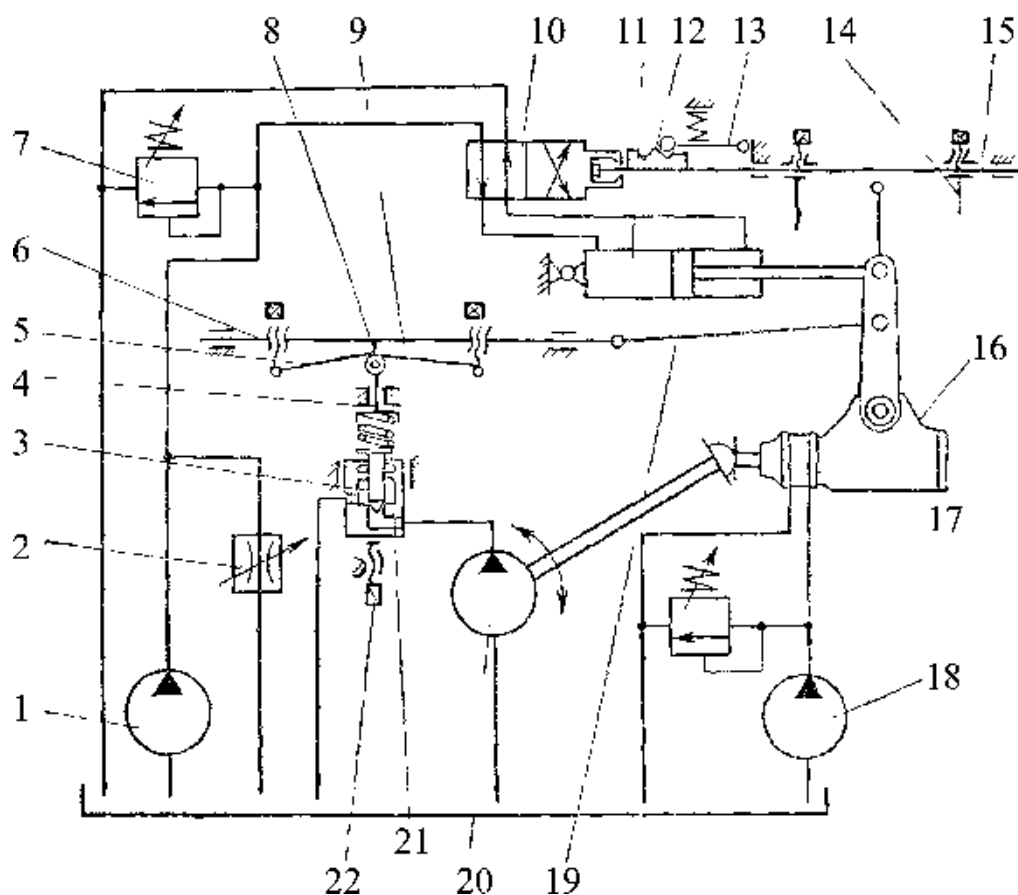


Рис. 10.18. Стенд для испытания рулевых механизмов на надежность

На основание стенда устанавливают испытуемый рулевой механизм 16, входной вал которого соединяют карданным валом с входным валом аксиального роторно-поршневого насоса 20. Нагнетательная полость насоса сообщается с нагнетательной полостью регулирующего клапана 21, корпус которого размещен в направляющей и опирается на регулировочный винт 22.

В центральном канале корпуса имеется шток 3. Конусная поверхность штока поджимается к седлу пружиной,

упирающейся в тарелку стержня 4, скользящего в направляющей. На конце этого стержня закреплен ролик 8, контактирующий с копиром – соединенными шарниром планками 5 и 9. Внутренние концы обеих планок шарнирно прикреплены к оси, свободные их концы регулировочными винтами соединены с подвижной в осевом направлении штангой 6.

Штанга шарнирной тягой 19 связана с сошкой испытуемого рулевого механизма. К сошке крепится шток приводного гидроцилиндра 11. Управляющее устройство этого гидроцилиндра включает штангу 15, на которой закреплены рейка 12 и регулируемые опоры 14 с зажимными винтами. Средний зуб рейки взаимодействует с роликом, установленным на свободном конце рычага 13. Рычаг может вращаться в неподвижной опоре и поджиматься пружиной в сторону рейки. Штанга 15 связана с двухпозиционным распределителем 10, через который рабочая полость насоса сообщается с рабочими полостями приводного гидроцилиндра. Полость слива регулирующего клапана сообщена с масляным баком.

Распределитель рулевого механизма 17 питается от насоса 18. Для исключения перегрузок гидросистемы стенда установлены предохранительные клапаны 7.

С помощью дросселя 2 регулируется скорость перемещения штока приводного гидроцилиндра. К штоку приводного гидроцилиндра жестко крепятся рычаг с роликом, которые управляют перемещением штанги 15, воздействующей на распределитель 10. Управляя положением клапана в распределителе, можно подавать жидкость под давлением в ту или иную полость приводного гидроцилиндра, регулируя при этом направление и величину хода штока, связанного с сошкой рулевого механизма.

Нагружение входного вала рулевого механизма на стенде осуществляется с помощью насоса 20. Крутящий момент на входном валу рулевого механизма регулируют за счет изменения угла наклона планок 5 и 9. Углы наклона планок можно



изменять независимо с помощью связанных с ними на внешних концах регулировочных винтов.

Когда шарнир, соединяющий планки, находится на уровне оси ролика стержня 4, крутящий момент на входном валу рулевого механизма минимален, что соответствует среднему положению управляемых колес автомобиля, а когда на уровне оси ролика стержня 4 находятся концы планок максимален.

На описанном стенде можно с большей достоверностью имитировать эксплуатационный режим работы рулевого механизма, чем на стендах, где нагружается вал сектора этого механизма. Передаваемое на сошку усилие соответствует реальному дорожному сопротивлению.

Это усилие значительно больше передаваемого на вал рулевого механизма со стороны водителя.

*Стенд для испытаний шарниров рулевых тяг* (рис. 10.19) предназначен для исследования износостойкости и оценки долговечности конструкций. Привод стенда осуществляется от электродвигателя и гидронасоса, который возбуждает гидроцилиндр 1 двухстороннего действия. Последний через шток и сошку 2 непосредственно воздействует на продольную рулевую тягу 3 и рычаг 4, который в свою очередь сообщает возвратно-поступательное движение испытываемому узлу. Необходимая частота циклов изменения давления рабочей жидкости обеспечивается с помощью стандартных гидроклапанов (на схеме не показаны). Максимальное усилие на продольной тяге – до 40 кН. Гидроцилиндры 7 через рычаги 6, 10 рулевой трапеции, установленные на опорах 5, 9, имитируют на тяге 8 сопротивление повороту колес автомобиля. Давление в контурах гидравлической системы контролируется манометрами.

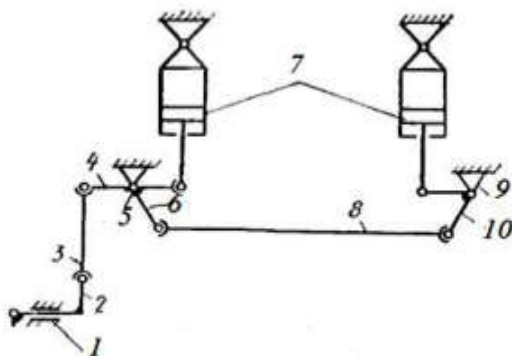


Рис. 10.19. Схема стенда для испытаний рулевых тяг

*Стенды для испытания тормозных механизмов.* Широкое распространение получили стенды с инерционными массами. Во время испытания на инерционном стенде тормозной механизм поглощает кинетическую энергию маховика, предварительно разгоняемого до определенной скорости. Таким образом, торможение происходит при изменяющейся скорости скольжения. Рассматриваемые стенды наиболее полно и точно воспроизводят действительные режимы эксплуатации и выгодны тем, что для разгона маховика можно использовать электродвигатели сравнительно небольшой мощности.

На рисунке 10.20 приведена принципиальная кинематическая схема стенда для испытаний колесных тормозов автомобилей. От электродвигателя постоянного тока 1 вращение через соединительную муфту 2 передается валу 4 с опорами 12. На валу 4 имеется набор инерционных масс 5(1)–5(8), в нерабочем состоянии они не имеют жесткой связи с валом 4 (устанавливаются на специальных кронштейнах). К концу вала 4 жестко крепят тормозной барабан испытуемого тормоза 6. Суппорт испытуемого механизма вместе с тормозными колодками монтируют на фланце вала 7 подвижного суппорта стенда, который можно перемещать в осевом направлении с помощью винтового механизма 11. Создаваемый в испытуемом тормозе 6 момент воспринимается динамометрическим рычагом 8 и датчиком силы 9, жестко закрепленным на корпусе суппорта 10. Для предотвращения поломок стенда при разрушении испытуемого узла предусмотрен аварийный тормоз 3.

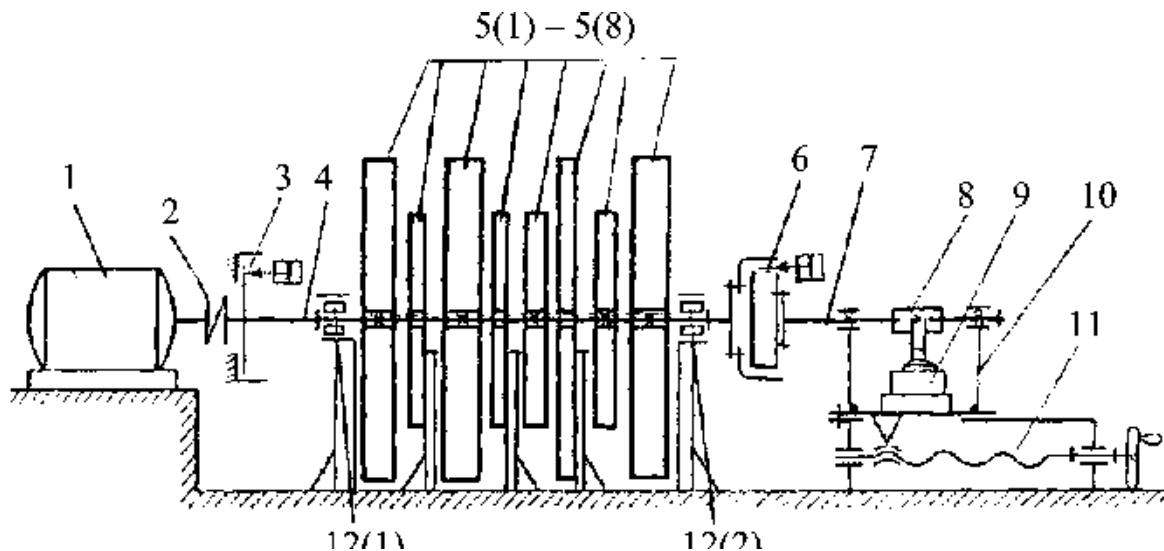


Рис. 10.20. Принципиальная кинематическая схема инерционного стенда для испытаний колесных тормозных механизмов автомобилей

Стенд работает по следующему циклу: разгон инерционной массы до заданной скорости, выключение электродвигателя привода и включение регистрирующей аппаратуры, включение привода исследуемого тормозного механизма и торможение инерционных масс до полной остановки. Управление стендом осуществляется вручную или автоматически с заданным интервалом между торможениями. Ручное управление применяют при снятии характеристик тормозного механизма, а автоматическое – при испытаниях его на долговечность. На стенде регистрируются следующие параметры: момент инерции маховиков, скорость вращения инерционных масс, давление воздуха в тормозной камере, температура тормозных накладок, тормозной путь, время торможения, тормозной момент.

