Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра «Колёсные, гусеничные машины и автомобили»

629.113 (07)
Б447

В.П. Беляев

ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Учебное пособие

Допущено Учебно-методическим объединением вузов РФ по образованию в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов в качестве учебника для студентов, обучающихся по специальности «Автомобиле- и тракторостроение»

Челябинск
2013

УДК 629.113.001.4(075.8)
Б447

Одобрено
учебно-методической комиссией автотракторного факультета

Рецензенты:
В.И. Костюченко, А.Д. Рулевский

Беляев В.П.
Б447 Испытания автомобилей: учебное пособие. / В.П. Беляев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 293 с.

В учебном пособии рассмотрены методы и средства измерений параметров физических процессов, действующих в агрегатах и системах автомобилей, подготовка и проведение различных типов испытаний автотранспортных средств.

Учебное пособие предназначено для студентов всех форм обучения при подготовке специалистов по специальности 190109 «Наземные транспортно-технологические средства» и магистров по направлению 190100 «Наземные транспортно-технологические комплексы», а также может быть полезным для студентов других специальностей и инженерных кадров, связанных с автомобильной отраслью.

УДК 629.113.001.4(075.8)

ISBN 978-5-696-04355-5 © Издательский центр ЮУрГУ, 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..……..... 5
1. НЕОБХОДИМОСТЬ ИСПЫТАНИЙ В ПРОЦЕССЕ СОЗДАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА АВТОМОБИЛЕЙ……..... 8
1.1. Виды и содержание испытаний автомобилей……... 21
1.2. Подготовка испытаний автомобилей……. 36
1.3. Общие условия подбора измерительного оборудования……. 43
2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ……..…… 47
3. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ АВТОМОБИЛЕЙ……..…….. 57
3.1. Индуктивные преобразователи...……..……..... 61
3.2. Магнитоупругие преобразователи……. 67
3.3. Ёмкостные преобразователи…….. 70
3.4. Коммутирующие преобразователи…… 73
3.5. Реостатные преобразователи…….. 74
3.6. Электролитические преобразователи……. 76
3.7. Преобразователи контактного сопротивления……..... 78
3.8. Термометрические преобразователи……..... 80
3.9. Механотронные преобразователи……... 82
3.10. Фотоэлектрические преобразователи……... 84
3.11. Индукционные (генераторные) преобразователи……... 88
3.12. Пьезоэлектрические преобразователи…….. 89
3.13. Термоэлектрические (термопарные) преобразователи……... 93
4. ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ СОПРОТИВЛЕНИЯ (ТЕНЗОДАТЧИКИ) ……..…… . 97
4.1. Крепление тензодатчиков к испытываемой детали…….. 108
4.1.1. Клеящие составы…… 109
4.1.2. Технология наклейки тензодатчиков……... 112
4.2. Защита тензодатчиков от вредных факторов…… 115
5. ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ……. 117
5.1. Тарировка тензодатчиков…… 120
5.2. Температурная компенсация в мостовой схеме…… 125
5.3. Компенсация влияния неизмеряемых сил (сложение и вычитание тензоэффектов)…… 127
5.4. Статические тензометры постоянного тока……... 130
5.5. Мостовые схемы с несколькими тензодатчиками в плече……... 132
5.6. Безусилительные схемы для измерения динамических процессов……. 133
5.7. Измерительные мостовые схемы с тензоусилителем……... 136
5.7.1. Тензометрические усилители…… 141
5.7.2. Электромагнитные реле……. 143
5.7.3. Магнитные усилители…… 144

5.7.4. Электронные усилители…… 145
5.8. Потенциометрические измерительные схемы……. 149
5.9. Тензометрические узлы на базе мостовых измерительных схем…….. 150
6. РЕГИСТРИРУЮЩАЯ АППАРАТУРА…… 154
6.1. Магнитоэлектрические осциллографы……. 156
6.2. Автоматические электронные потенциометры…… 159
6.3. Цифровые тензометрические мосты……. 161
6.4. Многоканальный измерительно-вычислительный комплекс MIC-400D……. 165
7. СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ ……. 169
7.1. Стендовые испытания агрегатов и систем автомобилей…….. 172
7.1.1. Стендовые испытания двигателей внутреннего сгорания……..... 174
7.1.2. Стендовые испытания трансмиссий……. 183
7.1.3. Стендовые испытания рам, кузовов и кабин……... 194
7.1.4. Стендовые испытания подвесок……... 195
7.1.5. Стендовые испытания шин…… 196
7.1.6. Стендовые испытания колёс……. 197
7.1.8. Стендовые испытания тормозных систем……... 199
7.2. Стендовые испытания полнокомплектных автомобилей……. 201
8. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ПО ИСПЫТАНИЯМ И ДОВОДКЕ АВТОМОТОТЕХНИКИ (НИИЦИАМ ФГУП И ГНЦ НАМИ)……. 217
9. СЕРТИФИКАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ…… 226
10. ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ ПО ОЦЕНКЕ ИХ ГАБАРИТНЫХ И ВЕСОВЫХ ПАРАМЕТРОВ……. 241
11. ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ТЯГОВО-СКОРОСТНЫЕ СВОЙСТВА…… 246
12. ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ……. 250
13. ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ, УПРАВЛЯЕМОСТЬ И МАНЕВРЕННОСТЬ…….. 256
13.1. Определение угла поперечной (боковой) устойчивости…….. 257
13.2. Определение бокового крена машины…… 258
13.3. Испытания на увод и занос колёсной машины на повороте……..….. 261
13.4. Испытания автомобилей на управляемость……..… 267
13.5. Испытания автомобилей на маневренность……... 272
14. ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ТОРМОЗНУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ…….. 274
15. ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ПЛАВНОСТЬ ХОДА…… 280
15.1. Определение характеристик передней и задней подвесок…… 280
15.2. Определение характеристик колебаний подвесок……. 283
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК…… 293

ВВЕДЕНИЕ

Основой развития жизни общества является материальное производство, призванное удовлетворять потребности людей в продовольственных товарах, одежде, бытовых изделиях, энергетике, транспорте, жилье и др. Эти потребности постоянно меняются, становятся более избирательными и поэтому сопровождаются необходимостью обеспечивать человека новыми изделиями.

Создание новой техники – процесс сложный и трудоёмкий, требующий комплексного подхода по схеме «потребность – рынки сбыта – наука – техника – производство – реализация». Тесная связь между наукой, техникой и производством обеспечивает благоприятные условия для создания современных изделий высокого уровня. Научные исследования являются начальным этапом разработки новой техники. Для их развития характерна последовательность и целенаправленность, где одни исследования создают основу для других и для дальнейших работ. Эффективность научных исследований, особенно прикладных, зависит от многих факторов и, прежде всего, от созданного научного потенциала, информационной обеспеченности, современной технической оснащенности и привлечения высококвалифицированных кадров. В свою очередь повышение производственного потенциала базируется на передовых научных достижениях. Такими в настоящее время являются нанотехнологии, электроника, бионика, биофизика и многие другие. В тоже время постоянно расширяются познания новых сторон реальных процессов, что способствует созданию технических устройств с ранее неизвестными свойствами. Наряду с этим сама наука все более использует индустриальные методы исследований с применением компьютерных технологий, накопленных знаний и практики их использования.

Научные открытия дают самые общие направления для создания новой техники. Конкретные технические решения находят свое воплощение после теоретических обоснований и лабораторных исследований этих открытий. В зависимости от специфики и области применения новых изделий их разработка складывается из четырёх основных этапов:

1. Фундаментальные исследования, охватывающие в основном общие вопросы материального мира. Они заключаются в открытии сущности и действия природных процессов с целью применения в практических разработках.

2. Поисковые исследования, включающие в себя выбор научной идеи, выявления возможностей и условий использования этих идей в интересах материального производства. Поисковые исследования создают научный задел, на котором основываются последующие прикладные работы.

3. Научно-исследовательские работы (НИР), являющиеся по своей сути прикладными исследованиями. В результате НИР информация о возможностях создания новой техники превращается в принципиальную схему разработки конкретного образца изделия. К работам прикладного направления относятся разработки изделий, действующих на новых принципах, повышающих технический уровень выходных параметров, обеспечивающих решение специальных проблем,

улучшающих качества эксплуатационных свойств и др. Сделанные открытия и теоретические исследования находят практическое применение в прикладных работах. При этом проверяется и обосновывается экономическая целесообразность конструктивного и технологического решения. Продолжением НИР являются опытно-конструкторские работы (ОКР).

4. Опытн0-конструкторские работы, направленные на создание конкретных образцов изделий новой техники (комплексов и систем машин, агрегатов, узлов, управляющих устройств, приборов и т. п.). ОКР материально воплощают результаты и рекомендации НИР. При этом разрабатываются техническая документация и образцы функционирующего изделия. На стадии освоения научно-технических результатов опытное изделие приспосабливается к специфическим условиям предприятия-изготовителя и условиям эксплуатации. Созданные образцы подвергаются разнообразным испытаниям, по результатам которых корректируется конструкторская и технологическая документация для передачи её предприятию-изготовителю для подготовки изделия к производству.

Техника в наши дни получила стремительное развитие. Темпы смены новых поколений технических средств стали опережать темпы смены разработчиков. Теперь уже за время активной трудовой деятельности специалиста в передовых отраслях производства происходит смена нескольких поколений технических средств. Столь быстрое техническое перевооружение вызывает не менее быстрое устаревание накопленных знаний и требует замены их новыми. В тоже время к разработчикам предъявляются все более высокие требования, перед ними ставятся новые задачи. Поэтому необходимо постоянно совершенствовать свои знания, исходя не только из конкретной специализации, но и всей отрасли в целом, чтобы не отставать от общего прогресса в области развитии техники,

В настоящее время наука превратилась в непосредственную производительную силу. Благодаря ей совершенствуются технологии создания изделий, работающих на совершенно новых принципах. Характерно, что определенное научное достижение, имеющее четко сформулированный законченный вид, может явиться основой для создания многих образцов техники.

Борьба за сокращение сроков создания и постановки на производство новых изделий стала одной из наиболее характерных черт современной технической политики промышленных предприятий. Эта тенденция в полной мере относится к автомобилестроению.

Высокая конкуренция на автомобильном рынке неизбежно вызывает необходимость ускорять разработку и постановку на производство новых моделей. При чрезмерном удлинении сроков создания новой конструкции на производство может быть поставлена морально устаревающая машина.

Можно предположить, что совершенствование методов разработки изделия, более широкое внедрение в конструкторскую практику новых технологий проектирования, использование компьютерных возможностей, применение математического моделирования во всех аспектах ОКР позволят в конце концов приблизиться к такому уровню технического прогресса воплощения идей, при котором,

созданная умами конструкторов и руками высококвалифицированных производственников, новая модель автомобиля не потребует длительной экспериментальной "доводки", что значительно сократит время и стоимость проектирования и постановки на производство машины. А пока производству новых моделей автомобильной техники неизбежно предшествует большой комплекс разносторонних исследований и испытаний.

Необходимость проведения экспериментальных работ в процессе создания новых автомобилей или при модернизации уже выпускаемых моделей определяется, с одной стороны, усложнением конструкций, а с другой – необъятным разнообразием внешних и внутренних воздействий, которые невозможно в настоящее время комплексно смоделировать и точно учесть.

Ускорение разработки и производство новых образцов автомобилей в значительной мере обеспечивается повышением научно-технического уровня испытаний, которые характеризуются развитием методологии и техники эксперимента, внедрением современных методов математического и компьютерного моделирования, оснащением испытательных центров современными приборами и оборудованием. Широкое применение находят рациональная организация испытаний, современные испытательные стенды, различные автоматические управляющие системы, новое измерительное и обрабатывающее оборудование, которые в комплексе уменьшают затраты времени, труда и средств на проведение испытаний.

В создании востребованных, конкурентоспособных, экономичных и экологичных конструкций автомобилей, отвечающих требованиям рынка, на ведущих отечественных и зарубежных автомобильных предприятиях принимают участие большие коллективы работников различных специальностей.

Вполне очевидно, что на достигнутом уровне технического прогресса развитие и совершенствование любых типов автомобилей немыслимо без согласованной работы конструкторов, производственников и испытателей. Роль последних приобрела особую значимость, так как оценка новой конструкции, определение ее соответствия техническому заданию и общим требованиям времени в конечном итоге принадлежит испытателям.

Инженерная деятельность по сути её проявления является умственным трудом. Профессиональные знания, лежащие в его основе, приобретаются в процессе обучения. Опыт и навыки приобретаются в практической работе.

Сегодня имеется такое большое количество специальной литературы и информационных материалов, что их изучение может быть только выборочным. Поэтому понимание необходимости новых технических знаний, умение ориентироваться в информационных потоках, знание мирового уровня развития техники по своей специальности позволяют инженеру приобрести необходимый опыт. Успех в этом деле во многом зависит от работоспособности, настойчивости и умения организовать свой труд. Знания, непрерывно пополняемые в процессе трудовой деятельности, и навыки, основанные на личных способностях, трудолюбии и преданности своей профессии, позволяют человеку стать эрудированным, способным и востребованным специалистом.

1. НЕОБХОДИМОСТЬ ИСПЫТАНИЙ В ПРОЦЕССЕ СОЗДАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА АВТОМОБИЛЕЙ

Весь процесс создания нового образца или модернизированного варианта автомобиля состоит из целого комплекса проектно-конструкторских и опытно-экспериментальных работ.

Решение на разработку конструкции новой или модернизированной модели является основной предпосылкой для выбора главных конструктивных и эксплуатационных параметров будущей машины. Эти параметры должны соответствовать трём главным требованиям.

1. Технические требования, определяющие способность машины выполнять технологические функции и производственные задания на заданном уровне эксплуатационных свойств.

2. Социальные требования, определяющие способность машины удовлетворять потребности общества, обеспечивать облегчение труда, улучшение его условий и повышение безопасности;

3. Экономические требования, определяющие целесообразность внедрения новой машины в производство, то есть возможность получения определённой экономии в результате применения этой машины.

В процессе проектирования автомобиля сначала намечается общая схема задач, которая затем последовательно развивается и уточняется в деталях.

Взаимосвязь основных этапов ОКР в процессе создания новой модели автомобиля показана на рис. 1.

На предварительном этапе ОКР определяется необходимость создания новой или модернизированной модели автомобиля, которая диктуется требованиями рынка, так как падение спроса на выпускаемую машину вынуждает предприятие снимать её с производства по экономическим показателям. Поэтому при правильной стратегии планирования типажа выпускаемых моделей необходимы грамотные исследования перспектив рынков сбыта автомобильной техники.

Специалисты-маркетологи постоянно следят за тенденциями изменения отечественного и зарубежного рынков для своевременного обновления выпускаемой продукции. В противном случае предприятие терпит убытки и может стать банкротом. Это не относится к техническим заданиям на проектирование и изготовление специальной автомобильной техники, которая производится единичными экземплярами и, как правило, носит уникальный характер.

В этой связи следует рассмотреть некоторые аспекты комплексного процесса проектирования автомобилей.

Экономические преобразования в России обнажили проблемы развития отечественного автомобилестроения сразу по многим направлениям. Приток импортной автомобильной продукции потеснил на российском рынке отечественные автомобили. Встала проблема повышения конкурентоспособности наших автомобилей, которая усугубляется тем, что в результате распада СССР произошёл разрыв многих кооперационных связей.



Рис. 1. Основные этапы ОКР по созданию нового автомобиля

Вне России осталось около 45 % автомобильных предприятий и более 30 % заводов, производящих комплектующие изделия. Это заставило российских автопроизводителей переоснащать производственные мощности, восстанавливать и создавать новые кооперационные связи, в том числе с зарубежными фирмами и главное – разрабатывать и осваивать новые современные модели автомобилей,

Большинство типажа современных легковых и грузовых автомобилей от ведущих мировых фирм выпускается массовым производством. Поэтому ошибки при выборе моделей и плохом проектировании их конструкций тиражируются в большом объёме и могут принести ощутимые потери для производителя. В настоящее время проектирование и освоение новой модели автомобиля принимается только после тщательного обоснования экономической эффективности её производства и оценки конкурентоспособности в выбранном сегменте рынка. Ведущие мировые автомобильные концерны имеют широкие потенциальные возможности увеличения производства машин, однако не могут в полной мере их использовать из-за насыщенности мирового рынка сбыта. Наши отечественные автозаводы в 80-х годах выпускали более 820 тысяч грузовиков в год, но уже в 2001 году по разным причинам вынуждены были производить лишь 174,4 тысяч грузовых автомобилей в год. В последнее время производственные мощности российских автозаводов неуклонно возрастают, и поэтому имеется реальная возможность значительного увеличения выпуска продукции, если сложится благоприятная рыночная ситуация.

Уже сегодня на нашем внутреннем рынке появилась ощутимая конкуренция между отечественными и зарубежными автопроизводителями, а с учётом того, что мировые рынки давно поделены, внедриться туда российским фирмам крайне сложно. В условиях рыночной экономики предъявляются жёсткие требования к разработчикам и производителям автомобильной техники, так как в отличие от существовавшего когда-то у нас планово-распределительного производства финансовое благополучие современных предприятий зависит прежде всего от выпуска конкурентоспособной продукции.

Проектирование и освоение новой продукции в СССР велось на основе ГОСТ 15.001-88 «Разработка и постановка продукции на производство. Основные положения». По этому документу техническое задание на проектирование новых автомобилей разрабатывалось с учётом требований и нормативов планирующих органов, согласно установленному для конкретного автозавода модельному ряду. На этапах разработки технического задания, эскизного и рабочего проектов, испытаний и доводки реализовывались уже разработанные и принятые технико-экономические параметры конкретной модели нового автомобиля. Причем предпочтение отдавалось техническим параметрам и во главу угла ставились в основном производственные проблемы. Такой подход к разработке новых конструкций был обусловлен отсутствием конкуренции на внутреннем рынке, централизованным распределением автомобилей через систему Госснаба.

Производители отечественных автомобилей не были экономически заинтересованы в повышении их технического уровня, улучшения их потребительских

качеств, экономичности, экологичности и очень редко производили смену выпускаемых моделей.

В настоящее время жизненный цикл зарубежных автомобилей длится в среднем 5…10 лет, в России до сих пор – от 15 до 35 лет. Например, легковой автомобиль Москвич-412 выпускался более 30 лет, грузовой автомобиль ГАЗ-51 – 29 лет, ЗИЛ-130 – 32 года.

Длительное время до начала рыночных преобразований российские автозаводы обновляли выпускаемые модели на основе утвержденных на уровне отраслевого министерства пятилетних и комплексных планов развития науки и техники. В период, предшествующий планируемому, научно-исследовательские организации, конструкторские отделы, инженерно-технические подразделения автозаводов на основе развития и освоения типажа, а также заданий министерств и других заказчиков с учётом комплексных программ по техническому и экономическому развитию общества подготавливали предложения по разработке новой техники. Эти предложения предварительно обсуждались на технических советах подразделений и представлялись в вышестоящие организации, на которые возлагалась ответственность за организацию работ по разработке и производству новых автомобилей. Такая система создания новых моделей не предусматривала оценки конкурентоспособности создаваемого автомобиля, не было даже методик её измерения, хотя и производилась частичная сравнительная оценка нового автомобиля с зарубежными и отечественными аналогами. Каких-либо комплексных показателей не применялось. Это был существенный недостаток разработки новых конструкций, так как начиная с этапа зарождения идеи, усилия разработчиков должны быть направлены прежде всего на обеспечение конкурентоспособности товара в выбранном сегменте рынка. В этом случае перенесение акцентов с ситуационного управления на стратегическое планирование производственно-хозяйственной деятельности предприятий потребовали использования новых форм и методов проектирования автомобилей.

Недостатком прежнего отечественного автомобилестроения можно также считать деление выпускаемых автомобилей на продукцию для внутреннего и внешнего рынков. В этом случае автомобили, предназначенные для внутреннего рынка, могут легко вытесняться импортными моделями. Так происходит в настоящее время на российском рынке легковых автомобилей. Ориентация выпускаемых автомобилей на внешний рынок обеспечивает их успешную реализацию и перспективы процветания фирмы. Именно так работают японские, южно-корейские и многие европейские фирмы, которые 60 % выпускаемых автомобилей экспортируют. Отечественные производители, ориентируясь в основном на внутренний рынок, уже отстали в техническом уровне от зарубежных фирм почти на 20 лет.