Момент инерции вращающихся масс выбирают исходя из обеспечения равенства кинетических энергий инерционных масс стенда и части общей инерционной массы транспортного средства, приходящейся на затормаживаемое колесо, и определяют по формуле  $I = Ma \cdot r_0$   $I$  – момент инерции вращающихся масс, стенда,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $Ma$  – масса, соответствующая нагрузке от транспортного средства на затормаживаемое колесо,  $\text{кг}$ ;  $r_0$  – радиус качения колеса,  $\text{м}$ .

Частоту вращения инерционных масс (мин.-1) определяют по заданной скорости движения транспортного средства и радиусу качения колеса:

$$n = 1000 \bar{v}_a / (2\pi r_0 \cdot 60),$$

где  $\bar{v}_a$  – скорость транспортного средства (автомобиля), км/ч.

Эффективность торможения определяют и при нагретых тормозах. Нагрев тормозного механизма достигается путем проведения последовательных (с соответствующей периодичностью) торможений при постоянных значениях начальной скорости вращения инерционных масс и давления воздуха в тормозной системе. Температура тормозных накладок должна составлять 300°C для барабанных и 450°C для дисковых тормозов.

## 10.6. Стенды для испытания ходовой части

На этих стендах проводят испытания рам, рессор, балок мостов автомобилей на статическое и циклическое нагружение, испытания на износостойкость амортизаторов, механизмов подъема платформ самосвалов и других деталей ходовой части автомобилей.

Испытания рам на статическое нагружение на специализированных стендах наиболее просты и дают достаточно точные результаты проверки жесткости и прочности конструкции. Указанные испытания позволяют оценить нагруженность элементов рам, их напряженно-деформированное состояние, изучить влияние отдельных элементов конструкции на ее жесткость.

На стенде для *испытаний рам большегрузных автомобилей и автопоездов* (рис. 10.21) скручивание и изгиб рамы в вертикальной плоскости обеспечиваются с помощью гидроцилиндров 1, передающих нагрузку через динамометры 2 в местах крепления рессор. Реакции от подрессоренных масс автомобиля имитируются винтовыми механизмами (на схеме не показаны). Цилиндры 1 могут работать как синхронно (изгиб

рамы в вертикальной плоскости), так и в противофазах (изгиб и скручивание рамы). Питание их осуществляется от радиально-поршневого насоса 5 и масляного бака 6. Очистка основного потока масла производится фильтром 3.

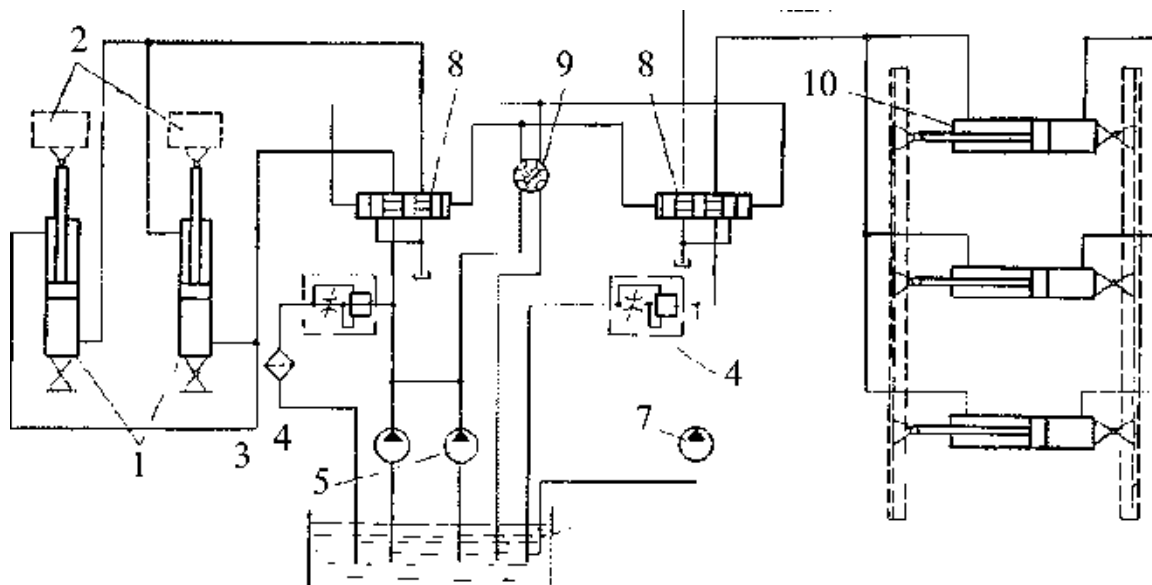


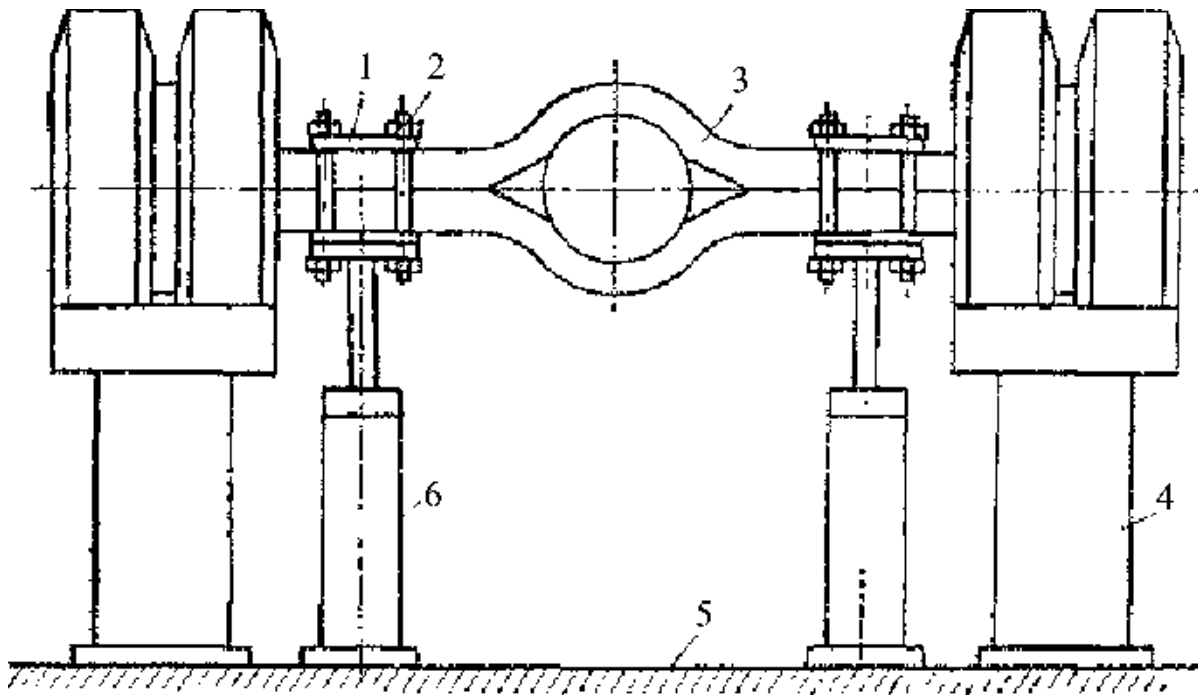
Рис. 10.21. Гидравлическая схема стэнда для испытания рам автомобилей

Циклическое нагружение рамы обеспечивается с помощью реверсивного золотника 8. Изгиб ее в горизонтальной плоскости создается гидроцилиндрами 10, устанавливаемыми между лонжеронами. Их привод осуществляется от отдельного шестеренного насоса 7 через золотник 8. Комбинирование нагрузок выполняется с помощью крана 9, регулирующего подачу рабочей жидкости от насоса к золотникам 8. Гидравлическая система оснащена предохранительными клапанами 4. Для автоматизации процесса испытаний используется специальный блок на базе микропроцессоров.

Испытания рам на долговечность проводят с целью определения показателей надежности каждого из их элементов. Режимы нагружения задают по результатам статистической обработки нагруженности элементов рамы, полученных тензометрированием в эксплуатационных условиях.

Установка для испытаний балок ведущих мостов автомобилей показана на рис. 10.22. Мост 3 в сборе с колесами

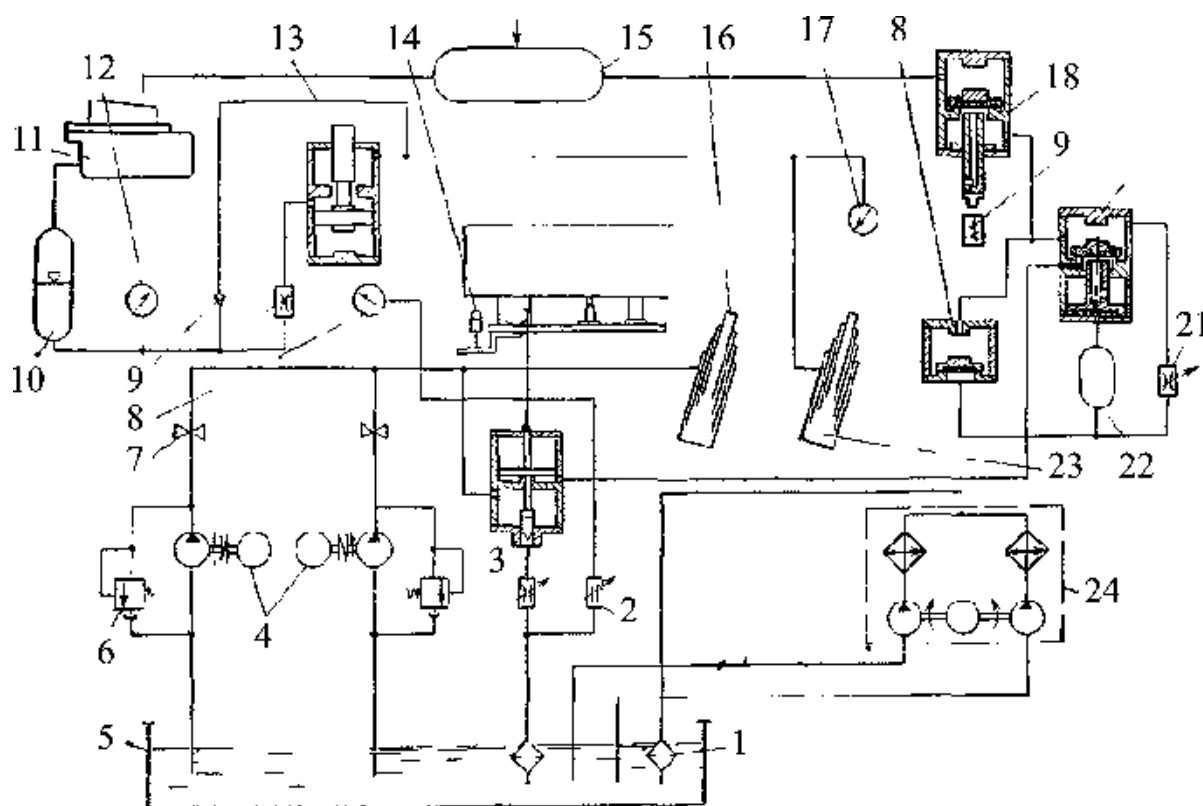
свободно размещается на опорных стойках 4, закрепленных на фундаментных плитах 5. Гидравлические цилиндры 6 нагружают его через рессорные площадки. Картер с гидроцилиндрами соединяется с помощью плит 1 и шпилек 2, что позволяет изменять расстояние между плитами и испытывать объекты любых типоразмеров. Для исключения изгиба штоков гидроцилиндров и воспроизведения эксплуатационных нагрузок, соответствующих реальным жесткостям рессор, используются упругие цилиндрические стержни. Силовая гидравлическая система установки обеспечивает скорость перемещения поршней цилиндров до 1 м/с.