Комплексное планирование проектных работ позволяет определить конкретные цели и обосновать параметры новой модели, разработать структуру всего процесса проектирования, рассчитать необходимые объёмы и источники финансирования, сформировать на конкурсной основе коллектив исполнителей, подготовить и заключить необходимые договора, определить сроки выполнения работ,

составить график работы над проектом, рассчитать потребность в ресурсах, составить смету и бюджет проекта, спланировать и учесть возможный риск, обеспечить контроль за выполнением всех работ.

Исходные данные для проектирования главным образом базируются на маркетинговых исследованиях, когда автомобиль планируется использовать в конкретном сегменте рынка. При таком подходе возможность создания конкурентоспособного, экономически эффективного автомобиля значительно повышается. Недоработки программно-целевого метода проектирования при создания новой модели автомобиля приводили к недостаточному пониманию оценки конкурентоспособности новой модели на этапах её разработки. Как известно, неконкурентоспособная продукция рынку не нужна, поэтому производитель, начиная с этапа предпроектных исследований должен приложить все усилия на должную организацию проектных работ. Упущения проектного этапа уже никакими средствами не поправишь на других этапах жизненного цикла товара.

Жизненный цикл любого автомобиля начинается с организации проектных работ и его будущее определяется качеством научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), Поэтому предприятие, претендующее на высокие конкурентные позиции, должно иметь в своем арсенале совершенную технологию разработки нового автомобиля, которая исключала бы постановку на производство неконкурентоспособного товара.

От начала проектирования и до утилизации автомобиль проходит ряд этапов, главные из которых − маркетинговые исследования, разработка, изготовление, реализация, эксплуатация, утилизация. Проектирование является ключевым этапом жизненного цикла изделия, так как именно здесь формируется и разрабатывается материальная база идеи, рожденной потребностями. Ведущие автомобильные фирмы давно учитывают общеизвестное правило «70 – 20 – 10», согласно которому 70 % отказов происходит из-за упущений при проектировании, 20 % – из-за некачественного изготовления и 10 % – из-за несоблюдения правил эксплуатации. Если фирма обладает способностью разрабатывать, производить и обслуживать в эксплуатации свои изделия лучше, чем конкуренты, она имеет перспективу утвердиться в выбранном сегменте модельного ряда автомобилей. Принятая на предприятии технология проектирования и разработки должна быть направлена на комплексное решение как технических, так и коммерческих проблем проектирования новой модели.

Оценочные критерии нового автомобиля должны превосходить показатели конкурентов. На самых ранних этапах проектирования необходимо добиваться конкурентоспособности новой модели. Её оценочный показатель должен быть не меньше, чем у автомобилей-конкурентов. Если новый автомобиль по эффективности в эксплуатации явно уступает аналогам, “провал” на рынке ему обеспечен.

Новый автомобиль должен приносить прибыль производителю. Автозаводы уже сегодня принимают решение о выпуске нового автомобиля только тогда, когда инвестиции окупаются в разумные сроки, а прибыль от новой модели будет значительно превышать доходы, получаемые от выпускаемых автомобилей.

Кроме технических характеристик и экономичности, к современному автомобилю предъявляются очень высокие требования по безопасности и экологичности, которые обычно нормируются на международном (Правила ЕЭК ООН, Директивы ЕС) или государственном уровнях. Несоответствие автомобилей международным требованиям экологичности и безопасности вытесняют их с международного рынка. Яркий тому пример – российские грузовики, двигатели которых не соответствуют требованиям Правил R49-02B ЕЭК ООН (Евро-3 и Евро-4), в их тормозных системах отсутствует АБС (Правила ЕЭК ООН № 13), внешний шум превышает нормативы Правил № 51 ЕЭК ООН. Естественно, здесь и речи не может быть об их конкурентоспособности на внешнем рынке. А нормативы в этих правилах постоянно ужесточаются, особенно по экологичности, нельзя ориентироваться на устаревшие стандарты. Так, требования по выбросу вредных веществ в составе отработавших газов двигателей Евро-2 в странах ЕС были внедрены в 1996 году, а в России – лишь в 1999 г. Ещё с 1.10.2000 г. в странах ЕС внедрены нормативы Евро-3, в 2005 г. внедрены нормативы Евро-4, в 2008 г. – Евро-5, а наши отечественные двигатели ещё находятся на стадии освоения серийного выпуска двигателей, соответствующих требованиям Евро-3.

При разработке технологии комплексного проектирования конкурентоспособных автомобилей необходимо использование принципа многовариантности.

Проектирование автомобиля осуществляется на начальных этапах его создания и представляет собой процесс, складывающийся из ряда последовательно выполняемых работ, в ходе которых создается конечный продукт – чертёжно-техническая документация (ЧТД) для производства. Основа экономической эффективности и конкурентоспособности новой модели закладывается в предпроектном этапе. Эта основа материализуется при подготовке производства нового автомобиля и в полной мере реализуется в его эксплуатации. Предпроектный этап сочетает техническую деятельность с коммерческой и базируется на маркетинговых исследованиях и деятельности проектно-исследовательской службы фирмы.

В каждом из этапов проектирования должен применяться комплексный подход к проектированию с соблюдением следующих принципов:

– процесс осуществления поставленной цели начинается с разработки общей системы подготовки и реализации производства новой модели автомобиля;

– жизненный цикл автомобиля при проектировании новой модели рассматривается как целостная система, причём результаты одного этапа являются входными данными последующего этапа;

– для достижения общей цели рассматриваются и анализируются альтернативные варианты решений;

– цели отдельных этапов не должны противоречить целями всей системы;

– общая система состоит из подсистем и они иерархичны.

В предпроектном этапе разработки нового автомобиля необходимо выполнить комплекс предварительных работ:

– исходя из рыночного спроса, установить тип проектируемого автомобиля;

– выявить потенциальных покупателей, рынки сбыта и необходимый объём

выпуска выбранного типа автомобиля с учётом заданного периода производства;
– определить автомобили-конкуренты, их технико-экономические показатели, потенциальные возможности;
– установить тенденции развития выбранного типа автомобиля и технико-экономические перспективы, опережающие параметры автомобилей-конкурентов;
– на основе предварительно принятых технических показателей определить себестоимость и технико-экономическую эффективность в сравнении с аналогами;
– установить возможные каналы сбыта и организационные мероприятия по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей, разработать мероприятия по действенной рекламе.

На всех этапах комплексного проектирования новой модели автомобиля необходимо детально планировать выполняемые работы.

1. Предпроектные работы:
– анализ рынка в выбранном сегменте моделей автомобилей;
– прогнозирование спроса;
– определение предпочтений покупателей;
– выбор типа нового автомобиля;
– оценка технического уровня автомобилей-конкурентов;
– прогнозирование параметров разрабатываемого автомобиля;
– анализ внутренних и международных нормативных требований;
– оценка собственных производственных возможностей;
– позицирование на целевом рынке;
– установка норм конкурентоспособности.

2. Разработка технического задания:
– правильный выбор конструктивных и эксплуатационных параметров нового автомобиля, их оптимизация по критерию конкурентоспособности;
– технико-экономический анализ эксклюзивности и перспективности параметров нового автомобиля, учёт требований потребителей;
– обеспечение современного дизайна и требований экологичности;
– ориентация на новые материалы и передовые технологии;
– предварительный расчёт себестоимости и лимитной цены проектируемой модели автомобиля;
– предварительное определение объёма выпуска нового автомобиля;
– применение многовариантности решений.

3. Разработка эскизного проекта:
– выбор компоновки новой модели;
– разработка кинематических схем агрегатов и систем нового автомобиля;
– оценка уровня унификации и стандартизации новой модели;
– технико-экономический анализ проектируемого автомобиля в целом.

4. Разработка рабочего проекта:
– разработка полного комплекта ЧТД (схемы, сборочные чертежи, рабочие чертежи, уточнённые расчёты, описание конструкции и др.);
– всестороннее обсуждение рабочего проекта и внесение изменений в ЧТД.

5. Разработка ЧТД на испытательные стенды и установки, на ходовые макеты:
– отбор новых узлов, агрегатов и систем, оптимизация их параметров;
– выбор современных стендов или создание ЧТД на их изготовление;
– разработка ЧТД на изготовление ходовых макетов для проведения дорожно-полигонной проверки новых агрегатов и систем.

6. Создание и доводочные испытания опытных образцов нового автомобиля:
– сборка опытных образцов нового автомобиля с выявлением конструктивных ошибок, корректировка ЧТД;
– разработка программы доводочных испытаний;
– общая организация проведения доводочных испытаний новой модели;
– проведение доводочных испытаний, выявление недостатков новой модели и внесение изменений в ЧТД;
– проверка соответствия новой модели автомобиля и его технико-эксплуатационных показателей техническому заданию, проектной документации и действующим нормативным документам;
– проверка нескольких вариантов предлагаемых конструктивных решений и выбор оптимального;
– проверка работоспособности автомобиля и определение предварительной надёжности новой машины;
– уточнение эксплуатационных параметров;
– выявление недостатков конструкции и их устранение с внесением изменений в чертёжно-техническую документацию;
– определение трудоёмкости и стоимости технического обслуживания и технического ремонта;
– определение экономической эффективности использования машины;
– проверка соответствия международным нормам и требованиям экспорта;
– выявление экспортных возможностей новой модели.

7. Технологическая подготовка производства:
– разработка технологических процессов изготовления и сборки новой модели автомобиля;
– использование системы стандартов ISO 9000;
– сертификация производства;
– организация пооперационного контроля качества;
– организация входного контроля качества комплектующих изделий и применяемых материалов;
– минимизация финансовых, временных и трудовых затрат;
– разработка мероприятий по сокращению сроков освоения производства;

8. Производство и испытания установочной партии новых автомобилей:
– отработка технологии изготовления и сборки новой машины, обучение рабочих и технического персонала;
– определение окончательных значений конструктивных, эксплуатационных, экономических, экологических и социальных показателей нового автомобиля;
– оценка окончательной надёжности автомобиля;

– оценка общего технического уровня новой модели и её соответствия международным экологическим требованиям и нормам безопасности;
− уточнение паспортных данных и гарантийных обязательств.
− определение экспортных возможностей.

9. Разработка мероприятий по организации подготовки и продаж автомобилей, которые готовятся к производству:
– создание широкой и эффективной отечественной и зарубежной дилерской сети;
– разработка мероприятий по индивидуальной комплектации нового автомобиля;
– разработка ценовой политики с учётом спроса;
– разработка политики поддержки имиджа фирмы на должном уровне.

10. Планирование эксплуатационных возможностей нового автомобиля:
– разработка мероприятий по получению полезного эффекта;
– разработка мер по минимизации совокупных эксплуатационных затрат;
– развитие сети технического обслуживания и ремонта;
– разработка мероприятий по выполнению гарантийных обязательств.
– организация утилизации отработавших свой срок автомобилей.

При конструировании автомобилей сегодняшние новшества завтра становятся обычными решениями, поэтому технические достижения, дающие экономический эффект, следует учитывать ещё на стадии проектирования.

На первой стадии изыскательных и конструкторских работ на основе предварительных данных прорабатывается эскизный проект. Этот проект рассматривается на научно-техническом совете (НТС) предприятия, где обсуждаются положительные и отрицательны стороны выполненных работ и вносятся коррективы в ЧТД. По мере накопления информации, уточнения исходных данных, увеличения конструкторского, статистического, экспериментально-исследовательского и расчётного материалов появляется возможность переходить к разработке рабочего проекта. На этом этапе ОКР создаются уточнённые чертежи и расчёты, макеты и необходимое испытательное оборудование. Рабочий проект тоже выносится на обсуждение членами НТС, где принимают участие все главные специалисты предприятия (главный конструктор, главный технолог, главный металлург, главный сварщик, начальник отдела снабжения и др.). Затем после учёта всех замечаний и изменений изготавливаются узлы и агрегаты нового автомобиля, которые проходят этап всесторонних испытаний на стендах. По результатам этих испытаний уточняется ЧТД и вносятся изменения в конструкцию механизмов.

Следующий этап ОКР – сборка, опытных образцов автомобилей. Этот этап открывает обширные работы по доводке новой модели. В экспериментальном цехе собирается 3…5 опытных образцов, которые выходят на основные заводские испытания (если они проводятся в условиях завода) или на основные полигонные испытания (на автомобильном полигоне).

Технологи по уточненным чертежам создают технологическую документацию на изготовление новой модели и вместе с отделом подготовки производства создают новые технологические линии для выпуска автомобилей. Эти производственные мощности отлаживаются и на них производится выпуск автомобилей

установочной партии (20…25 экземпляров). Основная цель испытаний установочной партии – отработка технологии изготовления, уточнение чертежно-технической документации по результатам нового производства, контроль качества производства, сборки и продукции поставщиков.

После постановки на производство испытаниям подвергаются серийные или массовые образцы, то есть автомобили текущего производства. Эти испытания не прекращаются в течение всего периода производства и реализации автомобилей.

Последним этапом ОКР являются испытания автомобилей (по утверждённой технологии), прошедших капитальный ремонт (если он заранее предусмотрен).

Для разработки эффективного, конкурентоспособного автомобиля должны быть обеспечены четыре основные условия:

1) качество маркетинговых исследований и предварительных НИР («вход») должны быть высокими;

2) качество работ на этапе разработки, то есть квалификация разработчиков и применяемые методы проектирования, должно отвечать условиям создания конкурентоспособного автомобиля;

3) внешняя и внутренняя среда и обстановка должны быть благоприятными для успешной работы;

4) организация и материально-техническое обеспечение работ, способствующие переработке качественного «входа» системы в качественный «выход» должны быть на высоком уровне.

Оценка качества “выхода” при комплексном системном подходе к проектированию равна низшей оценке предыдущих элементов, то есть, если не обеспечен высококачественный «вход», то не приходится ждать качественного «выхода». Вот почему при маркетинговой концепции разработки новых конструкций автомобилей особое внимание уделяется предпроектному этапу – стратегическому маркетингу, предшествующему этапу составления технического задания.

Процесс разработки насквозь пронизывается идеей наиболее полного соответствия нового товара требованиям потребителей и его конкурентоспособности. Если автомобиль не соответствует запросам покупателей и уступает конкурирующим моделям по интегральному показателю «качество − цена», то он не найдет спроса на рынке, что в свою очередь может привести к огромным потерям фирмы.

Причинами неудач товара на рынке могут быть:

– неправильное определение нужд потребителей;
– неправильное представление у потребителей о новом автомобиле;
– плохое качество изготовления;
– низкие эксплуатационные показатели нового автомобиля;
– недостаточные маркетинговые исследования, по результатам которых неверно определены потенциальные рынки, объём производства, цена автомобиля;
– плохой дизайн автомобиля;
− недостаточная комфортабельность;
– недостаточный анализ автомобилей-аналогов и деятельности конкурентов;
– низкие показатели безопасности автомобиля;

– запаздывание в организации или отсутствие всех служб сервиса автомобилей.

Перечисленные причины неудачи новой модели автомобиля на рынке должны быть учтены уже в техническом задании. Для этого оно должно разрабатываться на основе комплексного подхода к проектированию.

Основные факторы, которые необходимо анализировать и учитывать на протяжении жизненного цикла вновь создаваемого товара, в том числе и нового автомобиля, приведены на рис. 2. Перечисленные ниже работы определяют конкурентоспособность и эффективность выпускаемого товара.

Среди основных этапов ОКР проектные работы занимают не более 20 % временных, трудовых и финансовых затрат, остальное приходится на испытания. Поэтому автопроизводители стремятся по возможности сокращать затраты на испытания, так как от этого зависит финансовая ситуация на предприятии.

Экспериментальные работы убедительно свидетельствуют о том, что для сокращения сроков и затрат на ОКР необходима, так называемая, «рациональная организация испытаний» (РОИ). Под этим термином понимается такой комплекс организационных и технических решений, который обеспечивает в заданные сроки получение всесторонней информации о показателях испытываемых изделий и выработку обоснованных рекомендаций по доработке их конструкций при минимально возможных финансовых и трудовых затратах.

Критериями РОИ и совершенства той или иной системы испытаний по "доводке" конструкции новых изделий должны быть:

– календарная длительность всего комплекса испытаний;

– степень «доведенности» конструкции изделия к моменту начала его производственного выпуска (серийного или массового);

– трудоёмкость и себестоимость проводимых испытаний.

Система испытаний изделий, состоящих из небольшого числа элементов, обычно несложна и нетрудоёмка. К таким изделиям относятся: подшипники, пружины, рычаги, тяги, кронштейны и т. п. Эксплуатационные режимы нагружения таких изделий, как правило, легко воспроизводятся даже в условиях стендовых условиях.

Значительно более трудоёмкой является система испытаний многоэлементных изделий (коробки передач, подвески, рулевые управления, ведущие мосты, несущие системы и т. п.). Условия эксплуатации таких агрегатов очень разнообразны и трудновоспроизводимы. Именно поэтому «доводка» конструкции автомобилей должна производиться в плане разнообразных испытаний и исследований с учётом требований построения многофакторных экспериментов.

Несмотря на существенные сдвиги в деле проведения экспериментальных исследований, никакая, даже самая совершенная, система «доводочных» испытаний в настоящее время не может обеспечить выявление и устранение всех недостатков новых автомобилей до начала их производства. Поэтому доработка конструкции в процессе производственного выпуска неизбежна. Однако, конструктивная «доведенность» автомобилей на ранних этапах должна обеспечивать минимум испытаний выпускаемых образцов текущего производства.



Рис. 2. Факторы, определяющие конкурентоспособность и эффективность товара на этапах его жизненного цикла

Основными способами осуществления рациональной системы испытаний автомобилей должны быть:
– использование теоретических основ РОИ;
– применение обоснованного комплекса типов испытаний, обеспечивающих получение достаточно полной и достоверной информации;
– использование методов испытаний, обеспечивающих максимально возможное сокращение сроков получаемой информации;
– рациональная последовательность проведения различных экспериментов;
– привлечение наиболее квалифицированного состава испытателей;
– использование наиболее целесообразного комплекса испытательных стендов, оборудования и приборов;
– использование эффективной системы мероприятий по устранению недостатков и контроля за исполнением принятых решений.

Принципиальная схема испытаний и доводки конструкции новых или модернизированных автомобилей с применением РОИ показана на рис. 3.

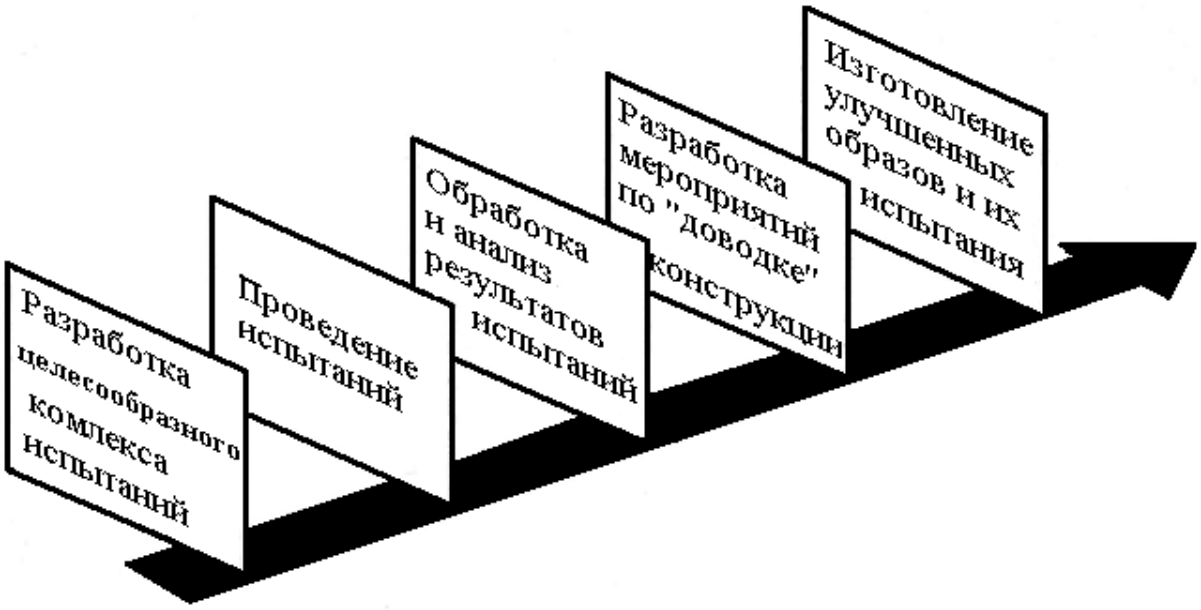


Рис. 3. Схема построения испытаний автомобилей с использованием РОИ

Впервые РОИ была разработана в авиастроении, где затраты на проведение испытаний вновь созданных образцов летательных аппаратов были очень большими. Затем РОИ стала внедряться в кораблестроение, в настоящее время она используется в самых разных отраслях промышленности, в том числе и в автомобильной отрасли.