*Рис. 10.22. Установка для испытаний несущих деталей ведущих мостов и осей автомобилей*

*Привод стенда для испытаний механизма подъема платформ автомобилей-самосвалов (рис. 10.23) включает два электродвигателя 4 и два шестеренных насоса, обеспечивающих подачу масла из бака 5 через предохранительный клапан 6, клапан управления 3 к цилиндру 16 подъема платформы. При опущенной платформе передний выключатель 14 отключает электромагнит 19. Воздух выводится в атмосферу устройством,*

включающим реле времени 20, ресивер 22, обратный клапан 17, клапан управления 3. Шток последнего перекрывает сливное отверстие, и платформа идет на подъем.



*Рис. 10.23. Гидравлическая схема стенда для испытаний механизмов подъема платформ автомобилей-самосвалов*

При нажатии на подпружиненный выключатель срабатывает электромагнит. Воздух через клапан 18 поступает в реле времени 20 и обратный клапан 17, а также через дроссель 21 и ресивер 22. Происходит встряхивание платформы. По истечении заданного времени реле соединяет клапан 18 с клапаном управления 3, и воздух поднимает шток последнего, в результате чего платформа опускается. Обратный клапан 17 ускоряет выпуск воздуха из ресивера 22. Стабилизатор 11, соединенный через ресивер 15 с клапаном 18, воздействует на гидропневматический аккумулятор 10. Масло через обратный клапан 9, частично через дроссель 2 и автоматический гидроклапан 13 заполняет дублирующий цилиндр 23 при подъеме платформы. При ее опускании слив масла идет через те же аппараты и через фильтр 1 в масляный бак. В случае

разрушения испытуемого узла давление масла в дублирующем гидроцилиндре резко возрастает и воздействует на поршень гидроклапана 13. Происходит автоматическое торможение падения платформы. В случае привода от одного электродвигателя запорный кран 7 закрыт. Давление в системе контролируется манометрами 8, 12. Стенд снабжен устройством 24 для поддержания требуемой температуры рабочей жидкости.

### 10.7. Стендовые испытания на вибропрочность

Схема одного из применяемых стендов показана на рис. 10.24.

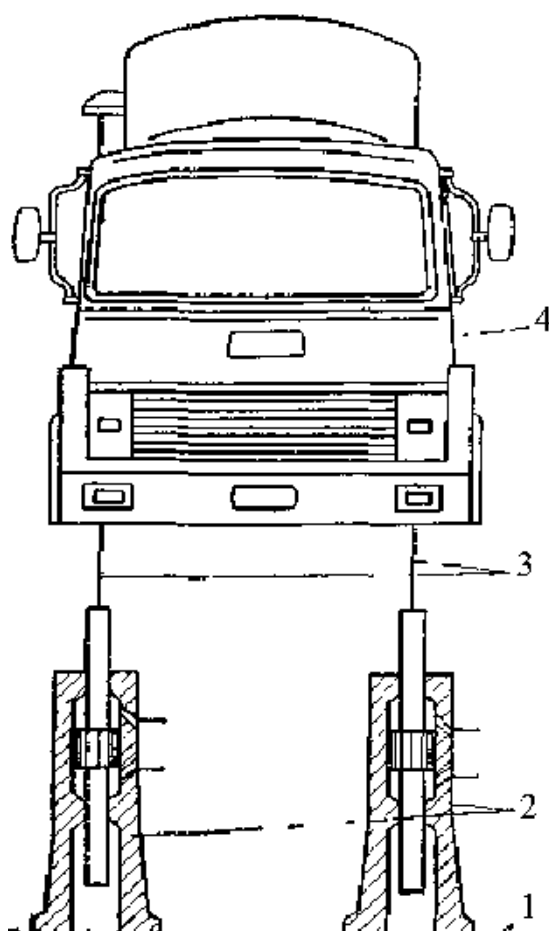


Рис. 10.24. Принципиальная схема стенда для испытаний на вибропрочность агрегатов и деталей автомобиля

Крепежное поле 1 (рис. 10.24) представляет собой, как правило, подвесной фундамент с фундаментными плитами. На крепежном поле устанавливают объект исследования 4 и



нагружающие устройства 2 в виде сервогидравлических цилиндров-имитаторов. Каждый такой цилиндр образует силовой контур, включающий насосную станцию, комплект арматуры, обеспечивающей подачу рабочей жидкости от насосной станции к нагружаемому цилиндру, распределительную колонку, электронную систему управления с обратной связью. Эта система позволяет нагружать объект с регулированием нагрузки и контролем деформаций или с регулированием деформаций и контролем нагрузки. Объект исследования 4 (например, кабину автомобиля) закрепляют на раме аналогично ее креплению на автомобиле.

Схему и режим нагружения (направление, амплитуду и частоту воздействий) выбирают исходя из предварительных расчетов. В соответствии с расчетным режимом нагружения разрабатывают конструкции крепежных, направляющих и компенсирующих боковые нагрузки на штоки нагружающих цилиндров устройств. Конструкции крепежных устройств в виде порталных кронштейнов, рам, как правило, отличаются универсальностью. Их размеры можно регулировать по высоте и ширине, что обеспечивает требуемые координаты закрепления нагружающих устройств и различных объектов исследования. Компенсирующие устройства 3 выполняют в виде стержней «ввода усилия», не допускающих перемещений штока цилиндра, перпендикулярных к направлению действия нагрузки, или в виде специальных пластин.

Для исключения боковых нагрузок па шток нагружающего цилиндра устанавливают специальные «безззорные» шарниры. В отдельных случаях обеспечивается шарнирное соединение основания цилиндра с крепежным полем. Как правило, шарнирные соединения используют при невысокой частоте нагружения (до 20 Гц). Двойные шарниры для компенсации бокового перемещения штока цилиндра применяют только при знакопостоянных или нулевых циклах нагружения.

## **10.8. Стенды для диагностирования технического состояния автомобилей**

Диагностирование технического состояния автомобиля, его агрегатов и узлов без их разборки обычно ведут в процессе технического обслуживания автомобиля. При диагностировании определяют наиболее важные характеристики: мощность двигателя, скорость движения и ускорение автомобиля, путь (время) разгона и торможения, выбег, расход топлива и др.

На практике используют комплексные и простые стенды, позволяющие проводить диагностирование автомобилей с учетом принятой технологии их технического обслуживания.

Простые стенды применяют при оценке одного из исследуемых параметров автомобиля, комплексные стенды – группы параметров. Комплексные стенды требуют меньшей производственной площади, на них легче осуществить автоматизацию диагностических процессов и сократить время на диагностирование автомобиля. Комплексные стенды по типу рабочего органа могут быть платформенные или барабанные.

На рис. 10.25 показан комплексный стенд для диагностирования технического состояния грузовых автомобилей и автобусов. Механическая часть его состоит из двух тележек и трансмиссии. Стенд размещают на осмотровой яме. Каждая тележка механической части (I – правая, II – левая) включает два беговых барабана, инерционные массы, ролики-датчики, тормозные устройства беговых барабанов и натяжные устройства клиноременной передачи, смонтированные на одной раме. Беговые барабаны имеют рифленую поверхность.

Ведущие и ведомые беговые барабаны связаны между собой клиноременной передачей.

Трансмиссия стенда включает нагрузочно-приводное устройство 17, угловой редуктор 13, муфту включения 12 и карданные валы 11 и 15.

Приводное и нагрузочное устройства стенда обеспечивают вращение колес автомобиля на барабанах стенда при включенном двигателе и создание нагрузки на двигатель при проверке тягового усилия на ведущих колесах автомобиля.

В качестве приводного нагрузочного устройства используется балансирующая асинхронная электромашина с фазным ротором, работающая в двух режимах: двигателя и генератора. Управление электромашинной осуществляется жидкостным реостатом 21.

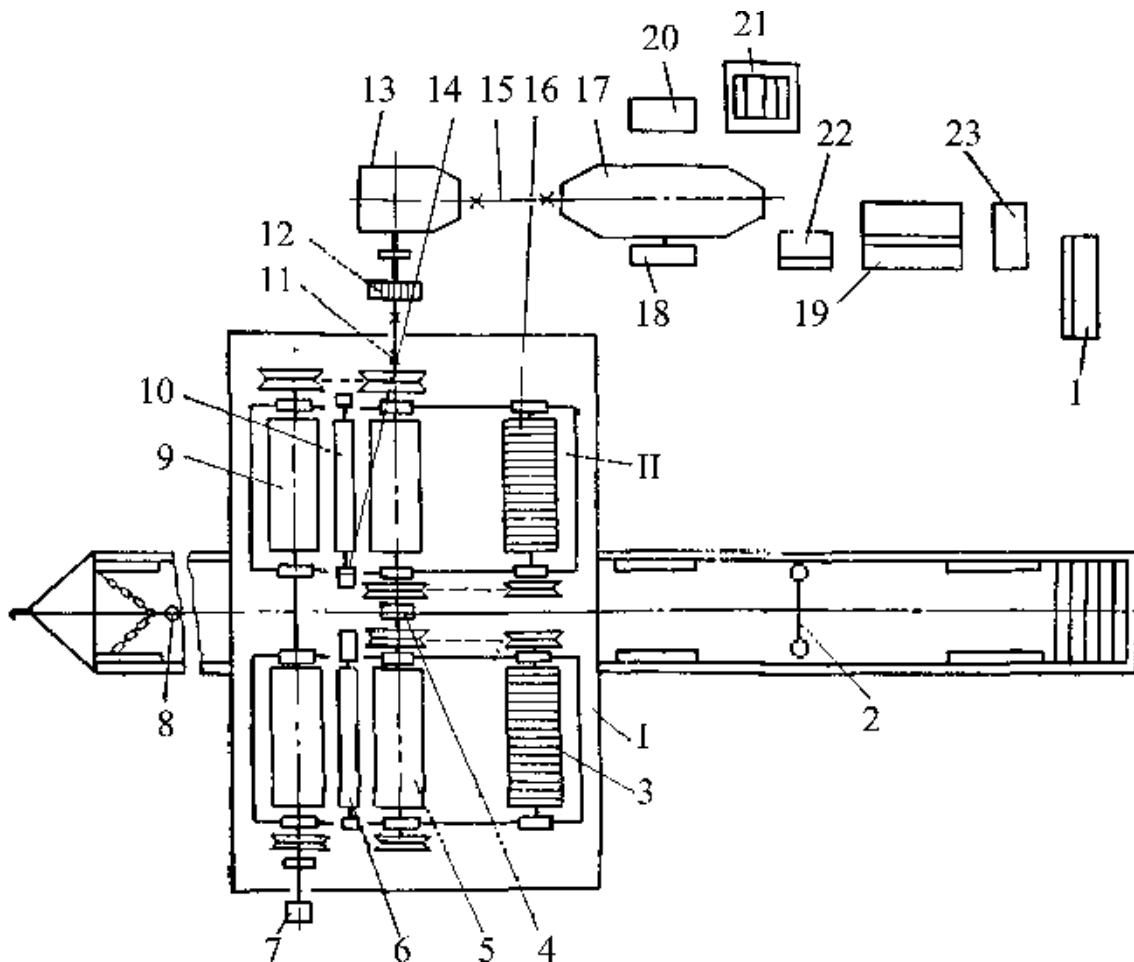


Рис. 10.25. Комплексный стенд для диагностирования технического состояния автомобилей:

- 1 – пульт проверки системы электрооборудования; 2 – траверса;  
 3,16 – инерционные массы; 4 – муфта выключения; 5,9 – беговые барабаны;  
 6, 10 – ролики-датчики; 7 – тахогенератор; 8 – фиксирующее устройство;  
 11, 15 – карданная передача; 12 – муфта включения;  
 13 – редуктор; 14 – датчик индуктивный; 17 – электротормоз;  
 18 – весовой механизм электротормоза; 19 – пульт управления центральный;  
 20 – электрошкаф; 21 – реостат; 22 – расходомер топлива;  
 23 – осциллоскоп

Между ведущими и ведомыми беговыми барабанами установлены ролики-датчики 6 и 10, которые поджимаются к колесам автомобиля с заданным усилием. Ролики-датчики предназначены для определения угла сходимости управляемых колес автомобиля, пути разгона, наката и тормозного пути каждого колеса автомобиля. При проверке схождения колес ролик-датчик перемещается вправо или влево под действием боковой силы. Эти перемещения фиксируются индуктивным датчиком 14. Внутри каждого ролика-датчика вмонтированы импульсные датчики пути.