Рациональная организация испытаний базируется на специальных теоретических разработках и прикладных науках с использованием математической статистики и теории вероятностей. Причём РОИ может претерпевать значительные

изменения в зависимости от объекта испытаний, поставленных целей, условий экспериментов и объёмов получаемой информации. Но в любом случае применение РОИ гарантированно обеспечивает сокращение времени испытаний, трудовых и финансовых затрат. В России наиболее полная и качественная РОИ, предназначенная для испытаний различных автотранспортных средств, применяется на центральном автомобильном полигоне НАМИ в г. Дмитрове. Кроме того, собственные РОИ и (или) отдельные её аспекты разработаны и успешно используются на ведущих автомобильных предприятиях России (на ВАЗе в г. Тольятти, на ГАЗе в г. Нижнем Новгороде, на КАМАЗе в г. Набережные Челны, на автозаводе УРАЛ в г. Миассе и на других предприятиях).

1.1. Виды и содержание испытаний автомобилей

Испытания являются источником почти всех достоверных сведений о свойствах и качестве автомобильной техники на всем протяжении её жизненного цикла (от разработки проектов до истечения срока службы и утилизации) и служат основанием совершенствования конструкции, технологии изготовления, планирования снабжения запасными частями, технического обслуживания в эксплуатации. Синонимом понятия «испытания» во всех случаях является эксперимент. Полностью подпадая под обобщенное понятие продукции по ГОСТ 16504-81, испытания автомобильных транспортных средств (АТС) рассматриваются как экспериментальное определение значений параметров и показателей качества в процессе их функционирования или при имитации условий эксплуатации, а также при воспроизведении воздействий по заданной программе.

При создании новых моделей или модернизации выпускаемых машин, при организации технической эксплуатации действующего парка по результатам испытаний оценивают технико-экономические показатели функционирования АТС в различных условиях, их соответствие требованиям стандартов, технических условий, нормалям, требованиям потребителей и соответствие технического уровня конструкции достижениям в мировом производстве аналогов.

Множество задач и целей испытаний, сложность и высокая стоимость их проведения для все более усложняющихся конструкций требуют тщательной классификации видов испытаний с тем, чтобы каждый раз при их организации сделать оптимальный выбор назначения, объёма, условий и других обстоятельств.

Совокупность испытаний на разных этапах жизненного цикла конструкции составляет систему испытаний, отражающую не только специфические особенности автомобильной техники, но и особенности условий их функционирования и использования.

В отечественной автомобильной промышленности разработана и стандартизирована по большинству параметров система всесторонних испытаний различных категорий автомобилей, начиная от макетных и опытных образцов новых моделей и кончая образцами текущего производства и автомобилями, прошедшими капитальный ремонт (ГОСТ 16 504-74).

На рис. 4 приведена классификация основных видов испытаний автомобилей по важнейшим признакам, определяющим содержание, объёмы и способы проведения экспериментальных работ, которые показаны в таблице 1.

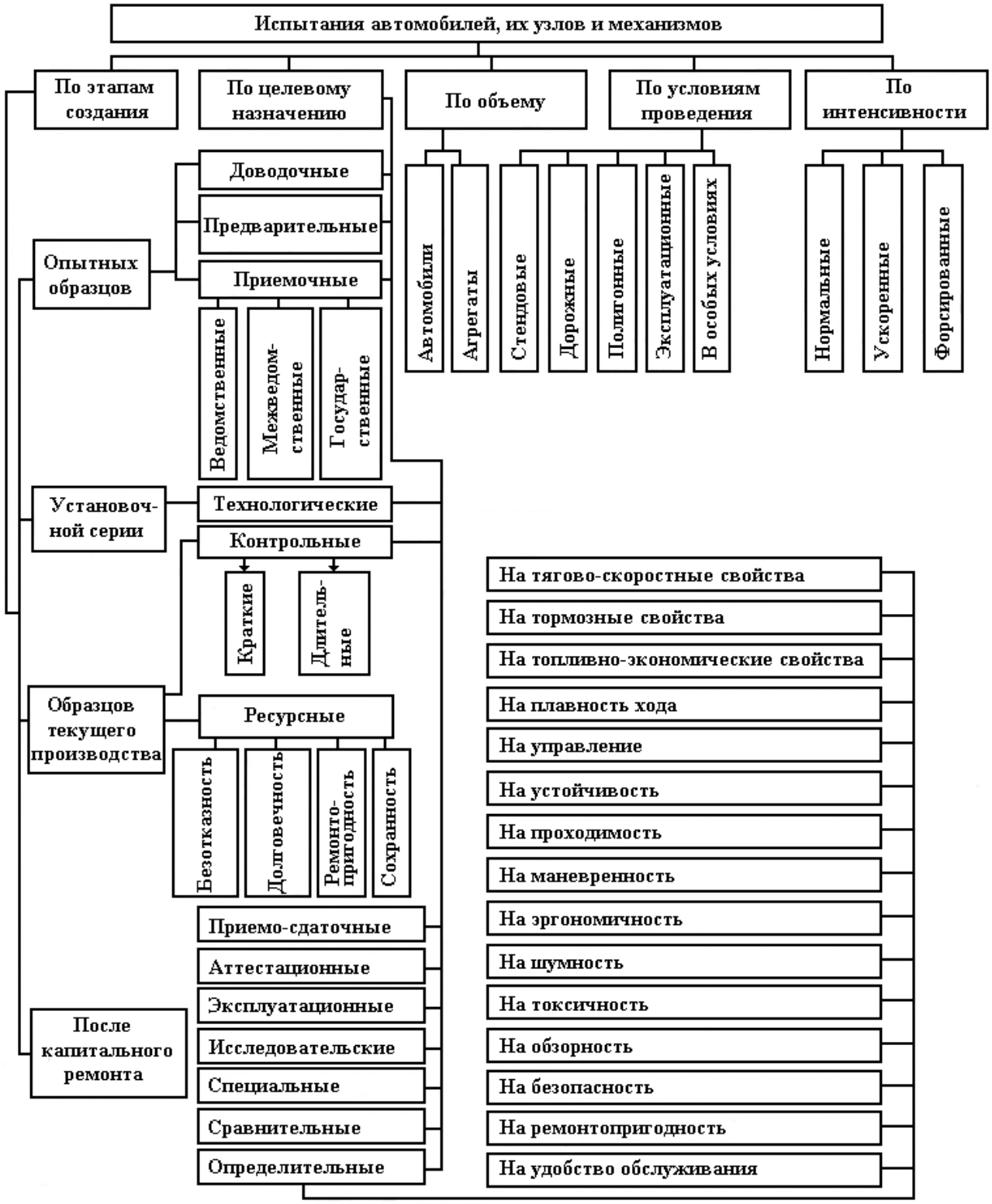


Рис. 4. Классификация испытаний автомобилей

Таблица 1

Виды испытаний	Объекты испытаний	Цели испытаний
1. Исследовательские	Любые	Исследовательские испытания в необходимых случаях могут проводиться на любом этапе разработки, производства и эксплуатации машин для нахождения (поиска) оптимальных конструктивных решений, углубленного изучения рабочих процессов полнокомплектных машин, их систем, агрегатов, узлов и деталей с целью оценки эффективности и целесообразности вносимых изменений в конструкцию, технологические процессы изготовления и правила эксплуатации, а также совершенствования технологий проектирования и испытаний
1.1. Поисковые	Макетные и опытные образцы	Выбор и обоснование оптимальных значений показателей эксплуатационных свойств, проверка и подтверждение компоновочных схем, конструктивных параметров, применяемых материалов и т. п., отработка технических требований для включения в техническое задание (ТЗ) на разработку
1.2. Доводочные	Опытные образцы	Определение выявленных недостатков, их устранение и внесение изменений в чертёжно-техническую документацию (ЧТД), выявление возможности и трудоёмкости технического обслуживания и ремонта, оценка влияния вносимых в опытные образцы изменений для достижения заданных значений показателей ТЗ и качества, приведение конструкции в соответствие с требованиями технических условий (ТУ), технического проекта, конструкторской документации, стандартов, правил и требований пассивной и активной безопасности, санитарно-гигиенических норм и других нормативных документов, в том числе международных правил и национальных норм

Продолжение таблицы 1

Виды испытаний	Объекты испытаний	Цели испытаний
2. Предварительные	Опытные образцы	Проверка соответствия опытных образцов ТЗ и требованиям нормативно-технической и другой документации, перечисленной в пункте 1.2. Определение предварительных значений показателей надёжности полнокомплектной машины, её частей, агрегатов, узлов и деталей в процессе функционирования. Определение предварительной номенклатуры запасных частей. Определение необходимой конструкторской доработки и внесение изменений в образцы машины для приёмочных испытаний. Определение возможности предъявления образцов на приёмочные испытания
3. Приёмочные	Опытные образцы	Определение соответствия опытных образцов ТЗ, требованиям стандартов, в том числе международных, национальных (при необходимости) и ЧТД. Оценка технического уровня. Определение целесообразности постановки машины на производство и использования по назначению
4. Квалификационные (установочные)	Образцы установочной серии (первой промышленной партии)	Проверка эффективности мероприятий по устранению недостатков, обнаруженных в процессе приёмочных испытаний. Оценка соответствия образцов установочной серии техническим условиям и другим документам. Проверка отработанности (освоения) технологии изготовления основных агрегатов, узлов, деталей и сборки полнокомплектной машины путём комплексной оценки качества
5. Приёмо-сдаточные	Образцы серийного и массового производства	Проверка соответствия машин серийного и массового производства требованиям технических условий и конструкторской документации, а также условиям поставки, предусмотренным документами о порядке приемки и поставки машин, их агрегатов, узлов и деталей, договорами или другими двусторонними обязательствами между предприятием-изготовителем и заказчиком

Продолжение таблицы 1

Виды испытаний	Объекты испытаний	Цели испытаний
6. Периодические (краткие контрольные)	Образцы серийного и массового производства	Проверка соответствия машины ТУ, требованиям стандартов и ЧТД в объёме, предусмотренном нормативно-технической документацией на данный вид испытаний. Проверка стабильности качества изготовления, в том числе сборки, регулировки, отделки и др. Подтверждение уровня качества изготовления машин, выпущенных в течение контролируемого периода. Подтверждение возможности продолжения изготовления по действующей конструкторской и технологической документации
7. Инспекционные (длительные контрольные испытания)	Образцы серийного и массового производства	Проверка соответствия образцов серийного и массового производства техническим условиям и стандартам в объёме, предусмотренном соответствующей нормативно-технической документацией на данный вид испытаний. Проверка стабильности качества изготовления. Проверка надёжности в пределах не менее гарантийного пробега (наработки). Проверка эффективности конструктивных и технологических мероприятий, проведённых на производстве для устранения недостатков, выявленных в предыдущих длительных контрольных испытаниях, оценка эффективности корректирующих воздействий
8. Испытания на надёжность (ресурсные испытания)	Образцы серийного и массового производства	Подтверждение (определение) заданного или объявленного ресурса до капитального ремонта (если он предусмотрен) полнокомплектной машины или основных базовых агрегатов и систем. Определение и оценка показателей надёжности и эксплуатационных свойств за период испытаний. Определение фактического расхода и уточнение предварительной номенклатуры запасных частей и расхода эксплуатационных материалов. Проверка эффективности изменений, внедренных в конструкцию и технологию изготовления машины

Окончание таблицы 1

Виды испытаний	Объекты испытаний	Цели испытаний
9. Эксплуатационные	Образцы серийного и массового производства	Оценка соответствия машин условиям и требованиям эксплуатации (оценка приспособленности к заданным функциям), исходя из её типа и назначения, указанных в ТЗ и (или) ТУ. Определение ресурса до капитального ремонта и накопление данных по надёжности машины и её агрегатов (узлов) по результатам опытной и подконтрольной эксплуатации в опорных экспериментально-производственных предприятиях, по данным специализированных предприятий технического обслуживания и ремонта. Уточнение показателей эксплуатационной технологичности и ремонтопригодности. Определение и уточнение расхода запасных частей, эксплуатационных материалов, стоимости ремонтных воздействий в зависимости от величины пробега (наработки) и условий эксплуатации. Проверка в условиях эксплуатации эффективности изменений, внесённых в конструкцию и технологию изготовления машины. При включении эксплуатационных испытаний в качестве этапов доводочных, приёмочных и квалификационных испытаний цели их устанавливаются в соответствии с требованиями эксплуатирующих организаций. Эксплуатационные испытания опытных образцов могут проводиться только после положительных результатов проверки их активной и пассивной безопасности
10. Сертификационные	Образцы серийного и массового производства	Определение и официальное подтверждение соответствия показателей конструктивных и эксплуатационных свойств, технического уровня и качества машины современным требованиям и нормативам отечественных, международных и национальных стандартов. Присвоение или подтверждение категории качества машины, оформление соответствующей лицензии

Допускается совмещение испытаний различных видов при их организации в соответствии с установленными целями, объёмами и условиями, например, доводочных с предварительными, квалификационных с приёмочными и т. п.

Организация испытаний разных видов отличается порядком их проведения и уровнем регламентации.

Исследовательские испытания (если они частично не совмещаются с предварительными) являются самыми первыми на стадии разработки машины и отличаются тем, что проводятся на макетном образце, включают сравнение различных конструкторских решений и вариантов. Обычно испытываются те составные части машины, для которых оптимальные решения не ясны или условия применения незнакомы. Исследовательские испытания не регламентированы официальными документами и проводятся непосредственно разработчиками или под их наблюдением, а результаты фиксируются в рабочих документах.

Организация испытаний опытных образцов, образцов установочных серий и образцов серийного и поточно-массового производства определяется соответствующими нормативно-техническими документами.

Предварительные испытания опытных образцов организует и проводит предприятие-разработчик с привлечением, при необходимости, изготовителей и соисполнителей, участвующих в создании машины.

Приёмочные испытания, как правило, проводятся головными организациями по государственным испытаниям закрепленных за ними типов машин (например, Центральный автополигон НАМИ − по испытаниям автомототехники) при участии разработчиков-изготовителей. Результаты испытаний передаются приёмочной комиссии. Приёмочные комиссии включают представителей заказчика (основного потребителя), представителей головной организации по испытаниям, организации-разработчика, предприятия-изготовителя и, в зависимости от типа и назначения машины, представителей государственного надзора и (или) технической инспекции труда профсоюзов. Приёмочную комиссию утверждают в порядке, установленном разработчиком (иногда заказчиком или основным потребителем совместно с разработчиком). Председателем комиссии назначается представитель заказчика (основного потребителя).

Испытания образцов серийного и массового производства проводят:

- квалификационные − изготовитель при участии разработчика с привлечением, при необходимости, заказчика;
- приёмо-сдаточные − служба технического контроля предприятия-изготовителя с участием представителя заказчика;
- периодические − предприятие-изготовитель, головная организация по государственным испытаниям с привлечением, по необходимости, представителей разработчика и заказчика (основного потребителя).

Сертификационные испытания проводят аккредитованные для этого испытательные центры, лаборатории, технические службы Системы сертификации механических транспортных средств.

Эксплуатационные испытания осуществляются только на образцах текущего

производства (серийного или массового) и разделяются на три основных вида.

1. Опытная эксплуатация проводится специально подготовленным персоналом: регулярный контроль и учёт наработки в различных условиях, объёмов выполненных транспортных, погрузочно-разгрузочных работ в соответствии с назначением машины, регистрация и анализ отказов, неисправностей и перечисление мероприятий по их устранению.

2. Подконтрольная эксплуатация, в которой учитываются общие условия функционирования и контролируется состояние объекта по документальным данным эксплуатирующей организации с привлечением специалистов-испытателей для повышения достоверности информации.

3. Рядовая эксплуатация у потребителя, где возможны отклонения от правил использования и обслуживания, а специалисты-испытатели для повседневного наблюдения не привлекаются, информация о результатах ограничивается сообщениями данных, имеющихся у потребителей.

Более информативными являются первые два вида эксплуатационных испытаний, которые получили наибольшее распространение и методическое обеспечение. Опытная эксплуатация часто включается в программу определительных испытаний как этап для проверки и оценки эффективности использования новой модели по назначению и выявлению направлений её совершенствования. Подконтрольная эксплуатация расширяется путём организации опорных экспериментально-производственных хозяйств с включением в их кадровый состав специалистов-испытателей. Этот вид эксплуатационных испытаний отличается от полигонных представительностью (репрезентативностью) информации, так как в основу их методики положен отбор больших партий однотипных машин одной серии выпуска, относительная однородность условий применения и постоянный контроль за техническим состоянием каждого объекта. В подконтрольной эксплуатации используется единая методика сбора, обработки и представления информации, что даёт возможность сравнительной оценки различных моделей машин, повышает достоверность получаемых оценок, в частности, основных показателей надёжности.

В ряде случаев эксплуатационные испытания проводятся в транспортных подразделениях завода-изготовителя, обслуживающих собственные потребности в различных перевозках.

Методы эксплуатационных испытаний непрерывно совершенствуются главным образом за счёт насыщения экспериментально-производственных хозяйств диагностическими стендами и аппаратурой. Основной недостаток эксплуатационных испытаний − длительные сроки получения информации, которые возрастают по мере повышения надёжности АТС.

Виды испытаний, перечисленные в табл. 1, отражают сложившуюся комплексную систему получения информации о создаваемых вновь и эксплуатируемых машинах. Фактическую основу этой информации составляют стендовые испытания (исследования) агрегатов и полнокомплектных машин, лабораторно-дорожные, полигонные, ускоренные и форсированные испытания в заданных условиях, на

специальном оборудовании и сооружениях с привлечением всех средств извлечения возможно более полных и достоверных данных о свойствах и характеристиках объекта испытаний при сокращенных сроках и затратах на обработку получаемых данных.

В организации испытаний выделяются следующие этапы: планирование, проведение, обработка результатов и выработка заключений и рекомендаций.

Планирование испытаний должно обоснованно определить что, когда и как делать для достижения сформулированных целей. Планирование любых видов испытаний АТС отражается в рабочей программе, являющейся организационно-методическим документом.

Подразделение испытаний *по этапам создания* и месту в общем комплексе работ по созданию новых или модернизированных моделей автомобилей включают следующие виды:

– испытания опытных (и макетных) образцов новых или модернизированных автомобилей и их модификаций;
– испытания установочной серии (первой промышленной партии) автомобилей;
– испытания образцов текущего производства, то есть серийной продукции;
– испытания автомобилей, прошедших капитальный ремонт.

По *целевому назначению* испытания классифицируются на доводочные, предварительные, приёмочные (ведомственные, межведомственные, государственные, технологические, контрольные (краткие и длительные), ресурсные, приёмосдаточные, аттестационные, эксплуатационные, научно-исследовательские, специальные, сравнительные, определительные (по оценке отдельных характеристик автомобиля).

По используемым средствам, *условиям, объёму* и месту проведения испытания подразделяются на стендовые (лабораторные), дорожные (на дорогах общего пользования), полигонные (на специализированных испытательных дорогах и сооружениях полигона), климатические (арктические, субтропические, высокогорные, пустынные и т. п.).

По степени *интенсивности* проведения и режимов нагружения различаются нормальные, ускоренные и форсированные испытания. Все виды испытаний, за исключением эксплуатационных, могут быть нормальными, ускоренными, форсированными, сокращенными в зависимости от складывающихся требований к срокам, стоимости, условиям и других обстоятельств их проведения.

Ведомственные испытания проводит ведомство, которое заинтересовано в выпуске новых автомобилей. Программа этих испытаний предусматривает определение эксплуатационных возможностей машины, её производительности, экономической эффективности, безопасности, долговечности, ремонтопригодности, удобства обслуживания, условий труда водителя и других показателей.

Межведомственные испытания проводятся с целью согласованной оценки новой модели автомобиля со стороны нескольких ведомств, заинтересованных в производстве нового образца.

Государственные испытания проводятся под руководством государственной

комиссии с целью определения готовности машины к производству по всем конструктивным, эксплуатационным, технологическим и производственным показателям. Только положительные результаты этих испытаний позволяют государственной комиссии дать разрешение на производство и продажу новой модели.