Для определения скорости «движения» автомобиля на стенде установлен тахогенератор 7, соединенный муфтой с беговым барабаном.

На стенде можно измерять расход топлива на разных режимах, время и путь автомобиля при разгоне и накате, тормозной путь, время срабатывания тормозного привода. Всего на такой станции можно измерять более 80 параметров технического состояния агрегатов и узлов автомобиля.

Поэлементное диагностирование автомобилей проводят на инерционных стендах с беговыми барабанами и силовых стендах с роликами.

*Инерционные стенды с беговыми барабанами* или с ленточным, полноприводным устройством (рис. 10.26) могут иметь привод от колес работающего автомобиля или от электродвигателей.

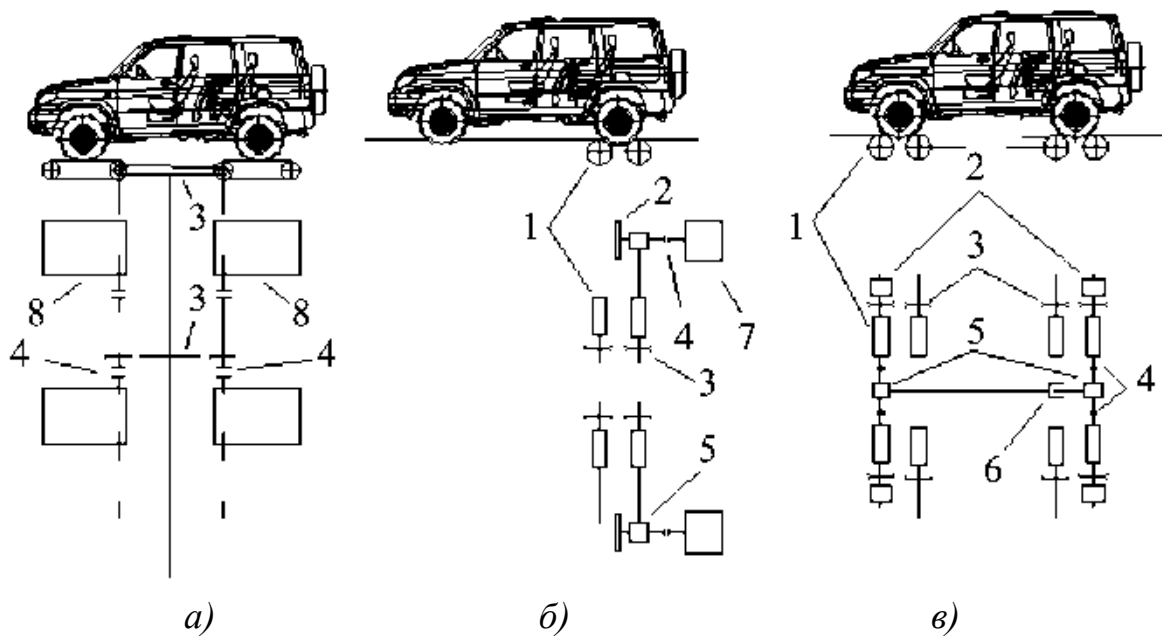


Рис. 10.26. Ленточный (а) и роликовые (б, в) тормозные стенды:  
 1 – ролик; 2 – маховик; 3 – цепная передача; 4 – соединительная муфта;  
 5 – редуктор; 6 – вал; 7 – измерители; 8 – беговые барабаны

Схема для определения тормозного момента на роликовом стенде представлена на рис. 10.27.

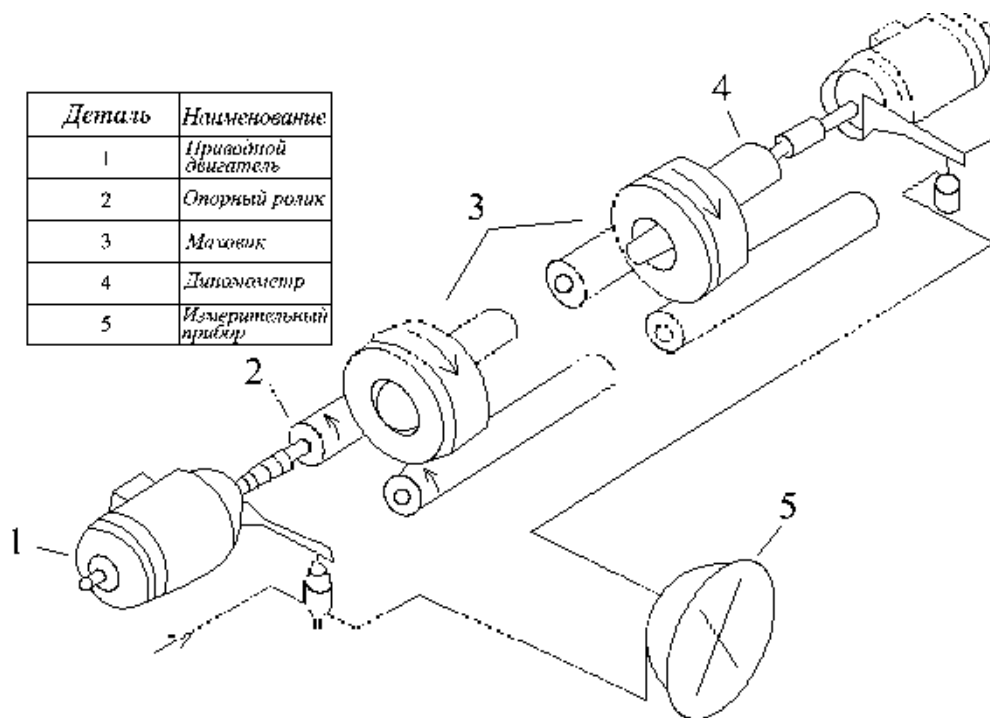


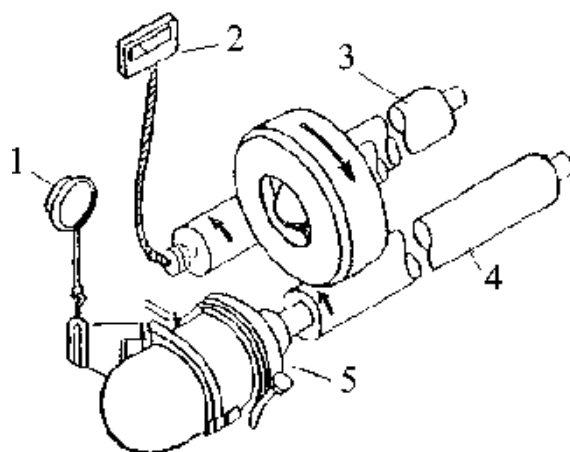
Рис. 10.27. Принципиальная схема роликового стенда для определения тормозного момента:

*1 – приводной двигатель, 2 – опорный ролик; 3 – маховик;  
4 – динамометр; 5 – измерительный прибор*

В стенде с электроприводом колеса автомобиля приводятся во вращение роликами стенда. В случае привода от автомобильного двигателя ведущие колеса автомобиля приводят во вращение ролики стенда, а от них при помощи механической передачи оно передается передним (ведомым) колесам.

Тормозной путь на таких стендах определяют по частоте вращения роликов стенда, фиксируемой счетчиком, а замедление – с помощью углового деселерометра. Возможно и прямое измерение тормозного момента по реактивному крутящему моменту на валу стенда между маховиком и барабаном (рис. 10.28).

Принципиальная схема роликового стенда для определения мощности двигателя показана на рис. 10.28.



*Рис. 10.29. Принципиальная схема роликового стенда  
для определения мощности двигателя:*

*1 – динамометр; 2 – спидометр, 3 – опорный ролик; 4 – тормозной ролик;  
5 – тормоз*

Замер мощности двигателя производят по следующей схеме (рис. 10.28). Реактивный момент определяют с помощью пружинных весов *1*, соединенных с балансирующим рычагом тормоза. Рычаг в соответствии со значением крутящего момента перемещает движок потенциометра *2* измерительного контура.

Потенциометр соединен с тахометром 3, расположенным на оси ролика.

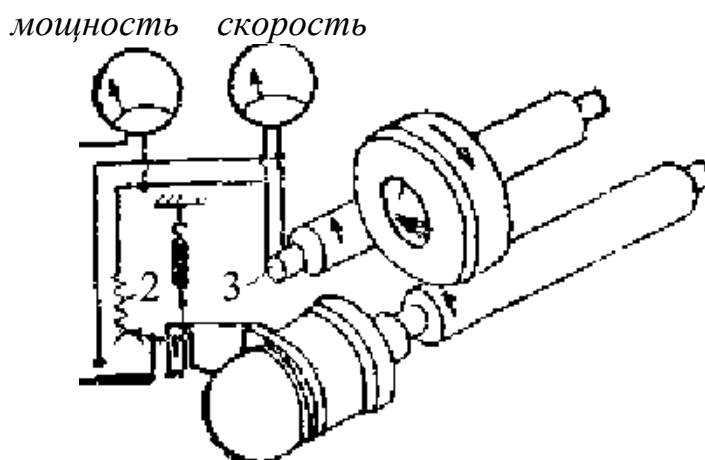


Рис. 10.29. Схема замера мощности двигателя

При подаче напряжения с двигателя к измерительному прибору отклонение стрелки будет пропорционально произведению крутящего момента на угловую скорость вращения вала двигателя, т. е. снимаемой мощности.

### 10.9. Стенды для испытаний автомобилей на динамичность

Для определения силы тяги автомобиля используют барабанные (рис. 10.30,а) или роликовые (рис. 10.30,б) стенды. На стендах первого типа колеса опираются на барабан относительно большого диаметра, и условия качения шины почти не отличаются от условий качения по плоской дороге.