Технологические испытания образцов установочной серии проводятся с целью проверки эффективности мер по устранению недостатков, выявленных в процессе изготовления, апробировать технологию изготовления нового автомобиля (в том числе сборки и регулировок систем, агрегатов и узлов), проверить качество изготовления и комплектующих изделий заводов-поставщиков, повысить квалификацию производственного персонала, определить нормативы технического контроля качества продукции. Технологическим испытаниям периодически подвергаются и образы текущего производства с целью оценки мероприятий по изменению технологических процессов, применения новых материалов, нового оборудования, при передаче сборочного производства дочерним предприятиям и др.

Организация испытаний образцов серийного или поточно-массового производства по уровню проведения включает несколько видов.

Периодические *контрольные* испытания серийных (или массовых) образцов могут быть длительными в объёме до 25 тыс. км и краткими в объёме до 2,5 тыс. км.

Объёмы контрольных испытаний, их программы и методики регламентируются государственными и отраслевыми стандартами, в том числе ГОСТ 6875-54 "Автомобили грузовые. Метода контрольных испытаний", ГОСТ 6905-54 "Автомобили легковые. Методы контрольных испытаний", ОН 025 318-68 "Прицепы и полуприцепы. Программа и методы контрольных испытаний", ОН 025 302-69 "Автомобили полноприводные двух- и трехосные. Программа-методика длительных контрольных испытаний".

Ресурсные испытания – это определение безотказности, долговечности, ремонтопригодности и сохраняемости машины. В соответствии с ГОСТ 13 377-75 они предназначены для установления технического ресурса или подтверждения назначенного ресурса автомобиля

Специальные испытания позволяют проверить соответствие автомобиля специфическим требованиям и его пригодность для выполнения специальных задач (работать в условиях радиационной или химической заражённости местности, обеспечивать перевозку специальных грузов и т. п.).

Сравнительные испытания проводятся вместе с однотипными моделями автомобилей зарубежного производства с целью получения сравнительных характеристик по основным конструкторско-технологическим и эксплуатационным параметрам.

Определительные испытания могут входить в любой из перечисленных видов испытаний, так как предусматривают определение конкретных конструктивных параметров или эксплуатационных свойств автомобиля с заданными значениями точности и доверительной вероятности. Эти испытания называются оценочными, когда замеры параметров проводятся без учёта заданной точности и достоверной вероятности. Обычно определительные испытания именуют по названию тех

характеристик, значения которых определяются в процессе испытаний, например, тягово-скоростные, тормозные, эргономические и др.

В зависимости от объёмов экспериментальных работ испытаниям подвергаются отдельные детали, узлы, агрегаты, системы и полнокомплектные машины. Испытания проводятся как в стендовых, так и в дорожных (или полигонных) условиях, причём для автомобилей базового варианта, агрегатированной машины (например, цистерна, автокран, пожарная, бетоновоз и др.) и автопоездов (с прицепом и с полуприцепом).

Лабораторно-дорожные испытания охватывают задачи экспериментальной оценки номинальных параметров и показателей эксплуатационных свойств, соответствие их ТЗ, ТУ, стандартам и другим нормативно-техническим документам в стабильных условиях воздействия внешних и внутренних факторов. Этим испытаниям могут подвергаться АТС, проходящие экспериментальную проверку в любых видах испытаний.

Основной объём лабораторно-дорожных испытаний приведен в таблице 2.

Лабораторные испытания проводятся для оценки различных показателей и свойств АТС в лабораториях на специальном оборудовании и стендах, на специальных площадках и дорогах, оборудованных участках местности, в бассейнах и других сооружениях, имитирующих условия эксплуатации. Эти испытания охватывают очень большое разнообразие экспериментов за счёт применения специальных камер и установок, например, дождевальных, холодильных, коррозионных, аэродинамической трубы, где исследуются свойства автотранспортных средств при искусственно регулируемых воздействиях внешней среды.

Комплексы таких лабораторий и специальных сооружений имеются в крупных автомобильных фирмах, а в научно-исследовательском центре по испытаниям и доводке автомототехники в г. Дмитрове (в настоящее время − это один из крупнейших в мире центров для всесторонних испытаний и исследований автомобильной техники), кроме того, в нём созданы все виды дорог.

Методы и способы опытной оценки параметров, показателей эксплуатационных свойств и технических характеристик в лабораторно-дорожных испытаниях регламентированы на различных уровнях, включая государственные и отраслевые отечественные стандарты и различные международные нормативные документы. В тоже время имеются существенные различия в отечественных и зарубежных нормативно-технических документах, и отдельные фирмы и организации при проведении испытаний корректируют программы и методики экспериментов по своему усмотрению не всегда придерживаясь общепринятых правил.

Последующие *пробеговые* испытания (как правило, проводимые на автомобильном полигоне в г. Дмитрове) являются проверкой функциональных свойств автотранспортных средств при регулируемых или фиксируемых условиях, внешних факторах и рабочих состояний машины. Подготовка к ним включает загрузку машин с предусмотренным в соответствующих технических условиях размещением груза, сочленение с рабочими орудиями и подготовленными объектами тяги, доставку на место испытаний и другие работы.

Таблица 2

№	Оцениваемые параметры, показатели и характеристики АТС
1	Основные габаритные размеры, продольный и поперечный абрис, приспособленность к перевозкам железнодорожным, водным и воздушным транспортом, сохранность при перевозках, обеспечение удобства погрузки и разгрузки
2	Основные внутренние размеры, в том числе взаимное расположение элементов рабочего места водителя и органов управления
3	Углы установки и поворота колёс
4	Параметры кинематики подвески колёс и осей
5	Заправочные объёмы систем и картеров
6	Невырабатываемые остатки топлива в баках
7	Пропускная способность заливных горловин
8	Показатели массы и её распределения по осям, положение центра масс
9	Обзорность с места водителя
10	Номенклатура, размещение и качество информации контрольных приборов и сигнализаторов
11	Эргономические показатели, усилия на органы управления
12	Качество освещения, сигнализации, предохранителей, реле электрических цепей
13	Баланс электроэнергии
14	Напряженность поля радиопомех
15	Вентиляция, отопление, концентрация вредных веществ в кабине и пассажирских помещениях
16	Содержание вредных веществ и дымности в отработавших газах
17	Внешний и внутренний шум
18	Погрешность счетчика пути
19	Скоростные и тяговые свойства
20	Топливная экономичность и расход масла
21	Тормозные свойства
22	Управляемость и устойчивость
23	Максимальные преодолеваемые подъёмы
24	Плавность хода, вибронагруженность
25	Тягово-сцепные свойства и проходимость (в том числе преодоление водных преград)
26	Аэродинамические свойства
27	Водонепроницаемость кабины и кузова, герметичность агрегатов
28	Загрязняемость и эффективность очистки стекол в зоне обзора
29	Гибкость (автопоездов), вписываемость в поворот (коридоры поворота)
30	Пусковые качества двигателя
31	Приспособленность к различным климатическим условиям эксплуатации, в том числе эффективность средств подготовки к движению

Окончание таблицы 2

32	Работоспособность лебедки, самосвальной установки, навесных агрегатов
№	Оцениваемые параметры, показатели и характеристики АТС
33	Пассивная безопасность
34	Активная безопасность
35	Удобство посадки и высадки водителя, экипажа, пассажиров
36	Эффективность противопожарного оборудования Оцениваемые параметры, показатели и характеристики АТС
37	Удобство погрузки и выгрузки
38	Оценка агрегатируемости, включая присоединительные детали и трудоёмкость агрегатирования
39	Эксплуатационная технологичность
40	Приспособленность к эвакуации
41	Плавучесть (для специальных конструкций)

Основное содержание наиболее ответственной и информативной части испытаний составляет пробег по заданным дорогам, участкам местности при различных нагрузках, выполнение рабочих операций в заданных условиях и объёмах.

Условия испытаний нормируются протяженностью пробега, разбивкой его по типам дорог, режимами движения, метеорологическими параметрами и объёмами эксплуатационно-технологических операций.

В процессе пробеговых испытаний фиксируются и определяются:

− пробег и объём выполненной работы;
− отказы, поломки, неисправности, нарушения регулировок;
− время, материальные и трудовые расходы на устранение отказов;
− средние скорости движения;
− средние расходы топлива, масел и других эксплуатационных материалов;
− запас хода (продолжительность работы без дозаправки) по топливу;
− изменение физико-химических свойств масел и смазок;
− достаточность, удобство укладки и крепления комплекта возимых запчастей, инструмента и принадлежностей (ЗИП);
− удобство и трудоёмкость выполнения операций технического обслуживания;
− полнота инструкций и руководств по эксплуатации.

Вышедшие из строя в процессе испытаний детали, узлы, агрегаты и системы заменяются новыми или восстанавливаются обусловленными ремонтными средствами. Замена узлов, агрегатов или систем производится только при повреждении их базовых деталей.

По результатам пробеговых испытаний оценивается функциональная пригодность машины, её надёжность по показателям безотказности, долговечности, ремонтопригодности и эксплуатационной технологичности. После хранения или транспортировки во время полигонных испытаниях с включением интенсивных

воздействий агрессивной внешней среды оценивается также сохраняемость АТС.

В зависимости от назначения машины оцениваются также эффективность средств обеспечения работы в экстремальных условиях, эвакоспособность и эвакопригодность, работоспособность в условиях радиационного или химического заражения, а также в присутствии агрессивных сред, соответствие другим специальным требованиям, предусмотренным в ТЗ, ТУ.

По окончании дорожных или полигонных испытаний определяются изменения тягово-динамических показателей автомобиля, производится оценка технического состояния систем, агрегатов, узлов и деталей с полной или частичной разборкой и проведением микрометражных работ, металлографических и других анализов.

Ускоренные и форсированные пробеговые испытания проводятся не только для сокращения сроков экспериментальных работ, но и оценки возможностей АТС при создании особых нагрузочных и скоростных режимов работы.

Длительность испытаний АТС определяется отрезком времени от начала доставки выделенных объектов на место проведения до момента, когда полученная информация становится достаточной для выполнения целей и задач, намеченных рабочей программой.

Основные факторы, влияющие на длительность испытаний:

− объём и организация подготовки объектов испытаний, средств и оборудования;
− план проведения испытаний;
− эффективность методов экспериментальных работ;
− режимы внешних воздействий;
− обоснованность и эффективность показателей, критериев и свойств, определяемых при испытаниях;
− качество испытательного оборудования, материально-технического обеспечения, квалификация персонала;
− наличие и эффективное использование дополнительной информации об испытываемых объектах.

В зависимости от этих факторов наибольшую длительность имеют эксплуатационные испытания в условиях рядового использования автомобилей у потребителей. Сравнительно с этим видом испытаний и рассматривается их ускорение. Ближайшими по содержанию, объёму и качеству информации к испытаниям в рядовой эксплуатации, но существенно ускоренными, являются полигонные испытания. Еще большее сокращение длительности достигается при стендовых испытаниях, но преимущественно по отдельным элементам конструкции или характеристикам. Эффективность этих испытаний проявляется на этапе доводки конструкции. Основным фактором ускорения стендовых испытаний является непрерывность процессов нагружения и иных внешних повреждающих воздействий.

Оборудование современных полигонов предусматривает проведение и стендовых, и лабораторно-дорожных, и ходовых испытаний с выполнением всех рабочих (технологических) функций.

Для ускорения полигонных испытаний используется влияние всех перечисленных выше факторов на длительность получения необходимой информации. При

лабораторно-дорожных испытаниях на полигоне сокращение длительности достигается уплотнением подготовительных и организационных работ, стабильностью технологии и технической базы, повышением производительности труда за счёт поточных методов их проведения.

Наиболее длительной и трудоёмкой частью полигонных испытаний являются пробеговые (с выполнением рабочих технологических функций). Сокращение времени и трудовых затрат на их проведение является определяющим направлением эффективности испытаний полнокомплектных автотранспортных средств. Реализация этого направления (повышение темпов испытательных работ) зависит от оборудования полигона и квалификации испытателей.

Основным фактором ускорения испытаний на полигоне является усиление режимов внешних воздействий, формируемых в испытательных пробегах на специально обустроенных дорогах. Здесь следует подчеркнуть особо, что при испытаниях автомобильной техники решающую роль играют испытательные пробеги. Эта часть испытаний даёт интегральные оценки испытываемой модели − надёжности, эксплуатационной технологичности, фактического проявления всех заложенных в конструкцию потребительских свойств, включая оценку гарантийных сроков, сроков службы до списания. Только в реальных пробегах окончательно оценивается пригодность данной машины для выполнения заданных функций.

Ускоренные полигонные испытания без форсирования нагружения получили название нормальных или рядовых. Нормальные пробеговые испытания проводятся в полигонных условиях на основе традиционных порядков их осуществления, сложившихся до создания автополигонов, хотя организация их на новой базе сама по себе давала повышение темпов, сокращение сроков, более высокую стабильность условий в сравнении с пробеговыми испытаниями на сети дорог общего пользования в различных условиях.

В основу планирования нормальных пробеговых полигонных испытаний кладется исследование условий работы АТС по назначению, оценка и анализ режимов нагружения агрегатов, узлов и деталей в эксплуатации прототипов, аналогов. Так как подавляющее большинство типов АТС имеют широкий диапазон случайных режимов нагружения и обстоятельств движения, то для воспроизведения их на автополигоне подбираются типизированные условия эксплуатации. Например, для автомобилей общетранспортного назначения выделяют режимы городских, магистральных и горных условий перевозки.

Для воспроизведения таким образом типизированных условий на полигоне подбирается комплекс дорог, соответствующих по характерным признакам (ровности, сопротивлению качения, распределения подъемов и спусков) типизированным условиям эксплуатации. Устанавливается регламентированный пробег с нормативными значениями средних скоростей движения на каждой испытательной дороге, распределением по ним общего пробега в долях, чередованием движения и остановок, продолжительностью перерывов (по санитарно-гигиеническим нормам труда испытателей).

Отработка таких нормативов полигонных испытаний создает предпосылки для

их ускорения с помощью форсирования воздействия внешних факторов, в первую очередь, специальных испытательных дорог интенсивного и направленного нагружения, специальных испытательных каналов, камер, а также организации пробеговых испытаний в характерных климатических зонах страны.
Пробег *в* предварительных испытаниях планируется в два этапа. Первый назначается в объеме гарантируемой заводом-изготовителем протяженности, второй - до исчерпания ресурса (до капитального ремонта). Причем, как правило, второй этап разбивается на части, равные гарантийному пробегу. В каждой части пробега соблюдаются условия первого этапа.

1.2. Подготовка испытаний автомобилей

Объёмы, трудоёмкость и сроки проведения испытаний определяются количественными показателями, которые зависят от числа исследуемых параметров, их сложности, от числа опытов, нагрузочных и скоростных режимов, длительности пробега, условий проведения экспериментов, их организации и т. д.

В организации испытаний выделяются следующие этапы: планирование, проведение, обработка результатов и выработка заключений и рекомендаций. Планирование испытаний должно обоснованно определить, что, когда и как делать для достижения сформулированных целей. Планирование любых видов испытаний автотранспортных средств отражается в рабочей программе, всегда являющейся организационно-методическим руководящим документом.

В программу испытаний, как правило, включаются следующие разделы:

1. *Основание* для проведения испытаний (распоряжение главного конструктора, появление рекламаций, просьба эксплуатирующих организаций и т. п.

2. *Характеристику объекта испытаний* с указанием полного наименования машины, индекса и обозначения, количества испытываемых образцов и их пробег (наработка) до начала испытаний, описание конструктивных особенностей, влияющих на измеряемые показатели, и другие сведений, в том числе о предыдущей модели и об аналоге для сопоставления полученных результатов испытаний.

2. Цель испытаний с указанием конкретных задач, которые должны быть решены как в процессе проведения экспериментов, так и по их завершении при анализе результатов.

3. Общие положения с указанием:

− перечня документов на проведение испытаний;
− места и сроков проведения испытаний;
− перечня ранее проведенных испытаний, в том числе стендовых и поагрегатных, поясняющих состояние доработки конструкции;
− перечня руководящих документов, используемых при проведении испытаний;
− обоснования последовательности и методов проведения экспериментов.

4. *Подготовку объектов испытаний* – приёмку автомобилей, обкатку, регулировку систем и механизмов (если это необходимо) монтаж и расположение испытательного оборудования, настройку и тарировку аппаратуры.

Перед началом испытаний производят подготовку автомобиля к экспериментам, которая заключается в отборе, приёмке и обкатке образца. Способ отбора зависит от вида испытаний. Для контрольных испытаний нельзя отбирать лучшие образцы, устранять производственные дефекты, выполнять дополнительные регулировки и другие мероприятия, оказывающие влияние на качество изготовления и сборки автомобиля. При приёмочных и ресурсных испытаниях можно перед началом экспериментов устранять случайные дефекты и неполадки, выполнять дополнительные регулировки с целью приведения автомобиля в соответствие с требованиями технических условий и конструкторско-технологической документации. При приёмке автомобиля завод-изготовитель представляет организации, проводящей испытания, всю необходимую техническую документацию.

Техническое состояние автомобиля определяют при осмотре, устанавливая исправность автомобиля в целом и его отдельных агрегатов с помощью средств технической диагностики. Осмотр производят без снятия и разборки механизмов. Осмотром определяют:

− комплектность автомобиля в целом, его оборудования, снаряжения, инструмента и других составляющих, предусмотренных конструкцией;

− наличие видимых повреждений или некачественного выполнения деталей, окраски, обивки, оборудования и др.;

− наличие неокрашенных поверхностей, не покрытых защитными мастиками, коррозии, трещин, некачественной сварки, повреждённых стёкол, уплотнений, подтеканий, качество отделки и декоративных деталей.

При осмотре автомобилей текущего производства, кроме того, проверяется наличие знаков приёмки ОТК на агрегатах, пломб на механизмах (спидометр, карбюратор, щиток приборов и др.). Кроме того, проверяется:

− наличие предусмотренного техническими условиями количества масел и жидкостей в агрегатах и узлах;

− герметичность соединений гидравлических и пневматических систем (тормозов, рулевого управления, регуляторов давления воздуха в шинах, приводов навесного и прицепного оборудования;

− затяжку креплений, шплинтовку;

− исправность тягово-сцепных устройств;

− состояние аккумуляторных батарей;

− регулировку подшипников колёс;

− компрессию в цилиндрах двигателя;

− температурные режимы работы агрегатов и систем;

− давление масла в двигателе;

− свободные хода органов управления;

− наличие зазоров трансмиссии;

− обороты холостого хода двигателя;

− давление в шинах, дисбаланс колёс;

− рабочие характеристики двигателя, агрегатов и систем.

− регулировку фар, приборов зажигания (опережение впрыска топлива и др.),

регуляторов напряжения, натяжения ремней, зазоры в клапанном механизме, хода педалей, регулировку тормозных механизмов, регулировку углов установки управляемых колёс.

Все результаты технического осмотра образцов заносят в журнал испытаний.

К подготовительным операциям при ресурсных испытаниях относится первоначальная проверка размеров деталей, износ которых будет определяться, и обязательная их маркировка.

Некоторые виды испытаний проводят с эталонными агрегатами, характеристики которых полностью соответствуют техническим условиям и не изменяются в процессе испытаний. Эталонные агрегаты применяет в тех случаях, когда изменение характеристик может отразиться на показателях эксплуатационно-технических свойств автомобиля. К числу эталонных агрегатов относятся: топливоподающая аппаратура двигателей, распределитель и свечи зажигания, агрегаты и узлы тормозных систем и рулевого управления, амортизаторы, шины и др. Перед установкой на автомобиль проверяется сертификат на эталонный агрегат и производится обкатка.

После устранения дефектов, препятствующих нормальной безопасной работе автомобиля и его агрегатов, устанавливают испытательную аппаратуру или проводят подготовительные работы для её быстрого монтажа и настройки.

Обкатку нового автомобиля проводят в соответствии с требованиями заводской инструкции по эксплуатации машины с целью предотвращения повреждения деталей при больших нагрузках и скоростях движения. Испытания, связанные с высокими скоростями движения и с большими нагрузками на детали, следует начинать после пробега 3…5 тыс. км, (окончательная приработка сопряжённых деталей достигается только после пробега 10…20 тыс. км.). Как правило, перед испытаниями назначается дополнительная дорожная обкатка.

Ускорению приработки и предотвращению повышенных износов и повреждений (задиров) трущихся поверхностей деталей способствует применение во время обкатки специальных масел и присадок (добавление в масла олеиновой или стеариновой кислот в количестве до 1 % ускоряет процесс приработки почти в 2 раза).