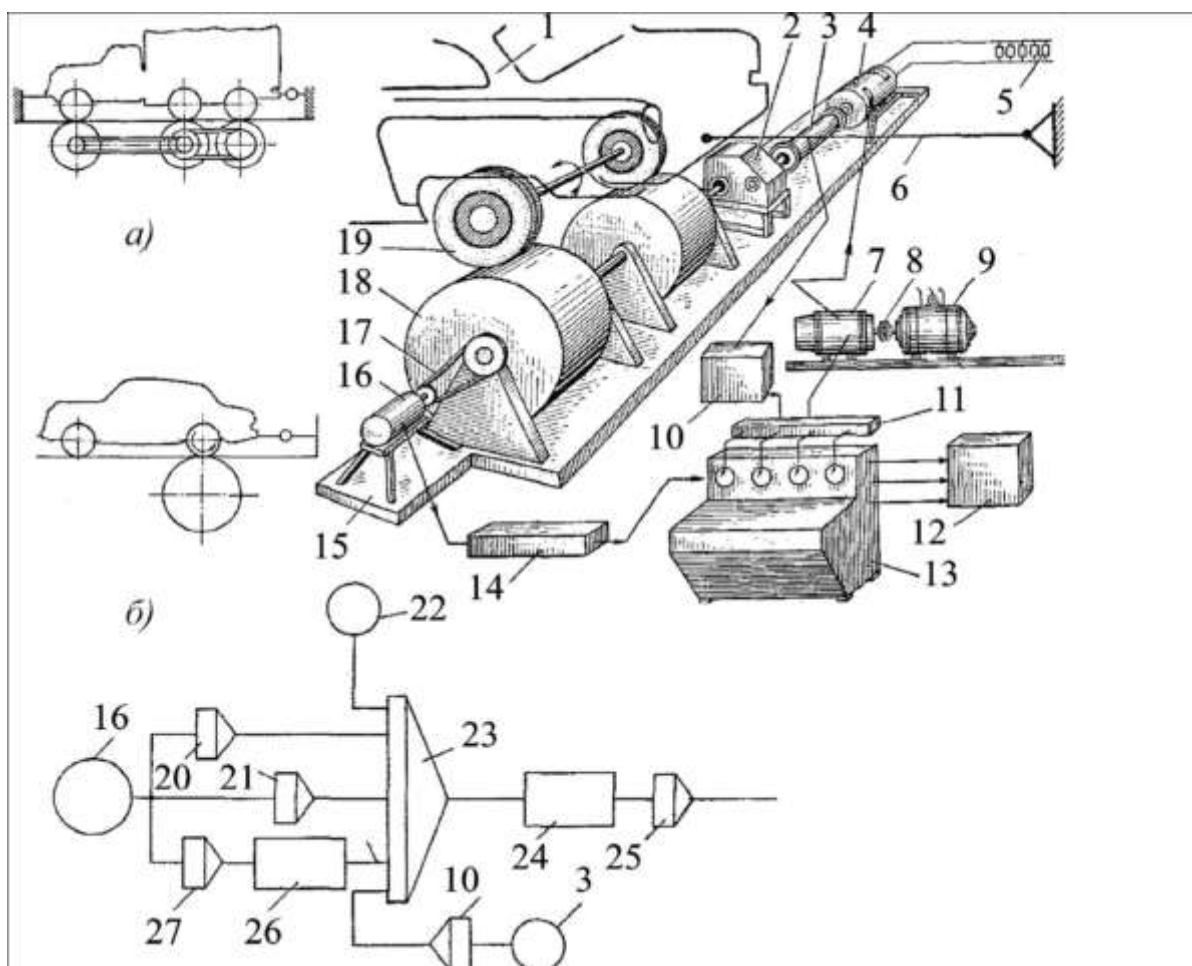


Рис. 10.31. Стенды для определения динамических качеств автомобиля:  
 А) – барабанный стенд; Б) – роликовый стенд

На роликовых стендах сопротивление качению значительно больше сопротивления на дороге из-за большой деформации шин.

При испытаниях автомобиля на установившихся режимах движения нагрузка на двигатель и трансмиссию может создаваться механическим, гидравлическим или индукторным тормозом. Реже используют тормозные машины в виде балансирных генераторов.

Испытание автомобиля на неустановившихся режимах движения (разгон) осуществляется в основном с помощью электрических генераторов, которые имеют малое запаздывание в отработке заданного момента нагружения. При испытаниях автомобиля на неустановившихся режимах движения сопротивление, развиваемой тормозной машиной на беговых барабанах, должно быть равным сопротивлению,



преодолеваемому автомобилем в реальных дорожных условиях. Моделирование закона нагружения осуществляется электронно-вычислительной машиной.

Схема стенда с беговыми барабанами для испытаний автомобилей показана на рис. 10.30,а. Автомобиль колесами 19 ведущего моста устанавливают на беговые барабаны 18 и закрепляют растяжками 6. Один конец вала беговых барабанов через редуктор 2 и динамометрическую муфту 3 соединен с тормозным генератором 4, а другой – клиноременной передачей 17 связан с тахогенератором 16. Весь этот приводной блок монтируется на общем основании 15.

Электрическая часть стенда включает тормозной генератор 4, тахогенератор 16, фильтр 14, задающее устройство 13, усилитель 10 сигнала муфты 3, сумматор напряжений 11, электромашинный усилитель 7 с приводом при помощи муфты 8 от электродвигателя 9 и блок 5 нагрузочных сопротивлений, присоединенных к якорю генератора 4. В задающем устройстве 13, блок-схема которого показана на рис. 10.31 установлены; дифференцирующий блок 20, операционные усилители 21 и 27, блок нелинейности 26, источник напряжения 22, корректирующее устройство 25 и конечный усилитель 24.

При вращении беговых барабанов тахогенератор вырабатывает напряжение, пропорциональное частоте вращения, которое после фильтрации поступает в блоки 20, 21 и 27. В начале движения, при трогании автомобиля с места, сигнал скорости мал и на выходах блоков 27 и 21 он также невелик. Однако на выходе блока 20 сигнал пропорционален ускорению автомобиля и значителен по своей амплитуде. Напряжение на выходе сумматора 23 в основном определяется сигналом от дифференцирующего блока. После усилителя 24 этот сигнал поступает в усилитель 7 и далее в обмотку возбуждения генератора 4. Мощность генератора 4 расходуется на нагрев блока 5 нагрузочных сопротивлений. Таким образом, в начальный момент «движения» автомобиля сила сопротивления

зависит в основном от амплитуды ускорения автомобиля, как и на дороге. Подбирая передаточный коэффициент  $K_1$  дифференцирующего блока 20, последний настраивают так, чтобы при входном напряжении  $U_u$ , подаваемом от тахогенератора на дифференцирующий блок, его выходное напряжения было пропорционально  $K_1 j^3$ . При этом сила, развиваемая тормозным генератором, будет равна (для данного автомобиля) инерционной составляющей силы сопротивления движению с учетом инерционной нагрузки, создаваемой массой беговых барабанов. По мере увеличения скорости автомобиля его ускорение падает, но возрастает сила сопротивления качению. Напряжение тахогенератора  $U_u$ , поступая в усилитель 21 с передаточным коэффициентом  $K_2$ , преобразуется в напряжение  $K_2 U_u$ , которое, суммируясь в блоке 23 с сигналом от блока 20, создает после усиления такое напряжение возбуждения тормозного генератора, при котором обеспечивается необходимая нагрузка на автомобиль.

Для моделирования напряжения, пропорционального силе сопротивления воздуха, сигнал тахогенератора  $U_u$  подается в усилитель 27 с коэффициентом передачи  $K_3$ , а выходное напряжение от этого усилителя  $K_3 U_u$  в блоке 26 возводится в квадрат. Выходной сигнал блока 26, равный  $K_3 U^2$ , поступает на сумматор 23, в который вводится также сигнал из блока 22, пропорциональный силе трения покоя, поскольку передние колеса автомобиля не вращаются. Таким образом, выходное напряжения сумматора пропорционально составляющим сил сопротивления движению.

Этот сигнал и управляет изменением тормозного момента не точно следует за всеми изменениями управляющего сигнала, так как характеристики тормозного генератора и электромашинного усилителя не линейны. Для того, чтобы тормозной момент генератора точно соответствовал заданному закону нагружения, в цепь управления нагрузкой вводится отрицательная обработанная связь по нагрузочному моменту. Обратная связь создается датчиком тормозного момента (динамометрической

муфтой 3) и усилителем 10, который подключен к входу сумматора 23 (рис. 10.30) противофазно управляющим сигналом от блоков 20, 21 и 26. Передаточный коэффициент  $K_4$  усилителя 10 подбирают так, чтобы его выходное напряжение  $K_4 U_m$  (где  $U_m$  – напряжение от датчика тормозного момента) было равно суммарному напряжению от блоков 21, 22 и 26.

Таким образом, в сумматоре осуществляется сравнения заданного обработанного законов нагружения двигателя автомобиля тормозным генератором в зависимости от скорости движения. При рассогласовании действительной нагрузки и заданной происходит формирование на выходе сумматора разностного сигнала управления, который вводят в задний режим работы тормозной генератор. Этот процесс происходит непрерывно в период разгона автомобиля, а нагружения носит колебательный характер. Чем выше частота регулирования, тем меньше амплитуда колебательного процесса нагружения. Для устранения автоколебаний и повышения точности регулирования в систему введено корректирующее устройство 25, представляющий собой двух- или трехзвенный дифференцирующий блок, с помощью которого в сигнал, поступающий на вход оконечного усилителя 24, вводится не только основной сигнал управления, но его первая и вторая производные. В зависимости от типа автомобиля и диапазона его скоростных возможностей параметры корректирующих устройств могут быть различными. На таком стенде можно также воспроизводить различные уклоны дороги, для чего меняют величину напряжения, подаваемого на вход сумматора 23.

Изменяя передаточный коэффициент  $K_1$  блока 20 имитирует изменение массы автомобиля, а с помощью передаточного коэффициента  $K_3$  блока 27 – скорости и направления «ветра». Для регистрации исследуемых параметров движения, т.е скорости, ускорения и крутящего момента, к соответствующим блокам подключают самописец 12 (рис. 10.30) или осциллограф.

## **Лекция №6. Аэродинамические испытания транспортных и транс-портно-технологических машин и оборудования**

Отработка аэродинамических характеристик проектируемого автомобиля производится главным образом путем испытаний масштабных моделей и натуральных макетов в аэродинамических трубах.

Для определения аэродинамических испытаний изготавливаются средне- и крупномасштабные модели из пластилина на деревянном каркасе, а также натуральные макеты проектируемых автомобилей.

Критерием аэродинамической оптимизации автомобиля является минимизация действующих на него аэродинамических сил и моментов. При этом основной аэродинамической характеристикой является аэродинамическое сопротивление автомобиля, которое характеризуется величиной коэффициента аэродинамического сопротивления, лобовой площадью и скоростью движения.

### **Аэродинамические трубы для испытаний автомобилей и их моделей**

Аэродинамические испытания автомобилей состоят из исследований:

- аэродинамических характеристик для определения влияния формы автомобиля (преимущественно кузова и его отдельных частей) на величину лобового сопротивления;
- аэродинамической устойчивости автомобилей;
- по созданию внутренних воздушных потоков в салонах пассажирских помещений, водительских кабинах и под капотами автомобильных двигателей;
- шумовых явлений;
- методического характера, связанных с усовершенствованием методов аэродинамических испытаний.

Для выполнения полного комплекса перечисленных исследований экспериментатор должен располагать большим числом разнообразных приборов и установок, важнейшей из которых является аэродинамическая труба. Для экспериментов с

автомобилями и их моделями применяют различные аэродинамические трубы, что вызывает некоторые отличия в способах замеров аэродинамических сил и моментов.