Перед обкаткой на автомобиле все агрегаты проходят холодную (принудительное вращение) и горячую (для двигателя это работа на средних оборотах с использованием сертификатного топлива) обкатки на стендах.

Техническое обслуживание автомобиля в процессе испытаний должно проводиться в соответствии с заводской инструкцией по эксплуатации и действующим положением о техническом уходе, обслуживании и ремонте.

Метеорологические условия оказывают существенное влияние на стабильность результатов дорожных испытаний. Определять большинство эксплуатационно-технических параметров рекомендуется в сухую погоду при температуре воздуха от $+5^{o}$ С до $+25^{o}$ С. Скорость ветра не должна превышать 3 м/с. Измеренную анемометром, скорость ветра, его направление, а также другие метеорологические условия фиксируют в журнале испытаний (или в протоколе).

Тепловые режимы агрегатов автомобиля обуславливаются их нагрузочными и

скоростными режимами работы и температурой внешней среды. Тепловое состояние агрегатов испытываемых образцов контролируется дистанционными термометрами. Перед началом испытаний агрегаты автомобиля должны быть прогреты пробегом, указанным в методике испытаний (обычно время пробега устанавливается от 30 мин. до I часа в зависимости от внешней температуры и условий испытаний).

Весовые состояния (нагрузка) автомобилей в процессе испытаний зависят от вида испытаний назначения экспериментов, интенсивности их проведения и указываются в методике испытаний. При всех видах испытаний параметры, регламентируемые международными правилами, стандартами, инструкциями и другими нормативными документами, определяются при весовых нагрузках, указанных в этих документах.

При проведении испытаний должны строго соблюдаться меры по обеспечению безопасности водителей, обслуживающего персонала и наблюдателей, а также меры по обеспечению сохранности автомобиля и установленных на нем приборов и устройств. Водители-испытатели, должны иметь опыт вождения автомобилей с высокими скоростями, в сложных дорожных условиях, в экстремальных случаях. На испытываемом автомобиле могут находиться только водитель и один контролёр-испытатель. Оба должны быть пристёгнуты ремнями безопасности и иметь шлемы. При проведении испытаний, связанных с повышенной опасностью (на управляемость, на устойчивость, пассивную безопасность, движение с высокими скоростями, экстренное торможение и др.), на месте испытаний должны находиться представитель службы безопасности движения, медицинское и противопожарное обеспечение.

5. *Условия и порядок* проведения испытаний, где указываются:

− характеристика места и оборудования (специальные испытательные сооружения, дороги) для испытаний;

− метеорологические условия и допустимые отклонения условий испытаний от заданных в соответствующей документации или тактико-технических заданиях;

− требования к загрузке, техническому обслуживанию, заправке горюче-смазочными материалами и хранению испытываемой машины. При испытаниях автомобилей обязательным условием является использование сертификатных горюче-смазочных материалов, (сертификат – это документ, удостоверяющий качество продукции). Топливо и смазочные материалы должны соответствовать маркам, указанным в инструкции по эксплуатации машины. Фактические характеристики применяемых материалов проверяют контрольными анализами. На весь период испытаний желательно организовать специальный пункт заправки топливом, маслами и рабочими жидкостями. Условия хранения испытываемых образцов должны исключать возможность изменения технического состояния машин, нарушения их комплектности, регулировок, бесконтрольной заправки топливом или его слива, замены смазок, неплановых ремонтов и т. п.;

− взаимодействие организаций, участвующих в испытаниях;

− материально-техническое обеспечение, в том числе различные технические

средства, расходуемые материалы и запасные части, транспортное обслуживание, необходимая конструкторская и технологическая документация;
− метрологическое обеспечение, включая применяемые измерительные приборы, необходимые для достижения требуемой точности результатов;
− тепловые режимы агрегатов в процессе испытаний;
− требования к квалификации основного и вспомогательного персонала, выполняющего испытания и обслуживание;
− общая организация испытаний – суточный пробег, обеспечение отдыха испытателей, оплата труда и пр.
− требования по технике безопасности.

6. *Объёмы испытаний*, где предусматриваются:
− перечень этапов испытаний и экспериментов, их последовательность;
− нагрузочные и скоростные режимы испытаний, их плановые изменения;
− перечень количественных и качественных показателей эксплуатационных и функциональных свойств и параметров машины, подлежащих определению;
− характеристики дорожно-климатических условий испытаний;
− продолжительность испытаний, в том числе посезонную;
− общая наработка (пробег) машины в процессе испытаний;
− цикличность испытаний (при необходимости).

7. Отчетность с указанием:
− перечня отчетных документов, оформляемых в процессе испытаний и после их завершения, порядок их согласования, утверждения, представления и хранения;
− требований рассылки или предъявления отчетных документов.

Любой вид испытаний должен завершаться оставлением технического отчёта. В процессе испытаний оформляются протоколы, акты, журналы испытании, карты измерений, ведомости, которые при необходимости иллюстрируют фотографиями, осциллограммами, графиками, схемами, таблицами и т. п. Эти материалы составляют основу технического отчёта, который строится по следующей схеме (в соответствии с ГОСТ 19 600-74):
− введение, определяющее цель и вид проведенных испытаний, основание для их проведения и организацию, проводившую испытания;
− техническую характеристику объекта испытаний;
− общие условия проведения испытаний;
− условия и методики проведения экспериментов, выполненный объём опытов, приборы и оборудование, применённые в испытаниях, их характеристики, результаты испытаний по всем разделам программы;
− данные осмотров, измерений износов, выявленные отказы и неисправности, произведенные регулировки и ремонты, израсходованные запчасти ;
− анализ и оценку результатов испытаний;
− перечень выявленных недостатков автомобиля, их причины и рекомендации по устранению;
− заключение в соответствии с задачами отдельных видов испытаний.

8. Приложения, в которых указываются: перечень нормативно-технических

документов, применяемых при испытаниях, и другие отечественные и международные поясняющие или справочные материалы.

Разработка рабочих программ испытаний основывается на техническом задании или технических условий на данную машину с использованием стандартов на испытания, типовых программ и типовых методик, в которых отражен накопленный опыт, располагаемые материальные и технические возможности, направление научно-технического прогресса как в развитии данного типа машин, так и способов их оценки, контроля качества. В специализированных испытательных организациях (научно-исследовательские полигоны, испытательные подразделения научно-исследовательских и проектных институтов, управлений главных конструкторов на предприятиях-изготовителях и т. п.) типовые программы, типовые методики и инструкции по организации испытаний разрабатываются и аттестуются как руководящие документы.

Разрабатываются рабочие программы инженерами-исследователями предприятий-разработчиков, фирм-изготовителей и испытательных организаций в сроки, которые утверждаются в приказах об организации и проведении испытаний.

Разрабатывая программу и выбирая методы испытаний или исследований, необходимо учитывать особенности перечисленных выше видов испытаний. В связи с этим в целях сокращения времени и стоимости экспериментов надо правильно сочетать различные испытания, используя РОИ.

Для правильного выбора нагрузочных, скоростных и других режимов при испытаниях автомобилей необходимо точно определять эксплуатационные условия, в которых будет работать объект испытаний. Это возможно только в процессе поисковых дорожных испытаний, проводимых с целью определения типичных и предельных эксплуатационных режимов работы. Результаты этих поисков позволяют создать эквивалентные режимы при испытаниях на стендах и полигонах.

Программа испытаний будет наиболее эффективной, если её разработка будет проводиться одновременно с разработкой конструкции и учитываться всеми подразделениями разработчика машины на стадии проектирования. Более того, в конструкции машины должны учитываться требования и условия её будущих испытаний и оценки. Общими требованиями к программам и методикам испытаний являются: применение прогрессивных, экономически обоснованных методов их организации и проведения, достоверных методов измерений с использованием результатов теоретических и экспериментальных работ по созданию данной машины, применение ускоренных или форсированных испытаний тех видов, которые имеют большую продолжительность (например, ресурсных).

Проведение испытаний является реализацией разработанной программы. Основным условием успешной реализации программы является строгая дисциплина исполнения предусмотренных пунктов и составленных рабочих расписаний.

Непосредственные руководители испытаний должны принимать активные меры против небрежного или невнимательного выполнения экспериментов, а персонал всегда должен сознавать важность порученной работы и необходимость её тщательного выполнения. При проведении испытаний необходима эффективная и

систематическая проверка качества работы и выявление случаев отступлений от требований программы, установленных сроков и предусмотренных затрат.

Для обеспечения высокого качества проведения испытаний необходимо:

− обеспечение независимости и беспристрастности непосредственных руководителей испытаний при их высокой компетентности;

− чёткое установление полномочий, прав и ответственности руководителя испытаний и порядок исполнения поступающих от него заявок на проведение работ отдельными подразделениями и службами организации, проводящей испытания;

− привлечение современной автоматизированной техники для управления процессом испытаний и контроля;

− своевременная поверка, калибровка измерительной аппаратуры и подготовка испытательного оборудования и сооружений (очистка дорог автополигона, измерительных площадок, бассейнов, стендов, весов и т. п.);

− разработка инструкций и рациональных форм регистрации проводимых экспериментов и их результатов, своевременное обеспечение бланочной продукцией и журналами с облегченными формами регистрации наблюдений;

− установление порядка регистрации изменений или отклонений от программы (вынужденных или по ошибке) с целью исключения скрытых отступлений от предусмотренных условий, влияющих на анализ результатов испытаний;

− организация инспекции выполнения пунктов программы, соблюдения методик, поверки и калибровки аппаратуры, качества осмотров и хранения испытываемых образцов, ведения текущей и отчетной документации, диагностики отказов и неисправностей испытываемых машин, выяснения их причин и других обстоятельств проведения испытаний.

Оптимальность принимаемых решений в значительной мере определяется располагаемыми временными, людскими и материальными ресурсами, которые необходимо предусматривать как резервы.

Этап обработки и анализа результатов испытаний включает получение прямых результатов измерений и их преобразование. Обработку результатов часто определяют как первичную, когда производится исключение из рассмотрения явно ошибочных измерений, отклонений, произошедших в результате сбоя аппаратуры, ухода нулей, незамеченных поломок или разрегулировок испытываемой машины и т. п. Затем обработка результатов включает получение и представление статистических характеристик прямых измерений параметров, получаемых при испытаниях. Такими характеристиками могут быть математические ожидания, дисперсии, среднеквадратические оценки измеряемых параметров, корреляционные функции или спектральные плотности рабочих процессов, законы распределения, показатели, отражающие свойства точечных или интервальных оценок статистических характеристик. Все эти характеристики представляются в виде массивов численных значений, которые могут быть введены в память ЭВМ, нанесены на графики или помещены в таблицы.

Обработанные результаты испытаний используются далее для анализа характеристик машины, процесса ее функционирования в заданных условиях, качества,

соответствия назначению, эффективности использования. В процессе анализа может осуществляться вторичная обработка полученных результатов для оценки характеристик, связанных с измеряемыми определенными соотношениями. Примером такой обработки является расчёт показателей надежности, комплексных показателей качества и т. п.

Программа испытаний автомобиля обычно составляется для решения целого комплекса задач и поэтому содержит соответствующее количество методик экспериментов или ссылки на них.

Любой вид экспериментов проводится по соответствующей методике, которая содержит способы и средства решения поставленных задач. Типовая методика испытаний должна содержать следующие положения:

− цель испытаний с ссылками на соответствующие инструкции, технические задания, программы;
− название и характеристику объектов испытаний;
− способы и методы измерений, количество повторов опытов;
− условия монтажа аппаратуры и вспомогательных устройств, их тарировки, условия ввода в действие, режимы работы, измерительные схемы;
− перечень стендов, приборов и приспособлений, их метрологические и динамические характеристики;
− режимы испытаний характеристику внешних и внутренних сред, данные по регулировкам, чередованию и программированию режимов;
− время и пробег по этапам;
− перечень и количество операций управления и обслуживания (торможения, поворотов, открывания дверей, переключения передач и т. п.);
− дорожные и климатические условия испытаний;
− протяжённость дорог каждого типа;
− время года (число, месяц);
− условия технических обслуживаний и ремонтов;
− способы обработки полученных данных;
− техническую документацию на испытания (перечень, порядок заполнения);
− оценочные параметры, по которым даётся заключение;
− связь между результатами стендовых и дорожных испытаний.

1.3. Общие условия подбора измерительного оборудования

Современное измерительное оборудование – это сложный комплекс устройств, включающих в себя большое количество элементов и отдельных приборов различной структуры и назначения, Средствами получения информации о характеристиках объекта (в виде сигналов, чисел, таблиц, осциллограмм, графиков и т. п.) служат измерительные приборы и информационно-измерительные системы.

Возрастающая сложность автомобильной техники, повышение требований к экологичности и качеству их работы, усложнение условий их эксплуатации привели к необходимости увеличения объёмов и скорости получения информации

при испытаниях. Это потребовало ускоренного развития техники измерений, создания специализированного измерительного оборудования, универсальных и специализированных информационно-измерительных систем (ИИС), необходимости автоматизации процесса измерения и обработки результатов. Под ИИС понимается совокупность функционально объединённых измерительных, вычислительных и других технических средств для получения измерительной информации, её преобразования, обработки с целью представления потребителю в требуемом виде, либо автоматического осуществления некоторых логических функций (управление ходом комплекса испытаний или отдельным экспериментом, контроль за состоянием объекта испытаний или за самой ИИС и др.).

Основными условиями обеспечения высокого качества получаемой в процессе испытаний информации являются: правильный выбор метода измерений, правильное составление измерительных схем, точный подбор измерительного оборудования и обеспечение необходимых условий его работы, квалифицированное управление процессом измерения и обработки данных.

ИИС, как правило, имеют несколько каналов измерения и выполняют различные функции в зависимости от их назначения и конструктивного исполнения. Например, они могут фиксировать мгновенные значения измеряемых величин, могут выдавать среднее или суммарное значение за опыт, производить измерение, вычисление и выдачу измеряемых параметров (скорости движения, расхода топлива, нагрузок в трансмиссии и др.). ИИС могут быть дискретными (цифровыми) или аналоговыми. Дискретные ИИС выдают результаты в виде множества отдельных значений, которые обрабатываются компьютером по заданной программе и выдаются пользователю в любой удобной для него форме. Аналоговые ИИС выдают результат измерения в виде непрерывного сигнала на индикатор, указатель, осциллограмму, магнитную ленту или на электронный носитель информации.

Большинство ИИС построены по принципу электрических измерений неэлектрических величин, то есть преобразования физических процессов в электрические сигналы, которые удобно дистанционно и синхронизировано измерять, преобразовывать, обрабатывать и фиксировать.

Типичная функциональная схема канала ИИС показана на рис. 5.

В любом объекте испытаний или исследований выделяются чувствительные элементы 1, которые воспринимают изменяемую величину и выдают измерительное воздействие. Например, полуось воспринимает крутящий момент и выдаёт измерительное воздействие в виде деформации от скручивания. Измерительное воздействие от чувствительных элементов 1 передаётся преобразователям (датчикам) 2, в которых исследуемый физический процесс преобразуется в адекватное изменение электрического сигнала. Сигналы от датчиков 2 поступают по каналам связи 3 (кабели, токосъёмники, телерадиопередающие системы) в блок промежуточного преобразования 4, где производится компенсация постоянных составляющих, компенсация температурных и прочих воздействий, масштабирование, аналоговое или цифровое преобразование, кодирование и первичная обработка измеряемых величин (интегрирование, вычисление среднего значения и т. п.).

Блок промежуточного преобразования 4 может включать устройство 10, содержащее описание состояния объекта испытаний в виде образцовых значений сигналов и систему сравнения образцовых величин с контролируемыми параметрами. Количественная оценка в этом блоке отображается на мониторе.

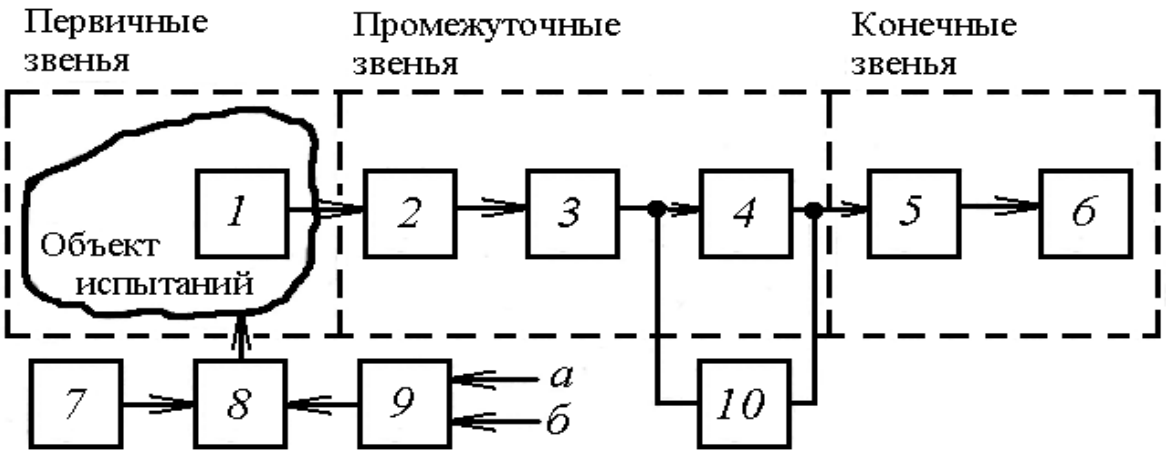


Рис. 5. Схема построения канала ИИС

Выходная измерительная информация окончательно обрабатывается в конечных звеньях ИИС. В блоке 5 производится вычисление окончательного результата, интерпретация данных опыта, получение вероятностных характеристик, статистических параметров и других полностью обработанных данных.

Конечный блок 6 (как правило встроенный компьютер) собирает, запоминает и хранит информацию в заранее заданном формате.

Для получения информации могут быть организованы внешние воздействия на объект испытаний с помощью специальных источников 8.

Работа всех блоков системы осуществляется через управляющее устройство 9, которое действует либо в ручном (ввод «а»), либо в автоматическом (по специальным программам – ввод «б») режимах.

Блок питания 7 вырабатывает напряжение и частоту, необходимые для функционирования различных элементов ИИС.

Конечно, не во всякой ИИС требуется присутствие всех перечисленных блоков. В каждом конкретном случае количество блоков, состав выполняемых ими функций и связи между блоками должны устанавливаться особо. Описанная обобщенная схема с теми или иными изменениями справедлива для различных электрических, механических, гидравлических, пневматических и других измерительных систем, а также для отдельных приборов.

При составлении измерительной схемы, содержащей комплекс аппаратуры или отдельные приборы, необходимо не допускать искажения первоначально принятой и проверенной структуры ИИС, чтобы сохранить на весь период испытании неизменными её динамические характеристики и избежать дополнительных

погрешностей измерения. Если аппаратура подбирается из отдельных приборов и устройств, то необходимо строго придерживаться принципа их сопоставимости по входным и выходным параметрам, так как от этого зависит точность измерений. При неправильно подобранной и соединённой моноблочной аппаратуре могут быть существенно искажены результаты опытов, вплоть до полной потери измеряемого сигнала. Поэтому сравнимость и достоверность получаемых результатов в любом случае зависят от тщательного анализа характеристик выбираемой аппаратуры и правильного составления всего измерительного комплекса.

Основными требованиями, предъявляемыми к измерительной аппаратуре и оборудованию при моноблочном их использовании, являются:

− заданная точность измерения параметров;
− необходимое быстродействие;
− необходимая чувствительность;
− широкий диапазон измеряемых величин;
− возможность автоматической обработки результатов;
− простота и удобство наблюдения и фиксации процессов;
− дистанционность управления;
− широкие пределы измерения процесса;
− простота и удобство монтажа на автомобиле;
− длительность работа;
− виброустойчивость;
− стабильность показаний в реальных условиях испытаний при неизбежных вибрациях объекта исследований, колебаниях напряжения в энергосети, изменениях температуры и других внешних факторах;
− работа в широком диапазоне температур;
− высокая перегрузочная способность;
− малые габариты и вес;
− работа от различных источников питания;
− простота и удобство настройки и регулировки;
− безопасность в работе.

Выбор средств измерительной техники следует увязывать с требованиями точности, чувствительности, быстродействия, стабильности работы и характером проводимых испытаний, не ужесточая их без необходимости, так как в комплексе они не совместимы и нужно находить компромиссное решение.