Взаимодействие движущегося автомобиля с воздушной средой можно исследовать двумя методами:

– прямым, при движении автомобиля или его модели (дорожные испытания);

– обращенным, при создании воздушного потока, натекающего на неподвижный автомобиль или его модель (испытания в аэродинамической трубе).

Назначение аэродинамической трубы состоит в создании искусственного равномерного прямолинейного установившегося воздушного потока, который с определенной скоростью натекает на исследуемое тело. В автомобилестроении аэродинамические трубы применяют для испытания автомобильных моделей в тех случаях, когда требуется сравнительно быстро определить аэродинамические качества вновь проектируемого автомобиля еще до изготовления его опытного образца и в случае необходимости внести в форму его кузова или оперения соответствующие изменения. Все возможные варианты формы кузова могут быть быстро осуществлены при помощи пластилиновых моделей, а достигнутые результаты оценены в процессе испытаний в аэродинамической трубе.

Таким образом, главным методом исследования обтекаемости автомобилей являются испытания их моделей в аэродинамических трубах, а в некоторых случаях и автомобилей в натуральную величину.

Аэродинамические трубы делят в зависимости от скорости создаваемого в них воздушного потока на дозвуковые (низкоскоростные и высокоскоростные) и сверхзвуковые. Для автомобилей и их моделей применяют дозвуковые аэродинамические трубы.

Принципиальная схема аэродинамической трубы прямого действия показана на рис. 7.1. Установленный в трубе вентилятор 6 создает поток воздуха, обтекающий модель 4, помещенную в рабочей части 3 трубы. Поступающий в трубу воздух проходит через сопло 1 (или коллектор), увеличивающее скорость воздушного потока вследствие плавного уменьшения

проходного сечения. Для создания равномерного течения потока при входе его в рабочую часть трубы и уменьшения турбулентности в сопле помещают решетки 2 или другие приспособления. Рабочая часть трубы может иметь твердые стенки (рис. 7.1,а) или не иметь стенок (рис. 7.1,б) и ограничиваться лишь воздухом, находящимся в покое или движущемся со скоростью, отличающейся от скорости основного потока (аэродинамическая труба со свободной струей).

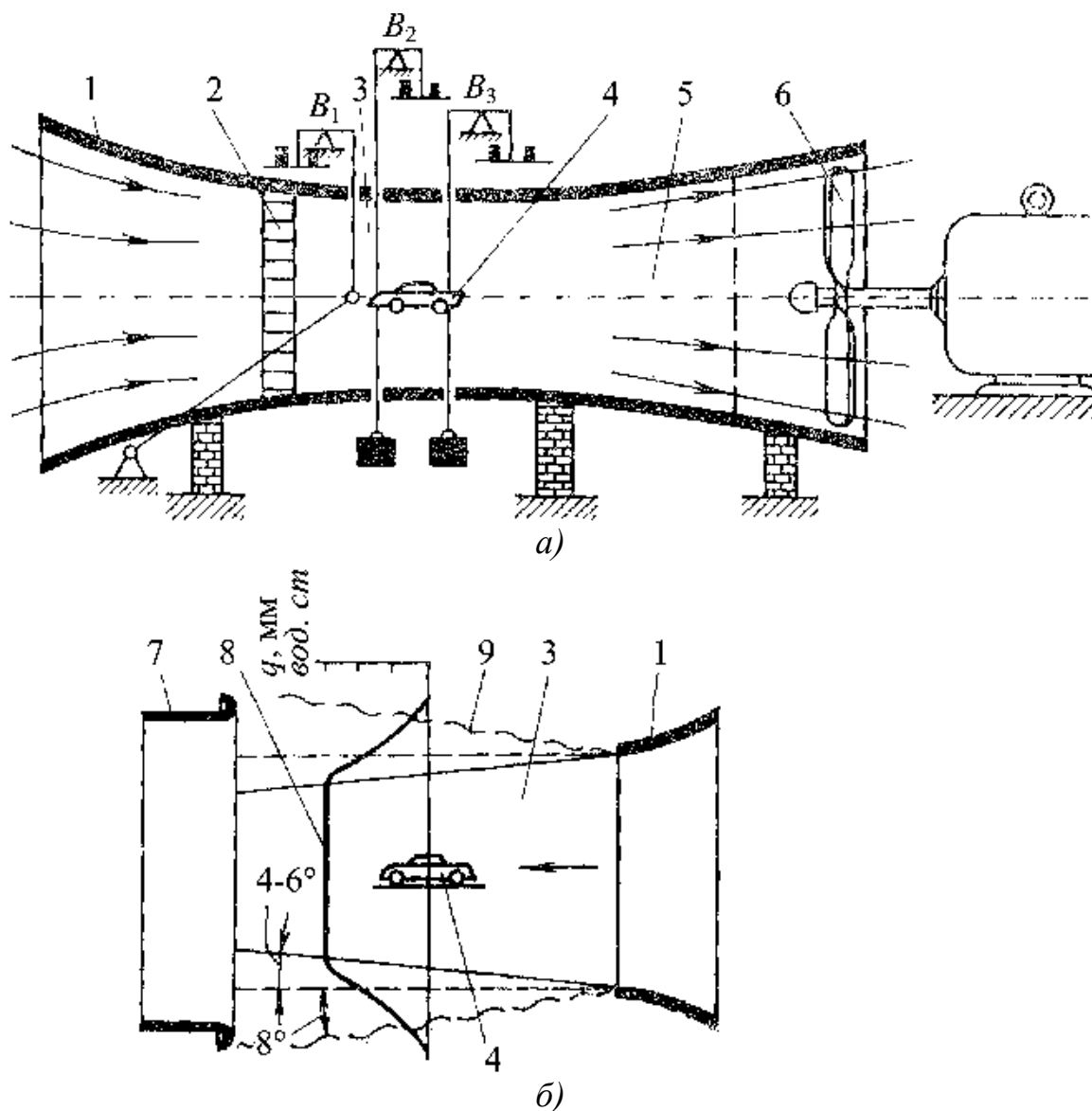


Рис. 7.1. Принципиальная схема аэродинамической трубы прямого действия:  
 а – с закрытой рабочей частью; б – с открытой рабочей частью;  
 1 – сопло; 2 – решетка; 3 – рабочая часть трубы; 4 – модель;  
 5 – диффузор; 6 – вентилятор; 7 – улавливающая воронка;  
 8 – эюра скорости напора; 9 – вихревая зона

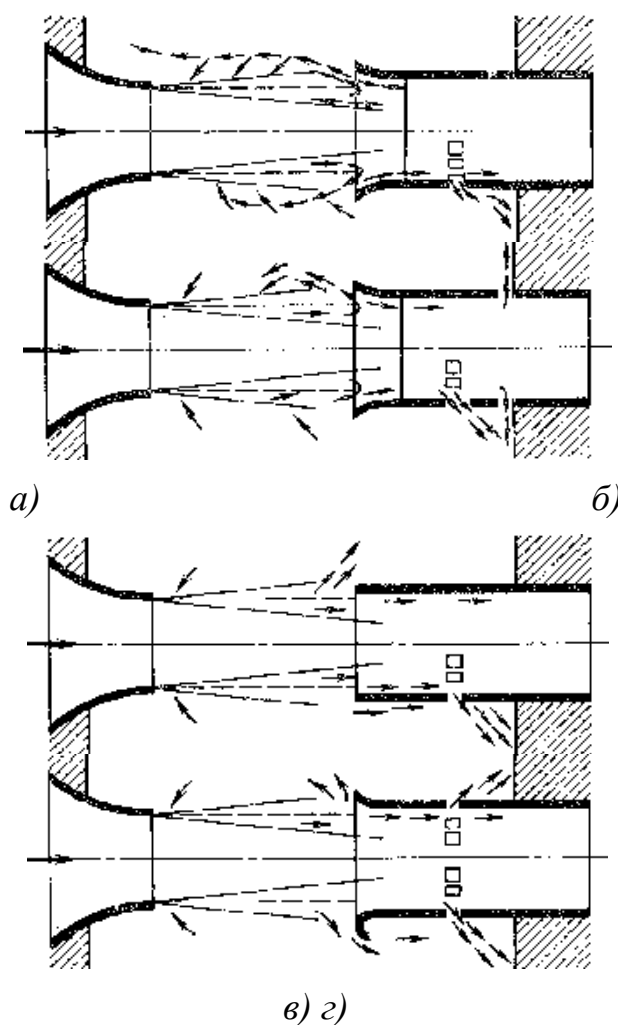
Аэродинамические трубы со свободной струей требуют большей мощности вентилятора, чем трубы с закрытой рабочей частью (~ на 20%), но обеспечивают большее удобство эксперимента, так как имеют лучший доступ к модели и приборам. Для испытания автомобильных моделей длина рабочей части трубы должна быть равна 1,7–4,0 ее диаметра. В трубах с закрытой рабочей частью стенкам придают небольшую конусность

(0,1–0,5 $\alpha$ ) для компенсации нарастания вдоль стенок пограничного слоя. Трубы со свободной струей удобны при исследовании моделей автомобилей, но для моделей автомобилей с прицепами (автопоездов) их рабочая часть оказывается слишком короткой.

Между рабочей частью трубы и вентилятором расположен диффузор 5, в котором за счет плавного расширения воздушного потока происходит превращение его кинетической энергии в энергию давления. Основным параметром диффузора является угол раскрытия, определяющий степень расширения воздушного потока.

На воздушный поток в рабочей части трубы со свободной струей может оказать значительное влияние форма улавливающей воронки диффузора. Воздушный поток при выходе из сопла увеличивает свое поперечное сечение, поэтому, естественно, что сечение улавливающей воронки диффузора должно быть больше поперечного сечения сопла. Кроме того, для уменьшения градиента статического давления и потерь на входе вокруг диффузора устанавливают специальное профилированное кольцо. Для выхода избыточного воздуха, захваченного потоком, делают специальные отверстия (рис. 7.2). Направление воздушного потока при входе в узкую улавливающую воронку показано на рис. 7.2,*а* при отсутствии (верхняя часть рисунка) и наличии (нижняя часть рисунка) отверстий. Удаление воздуха через отверстия уменьшает обратный поток и вихреобразование. На рис. 7.2,*б* показано дополнительное улучшение потока при введении кроме

отверстий кольцевой щели, что позволяет почти полностью устранить обратное течение. На рис. 7.2,в показано влияние отверстий в улавливающей воронке (нижняя часть рисунка), когда ее входную часть выполняют с острыми краями, влияние на воздушный поток формы входного отверстия, которое может быть выполнено коническим (верхняя часть рисунка) или с округленной кромкой (нижняя часть рисунка) показано на рис. 7.2,г.



*Рис. 6.2. Возможные варианты улучшения воздушного потока при входе в улавливающую воронку*

Открытая труба прямого действия имеет большую длину. Для уменьшения длины и потерь кинетической энергии строят замкнутые аэродинамические трубы (рис. 7.3), имеющие те же основные части, а кроме того, направляющие лопатки в коленах,



которые изменяют направление потока. В таких трубах поток совершает полный поворот на 360° и, пройдя через рабочую часть, вновь возвращается в сопло. В каждом из четырех колен происходит поворот потока на 90°.

Впервые испытания автомобильных моделей были проведены в аэродинамической трубе завода Цепелин в Германии (1914–1917 гг.), производившего дирижабли. Впоследствии для этих целей использовали аэродинамические трубы, принадлежащие в основном авиационным заводам и институтам. Однако стремление обеспечить условия для наилучшего выявления аэродинамических характеристик автомобилей привело к созданию аэродинамических труб, предназначенных исключительно для испытаний автомобилей.