При проведении дорожных испытаний возникает необходимость размещения измерительной техники непосредственно на автомобиле. Чаще всего аппаратура располагается в салоне легкового или в кабине грузового автомобиля. Объясняется это удобством непосредственного управления процессом измерения, когда невозможно использовать дистанционный привод. Вся необходимая аппаратура и вспомогательные устройства должны быть надёжно закреплены с учётом удобства работы оператора, а также виброизоляции, защиты от пыли, грязи и влаги.

Размещение измерительной техники не должно нарушать рабочее пространство водителя, требования безопасности и охраны труда.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ

Согласно ГОСТ 16 263-70 "Метрология. Термины и определения" под измерением понимается нахождение опытным путём с помощью технических средств значений физической величины, которые выбираются из принятой шкалы делений. Проще говоря, измерением называется процесс сравнения измеряемой величины с однородной величиной (мерой), принятой за единицу шкалы.

При измерении сложных процессов, быстротекущих явлений непосредственное сравнение со шкалой (с мерой) затруднительно. В таких случаях измеряемые параметры преобразуются в другие величины (преимущественно в электрические) и сравниваются с новыми единицами измерения.

Измеряемая величина, определяемая функционированием объекта измерения, воздействует на первичный элемент, где происходит преобразование её в пропорциональный электрический сигнал. С выхода первичного преобразователя сигнал поступает последовательно в ряд промежуточных преобразователей, в которых выполняются дальнейшие масштабные, функциональные и другие преобразования с обработкой и вычислением конечного результата. Конечным элементом измерительной системы является устройство запоминания, хранения и выдачи (при необходимости) полученной информации.

Путь, который проходят электрические сигналы полезной информации в процессе своего преобразования, называется измерительным трактом, измерительным каналом или каналом информации.

В общем случае в процессе измерения определяется числовое значение X, показывающее во сколько раз или на сколько измеряемая величина A отличается от единицы измерения a

$$X = \frac{A}{a}. \qquad X = A - a.$$

По способу получения числового значения X различаются *прямые, косвенные* и *совокупные* методы измерения.

Прямые измерения заключаются в непосредственном сравнении измеряемой величины с мерой, в том числе путём использования измерительных приборов, проградуированных в единицах измерения данной физической величины.

В практике измерений *прямые* методы осуществляются:

1) методом непосредственной оценки с помощью мер или измерительных приборов (например, длину – линейкой, давление – манометром, температуру – термометром и т. д.);

2) дифференциальным (разностным способом), когда числовое значение получают как разность между измеряемой и известной величинами (например, разность давлений – дифференциальным манометром, пьезометром, разность силы тока – логометром и т. д.);

3) нулевым методом, когда действие измеряемой величины уравновешивается действием известной физической величины (например, измерение термо-ЭДС термопары – потенциометром, веса детали – гирями на весах и т. д.);
4) методом совпадений или совмещений, когда равномерно чередующиеся сигналы, характеризующие измеряемую величину, сравниваются с сигналами заранее известной физической величины (например, частоту и амплитуду колебательного процесса можно сравнивать с таблицей, в которую занесены уже измеренные такие характеристики для различных процессов).

Косвенные методы заключаются в определении числового значения измеряемой величины путём математической обработки *прямых* измерений нескольких величин, связанных с искомой величиной известным математическим выражением. Например, для определения скорости автомобиля V (км/ч) *прямыми* методами определяют пройденный путь S (км) и время t (ч), за которое автомобиль прошёл этот путь, а затем вычисляют скорость.

$$V = \frac{S}{t}.$$

Косвенные методы – основные и самые распространенные в практике измерений. Они используются, когда искомую величину невозможно или сложно измерить непосредственно. Большинство измерений в автомобилях – косвенные.

Совокупные методы заключаются в определении числового значения измеряемой величины путём вычислений по результатам *прямых* измерений одной или нескольких величин, выполненных в различных условиях эксперимента.

Даже самое тщательное проведение измерений не позволяет получать истинное значение измеряемой величины. Любой результат измерения содержит некоторые искажения из-за наличия погрешностей, присущих самому средству измерений, выбранному методу и методике измерения, внешних воздействий и др.

Погрешности измерений подразделяются по следующим признакам:
– по способу выражения – абсолютные и относительные;
– по характеру проявления – систематические и случайные;
– по условиям изменения измеряемой величины – статические и динамические ;
– по способу обработки данных – среднеарифметические и среднеквадратические.

Погрешность результата измерений в значительной мере зависит от погрешности средств измерений – приборная составляющая суммарной погрешности.

Теоретически погрешность ΔX средств измерений – это разность между показанием прибора и истинным значением измеряемой величины

$$\Delta X = X_{\text{п}} - X,$$

где $X_{\text{п}}$ – показание прибора, а X – истинное значение измеряемой величины.

Наибольшее значение (по абсолютной величине) погрешности называется *абсолютной* погрешностью. На практике, в связи с тем, что истинное значение величины остается неизвестным, вместо него пользуются действительным значением величины, полученной при помощи более точного средства измерений.

Погрешности средств измерений классифицируются по:
- характеру проявления – систематические и случайные;
- отношению к условиям применения – основные и дополнительные;
- отношению к измеряемой величине – динамические и статические;
- способу выражения – абсолютные, относительные и приведенные.

Основная погрешность – это погрешность средств измерений в нормальных условиях применения (условиях, установленных нормативно-технической документацией).

Дополнительная погрешность – это составляющая погрешности средств измерений, возникающая вследствие отклонения одной из влияющих величин от её нормального значения.

Относительная погрешность – это погрешность средств измерений, выраженная отношением абсолютной погрешности к действительному значению физической величины.

В общем виде относительную погрешность δ_n можно представить как

$$\delta_n = \pm \Delta X_n / X_n ,$$

где ΔX_n – абсолютная погрешность прибора;

X_n – показание прибора.

Приведенная погрешность – это относительная погрешность, определяемая отношением абсолютной погрешности измерительного прибора к нормирующему значению X_N . Нормирующее значение – это условно принятое значение, равное или верхнему пределу измерений, или диапазону измерений, или длине шкалы, или другим значениям.

Приведенная погрешность Z определяется по выражению

$$Z = \pm \Delta X_n / X_N .$$

При выборе способа измерения физической величины и соответствующего измерительного оборудования следует строго учитывать и проверять основные метрологические и динамические характеристики приборов.

Метрологическими характеристиками называются тестируемые числовые показатели точности прибора, которые должны учитываться при его выборе и при составлении измерительной схемы. Метрологические характеристики определяют погрешности статических измерений, а динамические характеристики позволяют подбирать измерительные системы для процессов, изменяющихся во времени.

К основным метрологическим характеристикам измерительных устройств относятся класс точности, вариация показаний, чувствительность, пределы измерения, перегрузочная способность и собственное потребление энергии.

Класс точности системы или прибора – это обобщённая характеристика, определяемая пределами основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющих на точность результатов. В общем случае класс точности прибора показывает допустимую статическую погрешность средства измерений при нормальных условиях (окружающая температура должна быть в пределах 20^{o} С ± 5^{o} С, атмосферное давление – в пределах 760 мм рт. ст. ± 20 мм рт. ст, влажность – около 60 % ± 20 %, должны быть нормальными напряжение, частота и др.). Эта погрешность выражается через приведённую погрешность (ГОСТ 1845-59), то есть через основную погрешность, выраженную в процентах от максимального значения шкалы (или диапазона измерения).

Основная погрешность прибора – это наибольшая разность между показаниями прибора и действительным значением измеряемой величины. Определяется она образцовыми приборами (эталонными мерами) при нормальных условиях.

Общетехнические приборы и системы всех видов делятся на 4 класса точности: 0,2; 0,5; 1,5; 2,5. Электроизмерительные приборы и системы делятся на 8 классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Информационно-измерительные и радиотелеизмерительные системы делятся на 7 классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5. Класс точности, например, 2,5, показывает, что для данного прибора приведенная погрешность допускается в пределах 2,5 %.

Погрешности, вызванные изменениями условий опыта по сравнению с нормальными, называются дополнительными.

Вариацией показаний называется наибольшая разность показаний прибора относительно образцового при многократных повторениях статических измерений. Вариация показаний характеризует степень устойчивости (стабильности) показаний прибора, изменение которой объясняется необратимыми процессами в механизмах прибора – трением в опорах подвижных частей, остаточной деформацией пружин, люфтами и т. п. Вариация показаний не характеризуют погрешностей статических измерений.

В мостах переменного тока, компенсаторах, магазинах сопротивлений и ёмкостей ещё имеют место статические погрешности, пропорциональные значению измеряемой величины. Они вызываются изменением коэффициента усиления усилителя, недокомпенсацией, изменением сопротивления и т. п.

По ГОСТу 9245-59, 9486-60, 6746-53, 7003-54 статические погрешности выражаются в единицах измерения и называются погрешностями чувствительности.

Чувствительностью K прибора или ИИС называется отношение приращения показания прибора da к измерению приращения измеряемой величины dx, вызвавшему это приращение:

$$K = \frac{da}{dx}.$$

С чувствительностью нельзя отождествлять порог чувствительности, то есть наименьшее значение измеряемой величины, которое вызывает отклонение указателя прибора. Так, для силоизмерителей порог чувствительности – это наименьшая нагрузка, выводящая прибор из равновесия, а для оптических приборов показателем, тождественным порогу чувствительности, является разрешающая способность прибора, то есть число делений единицы измерения, укладывающееся в полосу погрешности прибора.

Чувствительность ИИС равна произведению чувствительностей всех элементов, составляющих систему.

Всегда следует учитывать, что пониженная чувствительность увеличит погрешности измерения, а излишне высокая чувствительность усложнит измерение, увеличит время настройки и успокоения приборов, повысит колебательность процесса измерения.

Пределы измерения, то есть рабочий диапазон шкалы прибора, всегда следует учитывать при выборе аппаратуры.

Класс точности прибора определяется относительно верхнего предела шкалы. Поэтому для небольших значений измеряемой величины нельзя использовать прибор с большим пределом измерений, ибо это увеличивает погрешность. Например, если вертикальная реакция на колесе в пределах 4 кН измеряется с помощью весов класса 1,5 с пределом измерений 50 кН, то при абсолютном значении основной погрешности

$$\Delta = 50 \cdot \frac{1,5}{100} = 0,75 \ кН.$$

получим инструментальную ошибку измерения

$$\delta = \frac{0,75}{4} \cdot 100 = 16,25 \ \%.$$

Перегрузочная способность прибора – это уровень, выше которого нельзя допускать возникающие перегрузки измеряемой величины.

Всякий прибор потребляет энергию на трение в механизмах, на перемагничивание сердечников, на рассеяние энергии в сопротивлениях и токоведущих цепях. Эта энергия отбирается от объекта измерения и нарушает режим его работы.

Собственное потребление энергии колеблется от нескольких микроватт до нескольких десятков ватт в электроизмерителях, и поэтому его необходимо учитывать при составлении измерительных схем для уменьшения потерь.

Все электронные приборы имеют ничтожное собственное потребление энергии, так как они имеют большое входное сопротивление при малой ёмкости. Часто в этих приборах предусматриваются собственные источники питания.

Большинство процессов, измеряемых при испытаниях автомобилей, имеют

случайный и иногда детерминированный колебательный характер. Поэтому в практике исследований и испытаний чаще всего приходится измерять величины, изменяющиеся во времени.

При прохождении измеряемого сигнала через измерительную систему происходит потеря энергии, сопровождающаяся уменьшением амплитуды выходного сигнала (если отсутствуют резонансные явления). Инерционность электрических, механических, гидравлических, пневматических и других устройств, а также наличие нелинейных элементов измерительных систем задерживает сигнал, в результате чего происходит сдвиг фазы колебательного процесса на выходе системы относительно входного сигнала.

Амплитудные и фазовые искажения ведут к динамическим погрешностям измерений. Характер и величина этих погрешностей определяются *динамическими* характеристиками измерительных устройств. При подготовке аппаратуры к испытаниям необходимо оценивать динамические характеристики переходного процесса и частотные характеристики (амплитудно-частотную и фазо-частотную) измеряемого колебательного процесса.

Числовыми параметрами отдельных динамических характеристик измерительной системы служат:
– параметры переходного (временного) процесса;
– параметры колебательного процесса;
– коэффициент усиления системы,
– полоса пропускаемых частот, частота среза, частота собственных колебаний.

Переходная (временная) характеристика ИИС представляет собой реакцию на выходе системы, вызванную подачей на её вход единичного ступенчатого воздействия. Единичное ступенчатое воздействие – это сигнал, который мгновенно возрастает от нуля до единицы и далее остаётся неизменным:

$$I(t) = \begin{cases} 0 \text{ при } t < 0, \\ 1 \text{ при } t \geq 0. \end{cases}$$

В зависимости от инерционности и параметров системы переходный процесс может протекать различно, как показано на рис. 6, *а* (постепенно возрастая или в виде затухающих колебаний).

Реакция системы на единичный импульс носит название импульсной (весовой) характеристики. Единичный импульс (единичная импульсная функция, или, как её называют, дельта-функция) – это математическая идеализация предельно короткого импульсного сигнала, то есть это импульс, площадь которого равна единице при длительности, равной нулю, и высоте, равной бесконечности:

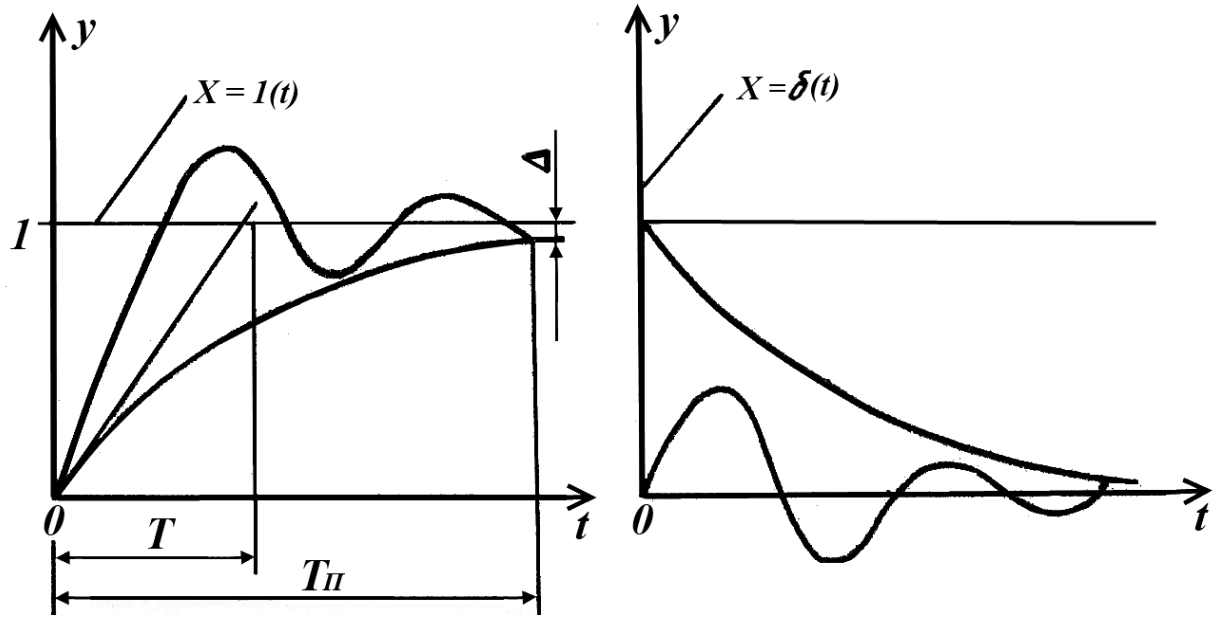
$$\delta(t) - \begin{cases} \infty \text{ при } t = 0, \\ 0 \text{ при } t \neq 0. \end{cases}$$

Время переходного процесса $T_П$ определяет промежуток времени, в течение

которого система переходит из одного установившегося уровня работы на другой.

Характеристикой быстродействия системы является постоянная времени *T*. Это некоторое условное время, равное времени переходного процесса, протекающего с максимальной для данного устройства скоростью. Эта характеристика определяется инерционностью системы, на рис. 5, *а* она графически получается пересечением касательной к кривой переходного процесса с горизонталью на уровне единичной амплитуды процесса. Статическая ошибка установившегося режима определяется величиной Δ.

Частотные характеристики описывают установившиеся, вынужденные колебания сигнала на выходе, вызванные гармоническим воздействием на входе.



а) *б)*

Рис. 6. Переходные характеристики

Если на вход системы подавать гармонический сигнал X, то по окончании переходного процесса на выходе системы получим сигнал Y гармонической формы с той же частотой, что и входные колебания, но с другой амплитудой и фазе

$$X = A_{вх} \sin \omega t, \qquad Y = A_{вых} \sin(\omega t + \varphi),$$

где $A_{вх}$ – амплитуда на входе;

$A_{вых}$ – амплитуда на выходе;

ω – угловая частота этого воздействия,

φ – фазовый сдвиг между входным и выходным сигналами;

t – текущее время.

В комплексной плоскости этот гармонический колебательный процесс показан на рис. 7, где X – входной сигнал, а Y – выходной.

Если при фиксированной амплитуде входных колебаний постепенно изменять частоту и определять установившиеся значения амплитуды и фазы выходных колебаний для различных частот, можно получить зависимость от частоты ω отношения амплитуд и сдвига фаз $\varphi(\omega)$ выходных колебаний

$$A(\omega) = \frac{A_{вых}(\omega)}{A_{вх}(\omega)}.$$

Эти зависимости называются соответственно $A(\omega)$ – амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) и $\Phi(\omega)$ – фазо-частотной характеристикой (ФЧХ). Они показаны соответственно на рис. 8, *а, б.*

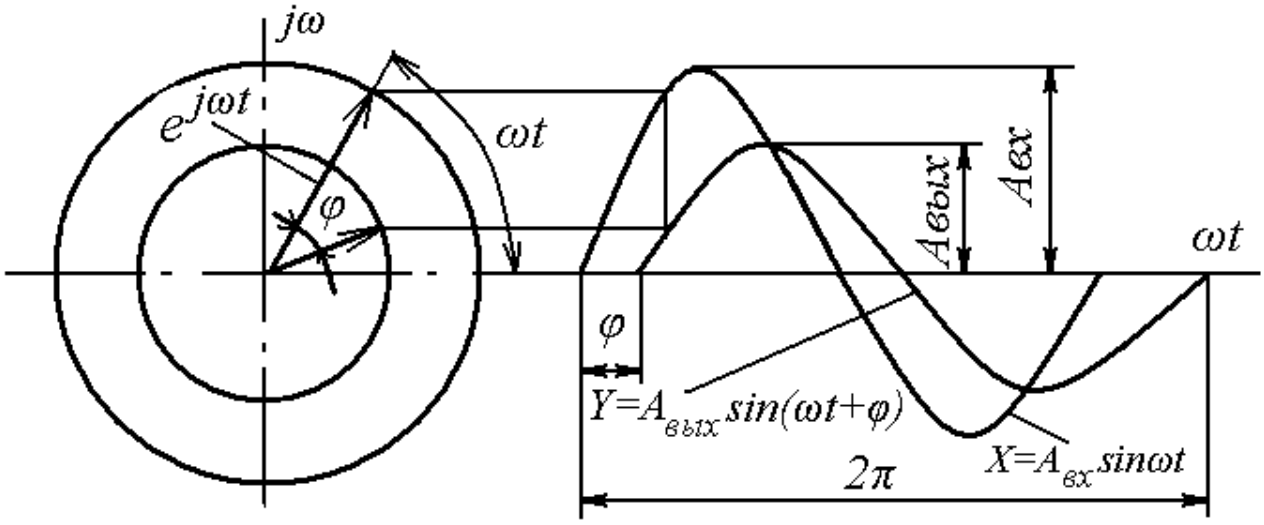


Рис. 7. Входной и выходной сигналы

При статических испытаниях, когда частота колебаний входного сигнала равна нулю, амплитудно-частотная характеристика представляет собой коэффициент усиления системы K. По мере увеличения частоты коэффициент K в конце концов спадает до нуля, то есть происходит значительное уменьшение сигнала на выходе.

При равенстве амплитуд колебаний измеряемого сигнала на входе и выходе

$$\frac{A_{вых}}{A_{вх}} = 1$$

частота колебаний называется частотой среза $\omega_{ср}$. При дальнейшем увеличении частоты сигнал на входе затухает и при какой-то высокой частоте полностью теряется, то есть система не пропускает сигнал.