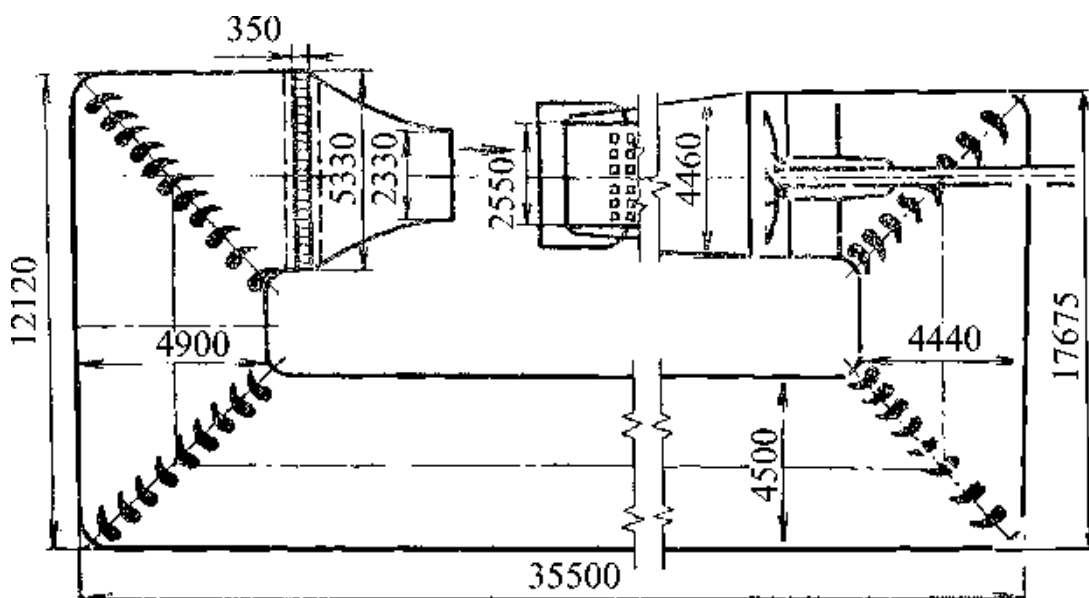
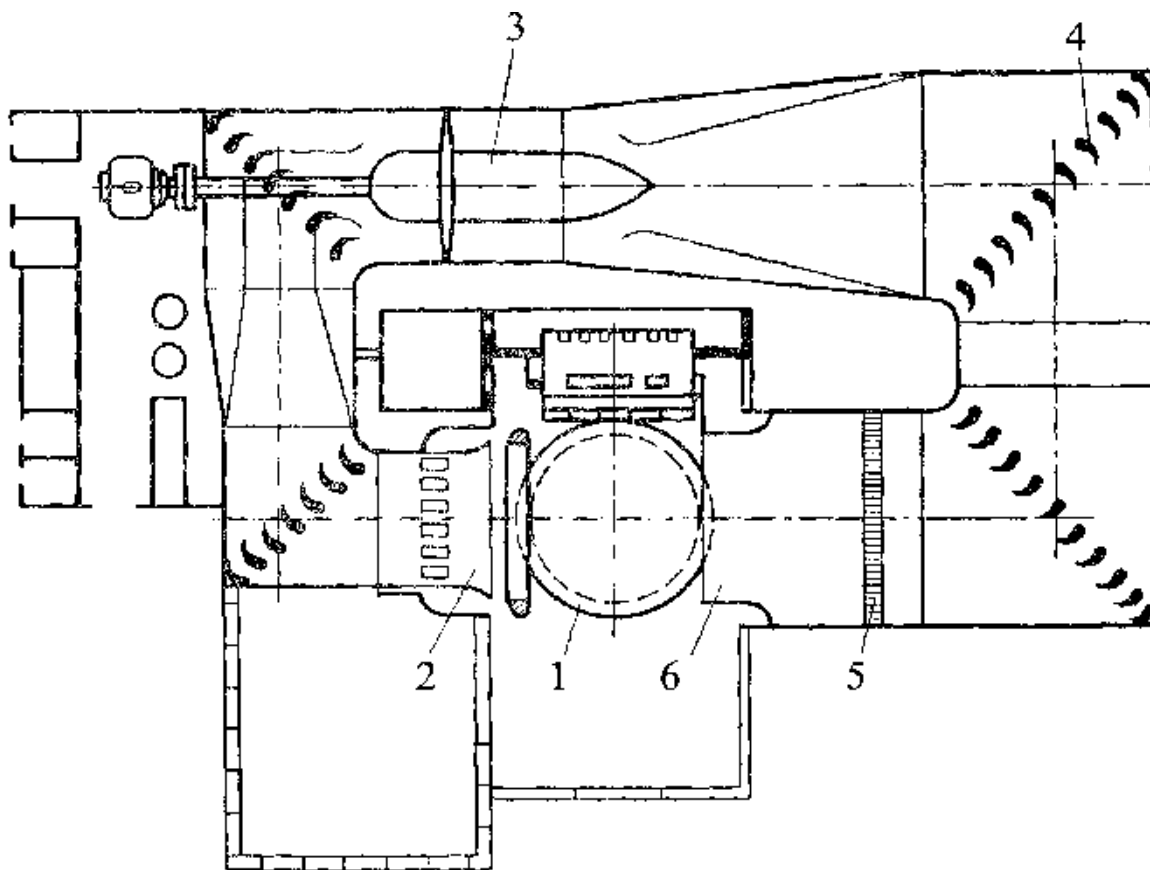


Рис. 6.3. Замкнутая аэродинамическая труба

Специальная аэродинамическая труба с удобной для испытания моделей автомобилей площадкой была создана в Геттингенском университете. Аэродинамическая лаборатория при Высшей технической школе в г. Штутгарте (ФРГ) располагает несколькими трубами, из которых наибольший интерес представляет труба для испытаний автомобилей в натуральную величину. Схема большой аэродинамической трубы показана на рис. 7.4. Труба замкнутая, открытого типа, с

размером площади рабочего сечения 35 м<sup>2</sup> (максимальная высота – 4,8 м, а ширина – 7,3 м). Вентилятор мощностью 4000 кВт (5440 л. с.) позволяет развивать скорость воздушного потока в рабочей части до 70 м/с (250 км/ч). Труба оборудована электрическими автоматическими шестикомпонентными весами с проволочным подвесом. Показания весов при помощи телевизионной установки передаются на пульт управления, где также одновременно регистрируется динамическое давление и угол натекания воздушного потока. Для имитации влияния бокового ветра автомобиль вместе с подвесным устройством можно при помощи телеуправления поворачивать вокруг вертикальной оси на  $\pm 25^\circ$ . Взаимодействие автомобиля с дорогой имитируется при помощи неподвижного экрана или движущихся ремней под его колесами. Погрешность измерений в трубе составляет  $\pm 1\%$ .

Различные виды сопротивления имитируются стендом с беговыми барабанами при помощи программного устройства. Благодаря наличию в трубе климатической установки и стенда с беговыми барабанами можно имитировать самые разнообразные условия эксплуатации автомобиля и проводить исследования не только его аэродинамических качеств, но и анализировать работу систем охлаждения двигателей, вентиляции и отопления кузовов применительно к разным климатическим условиям.



*Рис. 6.4. Схема большой трубы аэродинамической лаборатории при Высшей технической школе в г. Штутгарте (ФРГ):  
 1 – рабочая часть трубы; 2 – коллектор; 3 – вентилятор;  
 4 – поворотные лопатки; 5 – выпрямляющая решетка; 6 – сопло*

Пульт управления и центр обработки результатов, имеющий специальное электронно-счетное управляющее устройство, расположены возле рабочей части трубы. Все необходимые данные (давление, температуру, влажность воздуха и т.п.) регистрируют датчики, сигналы которых суммируют в электронном блоке управления, анализируют и выдают в готовом виде. Контроль за режимом испытаний осуществляют при помощи специального вычислительного устройства. Перед началом исследований программу испытаний в цифровом виде закладывают в ЭЦВМ.

Труба, созданная в аэродинамической лаборатории Института механики при МГУ и использованная для ряда экспериментов с моделями автомобилей. Это замкнутая, одноканальная труба с открытой

рабочей частью эллиптического сечения. Размеры ее рабочей части следующие: большая ось 4000 мм, малая ось 2330 мм, длина 4000 мм. Вентилятор шестилопастный диаметром 440 мм с мощностью двигателя 260 кВт. Возможная максимальная скорость в рабочей части  $v = 100$  м/с. Критическое число Рейнольдса, соответствующее начальной турбулентности в рабочей части трубы,  $Re_{кр} = 375\ 000$ .

### **Аэродинамическая труба НТЦ АвтоВАЗа**

Эта труба является уникальной по своим параметрам и возможностям

Общий вид трубы представлен на рис. 7.5, а вид главного вентилятора на рис. 7.6.

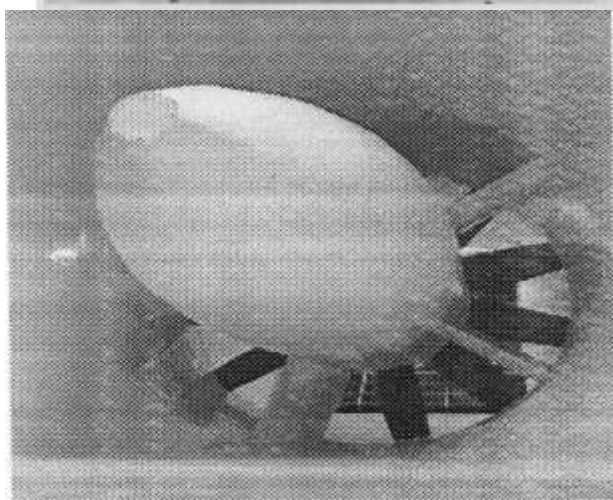
Труба имеет следующие характеристики:

главный вентилятор:

- диаметр, м – 7.4;
- мощность (постоянная) кВт – 2300;
- обороты, об./мин. – 300;
- тах скорость потока, м/с – 60;
- координатный механизм:
- длина перемещения по оси X, м – 12;
- длина перемещения по оси Y, м – 5.18;
- длина перемещения по оси Z, м – 2.85;
- точность позиционирования, мм-1.

### *Объекты испытаний*

- натурные пассажирские, спортивные автомобили, а также микроавтобусы с площадью поперечного сечения до 4 м<sup>2</sup>;
- макеты автобусов и грузовых автомобилей в масштабе 1:2, 1:2.5;
- промышленные и спортивные объекты.



*Рис. 7.5. Общий вид комплекса  
аэродинамических труб*

*Рис. 7.6. Главный вентилятор*

*Виды работ, осуществляемые в полномасштабной  
аэродинамической трубе:*

1. Оценка аэродинамических характеристик
2. Визуализация процесса обтекания:
  - поверхностная при помощи ниточного спектра, двуокиси титана;
  - объёмная, при помощи дымогенератора.
3. Оценка эффективности очистки ветрового стекла на соответствие Директиве 78/318 ЕЭС по максимальной скорости отрыва стеклоочистителей.
4. Оценка самозагрязнения остекления при работе стеклоочистителей ветрового стекла.
5. Оценка загрязнения отражающей поверхности наружных зеркал.

6. Оценка эффективности работы форсунок системы омыва ветрового и заднего стекол.

7. Измерение полей скоростей и давлений на поверхности кузова в зонах входа – выхода воздушного потока в каналы системы охлаждения, системы вентиляции, тормозные каналы.

8. Определение центра масс а/м относительно осей  $x$ ,  $y$ .

9. Доводочные работы по оптимизации аэродинамических характеристик кузова и отдельных элементов а/м: внешняя форма кузова, навесные элементы кузова, каналы системы охлаждения двигателя, тормозных механизмов, формы наружных зеркал конструкции водосточных желобков, спойлера, стеклоочистителя.

Возможность проведения испытаний автомобилей и их моделей в аэродинамических трубах зависит от выполнения требований, предъявляемых к измерительным приборам и к самой трубе. Одно из основных требований к трубе – возможность создания воздушного потока высокого качества, которое зависит от того, как изменяется скорость потока в рабочей части во времени и по продольной и главным осям ее поперечного сечения.

Очень важно, чтобы в рабочей части трубы поддерживалась область воздушного потока возможно большего сечения, в которой сохранялось бы поле равномерных прямолинейных скоростей, а область снижения скоростей была бы возможно меньшей. Градиент статического давления по всей длине рабочей части должен отсутствовать, чтобы не менялись условия испытания различных частей автомобилей. Недопустимым считается изменение скорости воздушного потока, превышающее 1%. Для современных высококачественных труб отклонение скорости воздушного потока в отдельных точках рабочей части трубы от ее среднего значения не должно превышать 0,8%.

### **Аэродинамические весы**

Силы и моменты, действующие на модели в аэродинамических трубах, замеряют специальными (аэродинамическими) весами, отличающимися от обычных тем,

что они измеряют силы, направление и точки приложения равнодействующей которых неизвестны. Весы устроены по принципу независимого измерения каждого компонента (рис. 7.7). По числу измеряемых компонентов весы делят на одно-, двух-, трех-, четырех- и шестикомпонентные. В число измеряемых компонентов могут входить силы  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  и моменты  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ , зная которые можно рассчитать величины моментов относительно осей, проходящих через произвольно заданную точку автомобиля. Современные аэродинамические весы позволяют одновременно измерять все компоненты и быстро заменять испытуемые модели, так как имеют два или даже три комплекта весовых механизмов. От конструкции аэродинамических весов зависит система координат, в которой можно определять силы и моменты. Если модель поворачивается относительно весовых механизмов, то замеры проводят в скоростной (поточной) системе координат. Если же поворот осуществляется вместе с весами, то пользуются связанной системой.

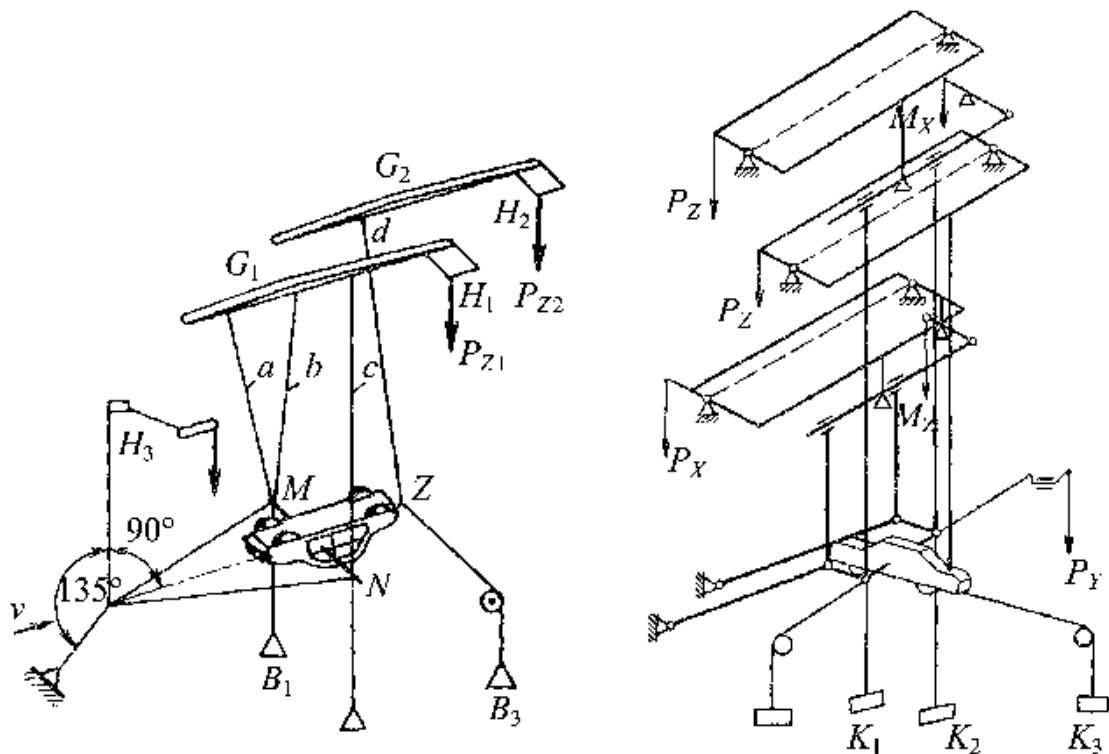


Рис. 7.7. Принципиальная схема устройств трехкомпонентных аэродинамических весов

Модель подвешивают к весам обычно в перевернутом виде, чтобы положительное значение подъемной силы было направлено вниз. Крепят модель в трех точках. Две передние точки крепления выполнены в виде державок, закрепленных в передней части модели, а задняя точка крепления расположена по оси симметрии модели. Натяжение элементов подвески осуществляется контргрузами  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$ . Угол натекания воздушного потока (поворот модели в горизонтальной плоскости) изменяют поворотом весов вместе с моделью на поворотном круге. Возможно также изменение угла атаки специальным регулирующим устройством.

### **Модели автомобилей и их установка в аэродинамической трубе**

*Требования к моделям автомобилей.* Результат эксперимента в аэродинамической трубе достоверен лишь в том случае, когда соблюдено геометрическое подобие модели и автомобиля. Однако в большинстве случаев геометрическое подобие моделей и автомобилей является лишь приблизительным. Обычно такие детали, как оконные выемки, дверные ручки, дождевые желобки, фары, оси, рессоры и т.п. на модели не воспроизводят. Как правило, на моделях не создают каналы для прохода воздуха, охлаждающего радиатор. Особенные трудности представляет также копирование работающего вентилятора. Не имитируется и вращение колес автомобиля.

В качестве материала для изготовления моделей применяют дерево, металлы, пластмассы и пластилин. Большое распространение получили деревянные модели, которые часто для уменьшения их массы изготавливают пустотелыми. Высоким качеством поверхности и точным соблюдением формы (без коробления) отличаются модели из стеклопластика. Однако изготовление таких моделей относится к числу вредных производств. Пластилиновые модели на деревянном каркасе позволяют быстро изменять их форму непосредственно в процессе испытаний.



В аэродинамической трубе имеет место относительное движение только между воздухом и автомобилем, тогда как в действительных условиях автомобиль движется еще и относительно дороги. Поэтому необходима соответствующая имитация влияния поверхности дороги при продувке модели автомобиля в аэродинамической трубе, что определяется способом подвешивания моделей автомобилей (рис. 7.8). Это влияние сказывается главным образом в том, что дорога, оказывая сопротивление пограничному слою воздушного потока, как бы уменьшает дорожный просвет в направлении от передней к задней части автомобиля. Кроме того, воздействие поверхности дороги сказывается также в виде образования воздушных вихрей позади движущегося автомобиля. Масштаб модели должен быть возможно большим, насколько это позволяют размеры аэродинамической трубы.

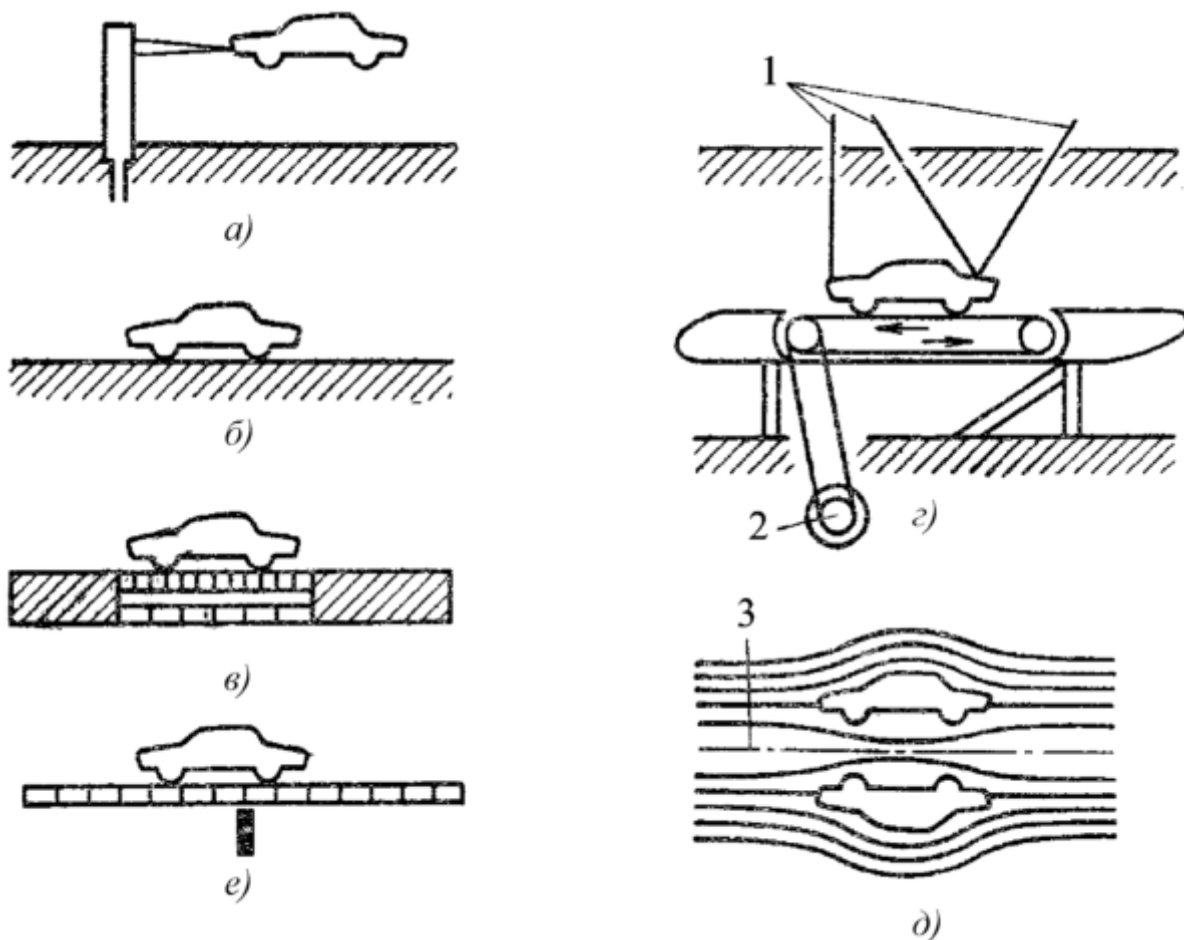


Рис. 7.8. Способы подвешивания моделей автомобилей в аэродинамической трубе –(а,б,в,г,д) :

Антон Алексеевич Хохлов  
Денис Евгеньевич Молочников  
Алексей Леонидович Хохлов  
Ильмас Рифкатович Салахутдинов

**Испытания транспортных и транспортно-технологических машин**  
краткий курс лекций

для подготовки бакалавров очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» - Димитровград: Технологический институт – филиал УлГАУ, 2023.- 113 с.