В информационно-измерительных системах частотой среза считается частота, при которой произошла 5-процентная потеря сигнала.

Диапазон частот, который ограничивается частотой среза $\omega_{ср}$, называется полосой пропускания частот.

В измерительных системах модулем амплитудно-частотной характеристики считается отношение амплитуды на выходе $(A_{вых})$ при динамическом режиме работы к амплитуде на выходе при статических испытаниях, то есть динамическую погрешность системы.

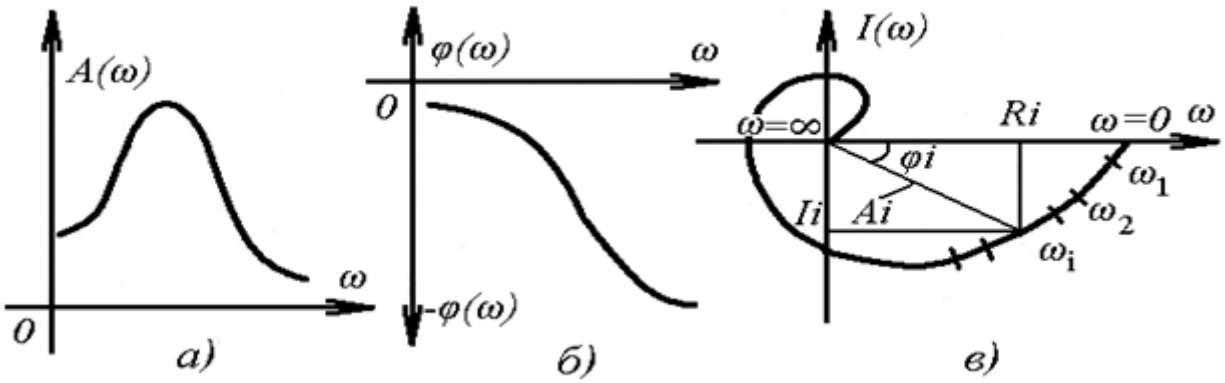


Рис.8. Частотные характеристики

Относительная динамическая погрешность подсчитывается как

$$\frac{A_{вых} - A_{вх}}{A_{вх}}.$$

Для экспериментального построения частотных характеристик $A(\omega)$ и $\varphi(\omega)$ на вход системы подают синусоидальный сигнал с амплитудой, равной 30 % номинальной нагрузки, на которую рассчитана система. Частоту сигнала меняют через некоторый интервал от нуля до $\omega_{ср}$ и после прекращения переходного процесса определяют в каждом случае модуль $\frac{A_{вых}}{A_{вх}}(\omega)$ и фазовый сдвиг $\varphi(\omega)$. По результатам опытов строят графики АЧХ и ФЧХ.

Для оценки характеристик измерительных приборов и ИИС можно использо-

вать объединённую амплитудно-фазо-частотную характеристику (АФЧХ), которая определяет все динамические свойства системы.

Если сигналы на входе X и на выходе Y выразить в комплексной форме

$$X = A_{вх} \cdot e^{j\omega t}, \quad Y = A_{вых} \cdot e^{j(\omega t+\varphi)}.$$

где $j = \sqrt{-1}$, то отношение сигнала на выходе Y к сигналу на входе X будет математическим изображением АФЧХ, то есть зависимостью от частоты комплексного передаточного коэффициента (отношение векторов Y к X).

$$W(j\omega) = \frac{x}{y} = \frac{A_{вых}}{A_{вх}} \cdot e^{j} = A(\omega) \cdot e^{j}.$$

Используя $A(\omega)$ и $\varphi(\omega)$ в качестве полярных координат, можно найти длину радиус-вектора, которая будет равна $A(\omega)$ и угол между этим вектором и положительной осью абсцисс, который выразится через $\varphi(\omega)$. Изображением АФЧХ будет геометрическое место точек концов вектора $A(\omega)$ при повороте его против часовой стрелки на величину сдвига фаз $\varphi(\omega)$ относительно положительного направления оси абсцисс при изменении частоты ω от нуля до бесконечности (годограф вектора, рис. 8, *в*).

АФЧХ можно строить и в прямоугольной системе координат – в комплексной плоскости. Зависимости $R(\omega)$ и $I(\omega)$ называются соответственно действительной (вещественной) и мнимой частотными характеристиками. При алгебраической записи АФЧХ получим:

$$W(j\omega) = R(\omega) + jI(\omega).$$

Очевидно:

$$A(\omega) = \sqrt{R^2(\omega) + I^2(\omega)};$$

$$Y(\omega) = arctg\frac{I(\omega)}{R(\omega)};$$

$$R(\omega) = A(\omega)\cos Y(\omega);$$

$$I(\omega) = A(\omega)\sin Y(\omega).$$

Совокупность этих характеристик и вызывает погрешности измерений.

3. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ АВТОМОБИЛЕЙ

Выполнение разнообразных измерений − основной путь получения необходимой экспериментальной информации при испытаниях автомобилей. Измеряются геометрические, кинематические, силовые, скоростные, тепловые, вибрационные, акустические и другие параметры. Подавляющее большинство измерений при испытаниях автомобилей связано с необходимостью преобразования неэлектрических физических величин в адекватную электрическую форму. Первичный преобразователь, расположенный на чувствительном элементе датчика или непосредственно на объекте измерения, преобразует сигналы разнообразной физической природы в электрические. Для этой цели используются различные типы преобразователей (датчиков), представляющих собой совокупность ряда воспринимающих и преобразующих устройств, позволяющих входную физическую величину передать на выход в виде соответствующего электрического сигнала.

В основном преобразователи подразделяются по назначению (преобразователи перемещений, скоростей, ускорений, сил, давлений, температур и др.), и по физическим эффектам, используемым для преобразования измеряемой величины в электрический сигнал (тензорезисторные, пьезоэлектрические, электромагнитные, термоэлектрические и др.).

По принципу действия преобразователи подразделяются на три группы: *параметрические* (пассивные), болометрические и *энергетические* (активные).

У преобразователей первой группы под воздействием измеряемой величины меняется электрический параметр, связанный с эффектом, на основе которого работает преобразователь (омическое сопротивление, индуктивность, ёмкость и др.). Параметрические преобразователи необходимо включать в электрическую схему с источником питания для получения сигнала, отражающего степень изменения параметра преобразования.

В датчиках второй группы измеряемая физическая величина преобразуется в выходной электрический сигнал опосредованно, то есть через какой-либо промежуточный эффект или элемент.

Третья группа преобразователей под воздействием измеряемой величины вырабатывает (генерирует) сигнал в виде ЭДС.

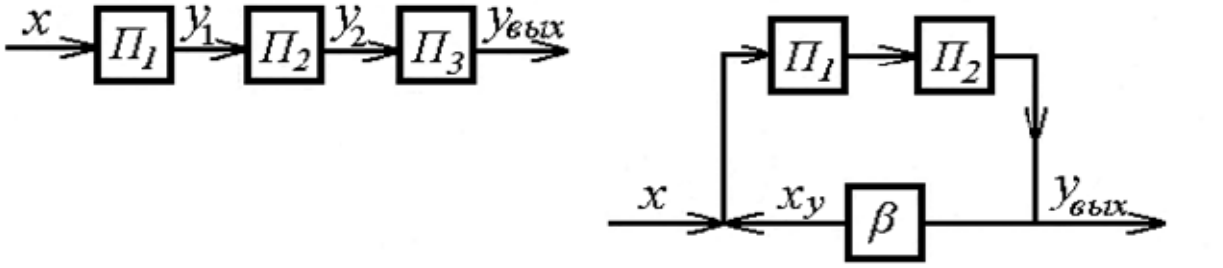
К преобразователям предъявляются следующие основные требования:

- линейная зависимость выходных параметров от входных;
- необходимая чувствительность;
- достаточная точность;
- стабильность характеристик;
- высокая перегрузочная способность (отношение предельного допустимого значения входной величины к номинальному значению);
- невосприимчивость к неизмеряемым параметрам;
- унифицированность и взаимозаменяемость,
- возможность использования в различных ИИС;

- направленность действия (малое влияние нагрузки в выходной цепи преобразователя на режим входной цепи);
- малые масса и габаритные размеры,
- экономичность в потреблении энергии.

Структура датчиков весьма разнообразна, однако с точки зрения результирующей погрешности и зависимости её от погрешностей отдельных преобразователей методы преобразования физической величины в электрическую подразделяются на два вида: метод прямого преобразования и метод уравновешивающего преобразования.

Метод прямого преобразования характеризуется передачей информации только в одном (прямом) направлении – от входной величины X через цепочку различных измерительных преобразователей $П_1, П_2, П_3 ...$ к выходной электрической величине *У*. На схеме (рис. 9, *а*), иллюстрирующей метод прямого преобразования сигнала, промежуточные выходные величины обозначены через $У_1, У_2$. Общая чувствительность в этом случае определяется произведением чувствительностей трёх составляющих. Датчики прямого преобразования обычно просты по конструкции, стабильны и надёжны в работе и поэтому их удобнее использовать при испытаниях автомобилей.



а) ***б)***

Рис. 9. Схемы построения датчиков

Метод уравновешивания характеризуется тем, что используются две цепи преобразователей – цепь прямого преобразования, состоящая из преобразователей $П_1, П_2, П_3 ... П_i$, и цепь обратного преобразования. На схеме (рис. 9, *б*). цепь прямого преобразования составлена преобразователями $П_1$ и $П_2$, а обратного преобразования элементом β, с помощью которого создаётся величина X_y, однородная с входной преобразуемой величиной X и уравновешивающая её, в результате чего на вход цепи преобразователей $П_1$ и $П_2$ поступает только переменная составляющая преобразуемой величины X.

Работа датчиков определяется параметрами и условиями режимов их работы, а также статическими и динамическими характеристиками, которые определяются

по описанной выше методике. Существенной характеристикой любого датчика является линейность статической характеристики, то есть линейность зависимости выходного электрического сигнала от входной измеряемой величины.. В рабочем диапазоне измерений датчик должен иметь линейную характеристику, так как нелинейность требует нелинейного масштаба указателя, резко затрудняет обработку данных, вносит дополнительные погрешности. Если не удаётся подобрать датчики с линейной зависимостью, в измерительную схему вводятся специальные линеаризующие устройства, что усложняет процесс измерений. Кроме того, при измерении динамических процессов с использованием таких устройств не всегда возможна реализация типового детерминированного воздействия, что приводит к отличию получаемого при этом переходного процесса от теоретического.

Помимо этого датчики должны быть по возможности безинерционными и защищёнными от внешних воздействий.

Номенклатура и области применения датчиков промышленного и лабораторного изготовления постоянно расширяются. Выбор преобразователя определяется задачами исследования, конструкцией исследуемого узла, условиями испытаний, характером измеряемого процесса, а также методикой и программой опытов. Выбор преобразователей, измерительной и регистрирующей аппаратуры необходимо осуществлять с позиций современной информационной теории измерений, ибо измерительные средства принято рассматривать как информационную систему, что отвечает существу вопроса. Знание основных положений информационной теории измерений позволяет наиболее эффективно использовать применяемую аппаратуру и разработанные методики экспериментальных исследований.

В практике экспериментальных работ при проведении испытаний автомобильной техники наиболее часто измеряются три группы физических величин:
1) механические величины (линейное и угловое перемещение, линейное и угловое ускорение, усилие, вибрацию, давление, перепад давлений жидкости и газа и др.);
2) электрические величины (напряжение, ток, активное и реактивное сопротивления, индуктивность, частота и амплитуда колебаний тока и напряжения идр.);
3) теплофизические величины (температура механизмов, жидкостей и газов, теплопередача, теплоёмкость и др.).

Перечисленные физические величины измеряются как в статическом, так и в динамическом режимах работы объекта испытаний. При измерении динамических параметров и характеристик требуется измерять ещё временные параметры.

Важным требованием, предъявляемым к датчикам, является возможность преобразования с необходимой точностью малых отклонений измеряемой величины при её больших абсолютных значениях.

На рис.10 показана классификация преобразователей, используемых при различных испытаниях автомобилей. В этой классификации приведены только основные группы преобразователей, которые включаются в состав измерительных систем, предназначенных для стендовых и дорожных испытаний автомобильной техники. Большинство из приведённых датчиков универсальны, так как позволяют преобразовывать различные физические процессы в электрический сигнал.

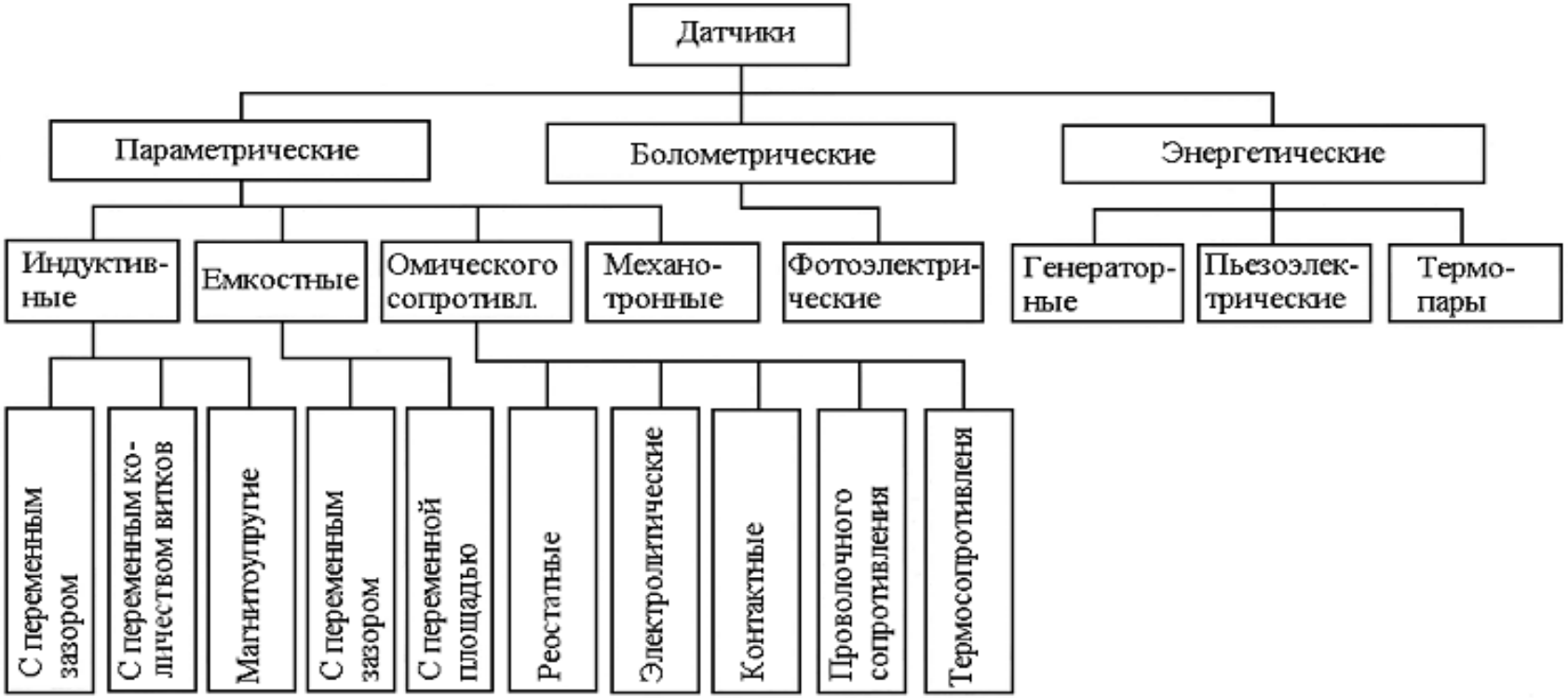


Рис. 10. Классификация преобразователей

3.1. Индуктивные преобразователи

Принцип действия индуктивных преобразователей основан на изменении индуктивного сопротивления электрической цепи под воздействием измеряемой электрической величины (перемещение, усилия). Строго говоря, в цепях с индуктивными преобразователями происходит изменение полного электрического сопротивления. Однако измеряется в основном только реактивная (индуктивная) составляющая этого сопротивления.

Основными частями простейших индуктивных датчиков являются: катушка самоиндукции, соединённая последовательно с нагрузкой (например, измерительным прибором) и источником переменного напряжения, сердечник и якорь, набираемые в пакет из тонких пластин ферромагнитного материала (трансформаторной стали Э4А, пермаллоя и др.).

Ток в катушке подсчитывается по формуле

$$I = \frac{U}{Z},$$

где Z – напряжение источника питания;

$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ – полное сопротивление;

R – активное омическое сопротивление;

ωL – индуктивное сопротивление;

ω – частота переменного тока;

L – индуктивность катушки.

Индуктивность катушки *L* равна

$$L = \frac{n\Phi}{I},$$

где $\Phi = \frac{In}{R\mu}$ – магнитный поток;

n – число витков катушки;

$R\mu$ – магнитное сопротивление, складывающееся из сопротивления $R_{ж}$ магнитопровода (сердечника и якоря) и сопротивления R_B воздушного зазора,

$$R_B = \frac{2\delta}{\mu_0 \cdot S_B},$$

которое зависит от δ – длины воздушного зазора между якорем и сердечником,

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\left(\frac{Н}{м}\right)$ – магнитной постоянной (магнитная проницаемость свободного пространства) и $S_в$ – площади поперечного сечения воздушного зазора.

Зная выражения Φ и $R\mu$, получим индуктивность катушки

$$L = \frac{n^2}{R\mu + \frac{2\delta}{\mu_0 S_B}}.$$

Обычно индуктивные датчики проектируются с насыщенным магнитопроводом, причём воздушный зазор δ выбирается в пределах 0,1…0,5 мм. При этих условиях, $R_{ж} << \frac{2\delta}{\mu_0 \cdot S_B}$, а $R << \omega h$, то есть если пренебречь величинами $R_{ж}$ и R, получим

$$L \approx \frac{n^2 \cdot S_B}{2\delta}\mu_0 \quad \text{и} \quad I = \frac{U}{\omega h} = \frac{2U}{\omega n^2 S_B \mu_0}\delta.$$

Зависимость индуктивности катушки L от длины воздушного зазора δ, а следовательно, от перемещения якоря носит явно нелинейный (гиперболический) характер (рис. 11, *а*), что при измерениях нежелательно, так как требуется дополнительная линеаризация характеристики с применением соответствующих устройств, усложняющих датчики.

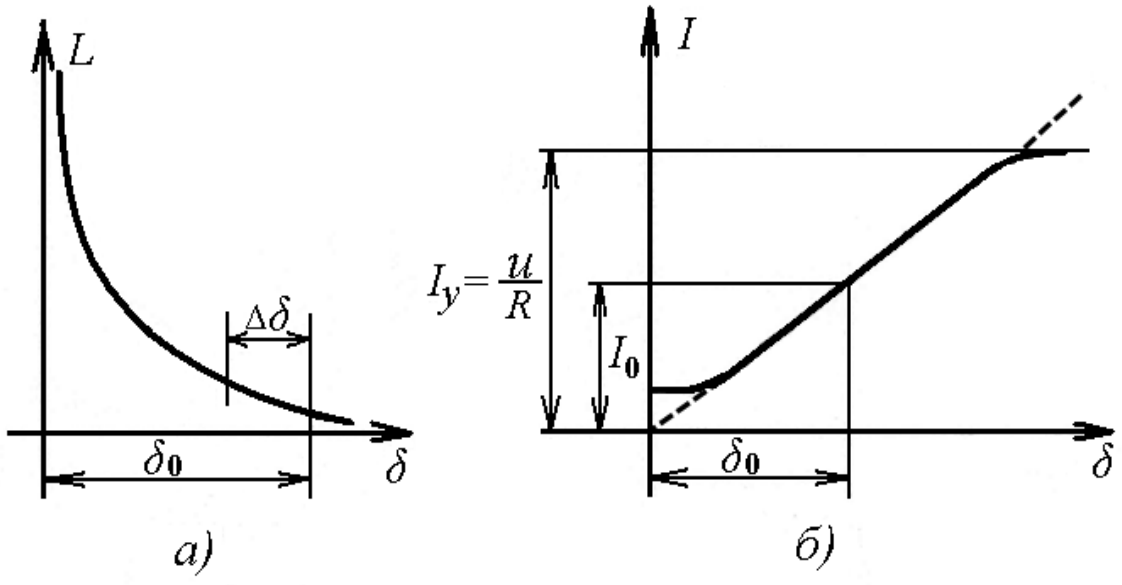


Рис. 11. Характеристики индуктивных датчиков

Для получения линейности характеристики без дополнительных устройств рабочий ход якоря $\Delta\delta$ берётся небольшим по сравнению с начальным зазором δ_0. Тогда рабочий участок гиперболической характеристики будет близок к линейному, и зависимость тока в катушке I от величины воздушного зазора δ тоже будет линейной (рис. 11, *б*).

Реальная рабочая характеристика датчика отличается от линейной наличием некоторых нелинейностей за счёт начального тока при нулевом воздушном зазоре и стремлением тока к установившемуся значению I_y при больших зазорах, когда активное сопротивление становится сравнимым с индуктивным.

Простейшая схема индуктивного преобразователя показана на рис. 12, *а*. Несмотря на простоту, такая схема применяется редко ввиду резко ограниченного участка линейности характеристики, подверженности влиянию температуры и других внешних факторов, что значительно увеличивает погрешности в процессе измерений.

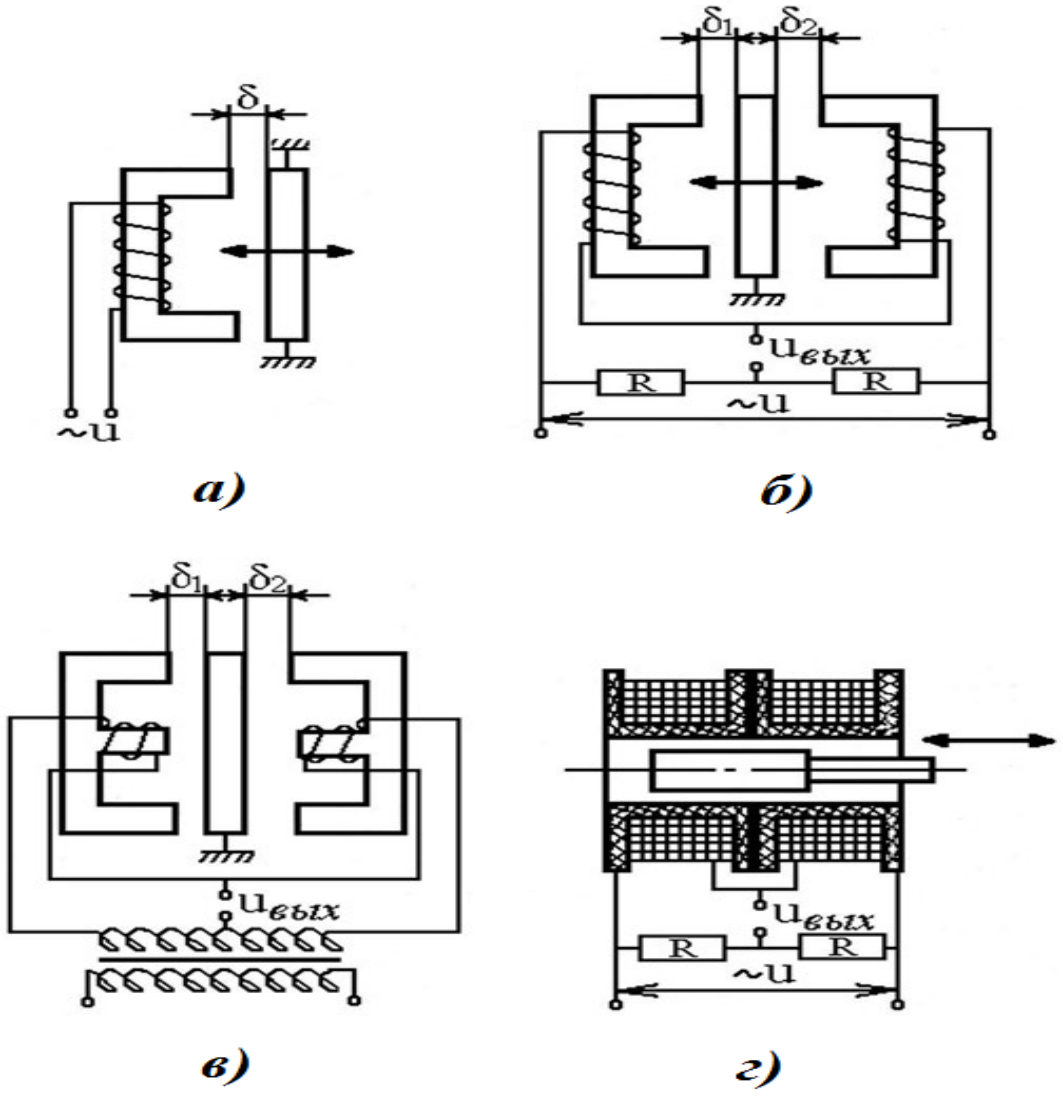


Рис. 12. Индуктивные преобразователи

Эти недостатки в значительной мере устраняются путём использования дифференциальных индуктивных преобразователей (рис. 12. *б)*, включенных в мостовую цепь по схеме дифференциального трансформатора (рис. 12, *в*).

Дифференциальный датчик с двумя катушками имеет в два раза большую чувствительность и при равенстве δ_1 и δ_2 свободен от погрешностей, вносимых внешними воздействиями.

Дифференциальный преобразователь соленоидного типа (рис.12, *г*) может успешно применяться для измерений больших перемещений.

В трансформаторных дифференциальных преобразователях (рис.13) перемещение подвижных частей магнитопровода вызывает изменение взаимной индукции обмоток, размещенных на магнитопроводе преобразователя. Одна из обмоток является питающей, а вторая сигнальной, с неё снимается напряжение, являющееся функцией измеряемой величины. Для компенсации значительного начального тока они только дифференциальными. Их погрешности зависят, главным образом, от колебания напряжения и частоты источника питания. Влияние внешних факторов на погрешность снижается при улучшении симметричности обеих половин преобразователя.

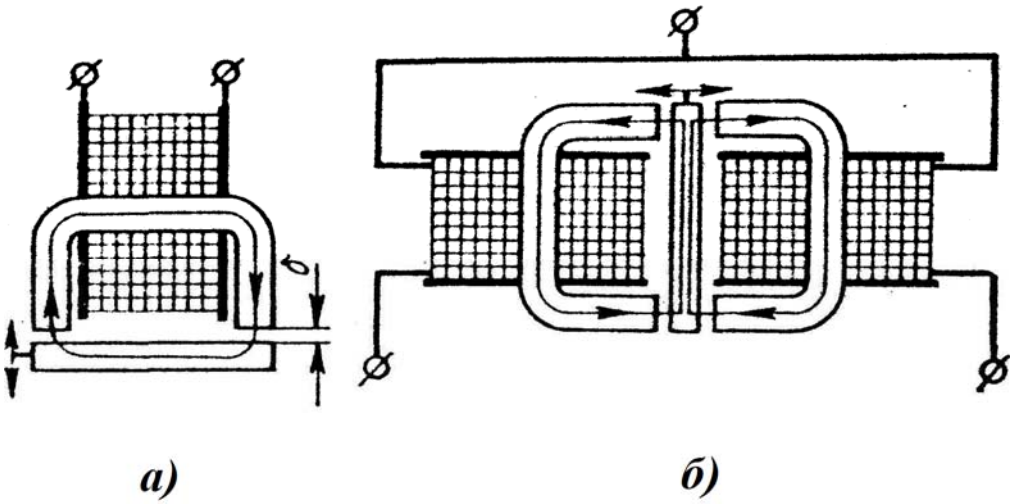


Рис. 13. Индуктивные датчики с переменным воздушным зазором:
а) – одинарный; *б)* – сдвоенный (дифференциальный сельсин)

Измеряемые таким датчиком величины перемещений составляют 0,1…0,5 мм. Для измерения перемещений до 50… 60 мм применяются датчики соленоидного типа. Такие датчики имеют линейную зависимость индуктивности от перемещения сердечника в довольно широком диапазоне изменения этих величин.

Разновидностью индуктивных датчиков являются трансформаторные датчики, основанные на изменении индуктивной связи между двумя обмотками, одна из которых питается от источника переменного тока стабилизированной частоты и напряжения, а во вторичной обмотке наводится э.д.с., величина которой зависит от индуктивной связи между этими двумя обмотками. Поскольку индуктивная

связь между обмотками изменяется теми же средствами, какие применяются в обычных индуктивных датчиках рассмотренных выше типов, то характеристики и другие показатели этих датчиков практически совпадают с их аналогами. Исключение составляет лишь то, что в качестве трансформаторных датчиков используются устройства, построенные по принципу электрических машин.

Индуктивные преобразователи позволяют получить на выходе большую мощность (до 5 Вт) и поэтому могут применяться в безусилительных схемах.

Преобразуя в основном линейные и угловые перемещения, индуктивные датчики применяются в практике испытаний автомобилей для измерения прогибов валов, при исследовании жёсткости конструкций, для замера крутящих моментов, усилий, вибраций, перемещений и др.

Датчики надёжны в работе, имеют стабильные выходные характеристики.

Область использования индуктивных датчиков ограничивается их большой массой и необходимостью применения специальных источников питания. Кроме того, недостатком индуктивных датчиков является их чувствительность к внешним магнитным полям.

В практике измерений давлений жидкостей и газов применяются индуктивные датчики, в которых используется принцип преобразования давления в механическое перемещение упругого элемента. В качестве упругих (чувствительных) элементов таких датчиков (рис. 14) применяются плоские или гофрированные мембраны, трубчатые пружины, сильфоны.

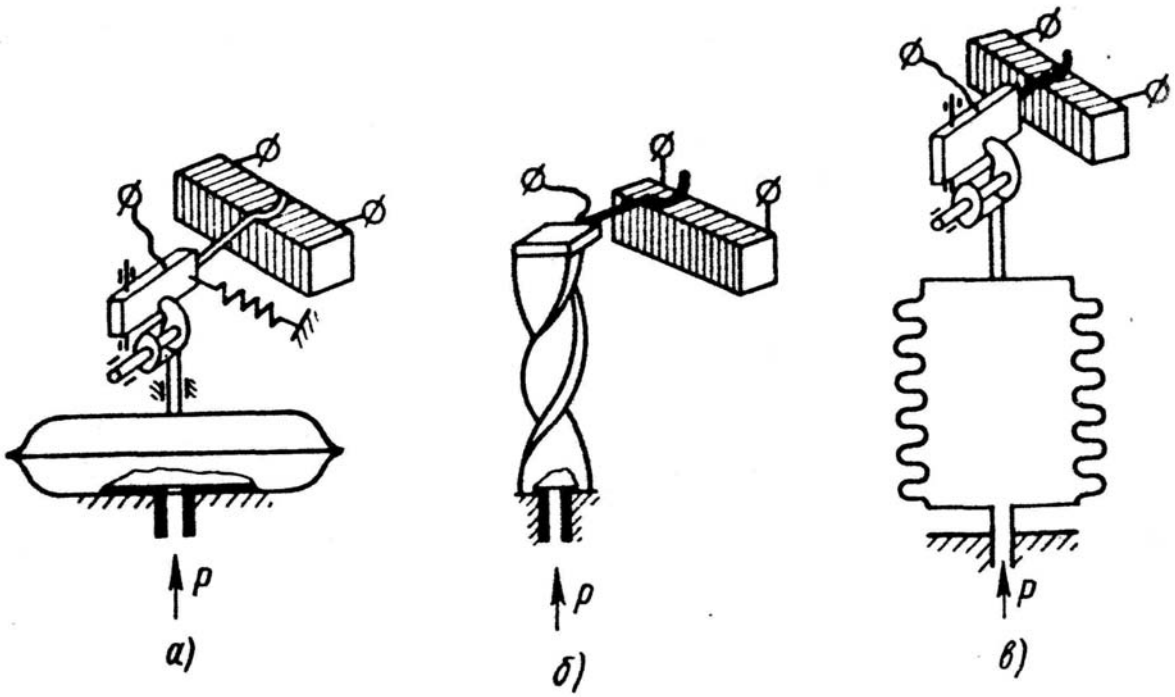


Рис. 14. Схемы потенциометрических датчиков давления:
а) − с мембранной коробкой; *б)* – с витой трубкой; *в)* − с сильфоном

Под действием давления эти упругие элементы деформируются, что приводит к перемещению отдельных их деталей, которое затем измеряется с помощью рассмотренных выше датчиков перемещения. Следовательно, все, что присуще датчикам перемещения, свойственно и датчикам давления. Более того, принято, что название датчику присваивается, как правило, не по виду чувствительного элемента, а по виду преобразователя перемещения в электрический сигнал.

Для измерения давлений, изменяющихся с небольшой частотой, порядка 5…15 Гц, могут применяться датчики с реостатными (потенциометрическими) преобразователями перемещения в электрический сигнал. Чувствительными элементами таких датчиков обычно служат мембранные коробки, трубчатые пружины, сильфоны. Деталь этих элементов, имеющая наибольшую величину перемещения, связывается посредством рычажной кинематической схемы с щеткой потенциометра так, чтобы получить достаточно большое перемещение последней.

Точность измерения такими датчиками в статике составляет порядка 2 %. Погрешность складывается из недостатков преобразователя и чувствительного элемента, который обладает гистерезисной статической характеристикой.

Динамические характеристики измерительной системы с потенциометрическим датчиком давления зависят от многих факторов и, в частности, от жёсткости чувствительного элемента (а следовательно, и от диапазона измерения, на который рассчитан датчик), массы подвижных частей преобразователя, характеристик канала, соединяющего объект измерения с датчиком (длина, гидравлическое сопротивление), измеряемой среды (жидкость, газ, смесь жидкости с газом). Их амплитудно-частотная характеристика (рис. 15) имеет ярко выраженный экстремум, в котором модуль больше, в 3…8 раз, чем его значение при нулевой частоте.

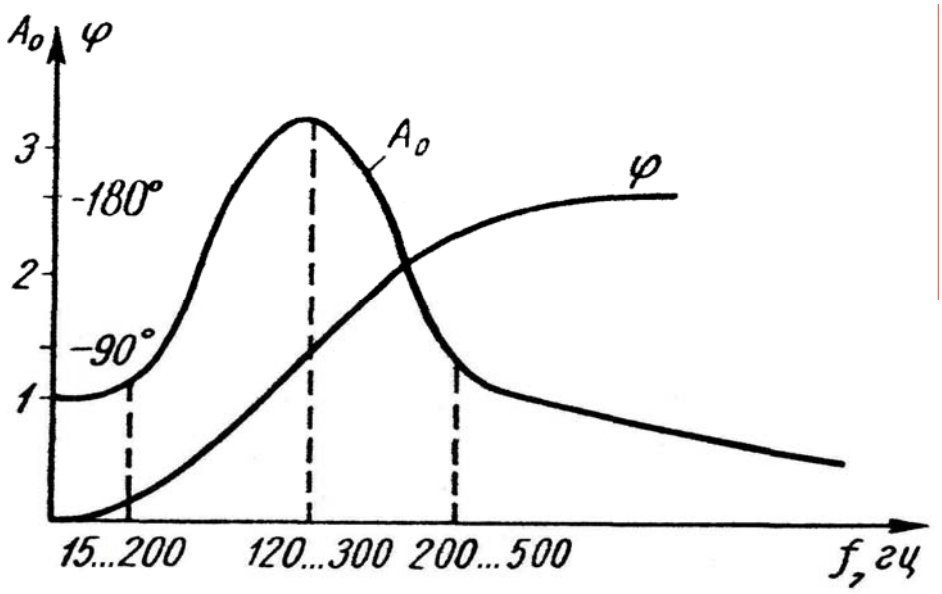


Рис. 15. Типовая частотная характеристика датчика

Сдвиг фаз при этом равен 90º, а с увеличением частоты он стремится к 180º. Это свидетельствует о том, что потенциометрический датчик давления, как динамический объект, является колебательным звеном.

При частотах, превышающих резонансную, часто возникает нарушение контакта между щеткой и намоткой потенциометра, и область, где это происходит, называют областью неустойчивой работы датчика.

Большое влияние на динамические свойства измерительной системы оказывают характеристики канала, соединяющего датчик с объектом измерения. При измерении давления жидкости большая протяженность этих каналов может сильно исказить сигнал за счёт жидкостного трения. При измерении давления газов искажения получаются по причине их сжимаемости. Меняются также динамические свойства датчиков из-за большой присоединенной массы измеряемой среды.

Наименьшей инерционностью обладают датчики, в которых в качестве чувствительного элемента применяется витая трубка (см. рис. 14, *б*).

При колебании измеряемого давления даже со сравнительно небольшой частотой потенциометрические датчики быстро выходят из строя по причине износа обмотки потенциометра. Поэтому такие датчики не рекомендуется применять при частотных исследованиях и при больших пульсациях давления объекта измерения. Кроме того, такие датчики весьма чувствительны к вибрациям.

3.2. Магнитоупругие преобразователи

Принцип действия магнитоупругих преобразователей основан на изменении магнитной проницаемости μ ферромагнитных тел в зависимости от возникающих в них механических напряжений (магнитоупругий эффект), обусловленных воздействием механических сил P (растягивающих, сжимающих, изгибающих, скручивающих). В магнитоупругом преобразователе происходит цепь изменений:

$$P \to \varepsilon \to \sigma \to R_{\mu} \to Z .$$

Под действием сил P происходит деформация ε ферромагнитного тела, которая вызывает изменение внутреннего напряжения σ, сопровождающееся изменением магнитной проницаемости ферромагнитного сердечника с надетой на него катушкой, что вызывает изменение магнитного сопротивления $R\mu$ для магнитного потока в сердечнике и полного электрического сопротивления Z.

Существует и обратное явление – магнитострикция, когда внешнее магнитное поле вызывает механические деформации ферромагнитного тела. Под численным значением магнитострикции понимают изменение относительной деформации $\frac{\Delta l}{l}$, где l − длина стержня, обусловленное воздействием внешнего магнитного поля. При положительной магнитострикции тела увеличивают свои размеры, при отрицательной − уменьшают.

Характер зависимости магнитострикции $\frac{\Delta l}{l}$ от напряжения H магнитного поля для различных ферромагнитных материалов показан на рис. 16, *а*. Изменение относительной магнитной проницаемости $\frac{\Delta\mu}{\mu}$ сердечника в функции относительной деформации $\frac{\Delta l}{l}$ для мягкой стали показан на рис. 16, *б*. Несмотря на некоторую нелинейность этой характеристики, в выбранном диапазоне при обработке данных можно принимать линейной зависимость изменения выходного электрического сигнала от изменения относительной деформации $\frac{\Delta l}{l}$.

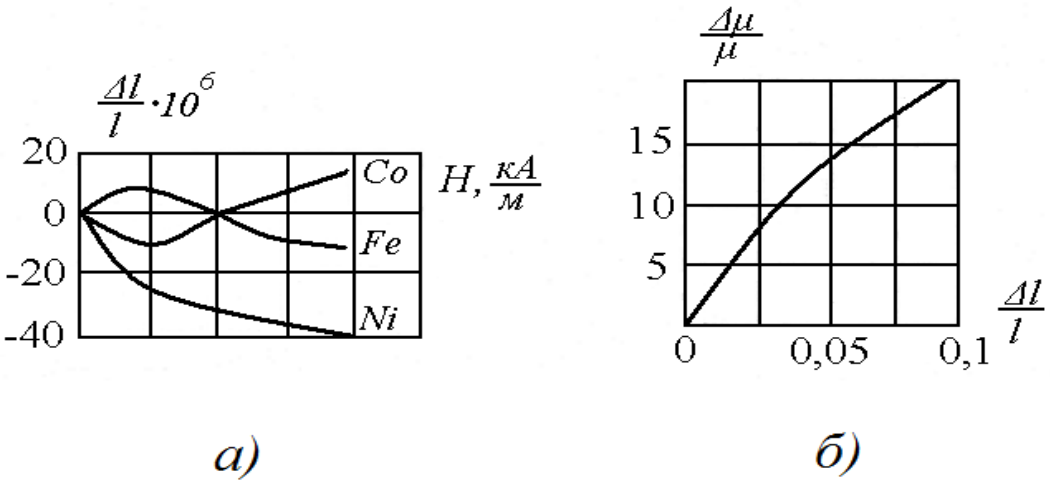


Рис. 16. Характеристики магнитоупругих материалов

Объясняется это тем, что измеряемая механическая величина обычно имеет очень большие значения в широких пределах.

Коэффициент магнитоупругой чувствительности K является основной характеристикой этой группы датчиков. Коэффициент магнитоупругой чувствительности K для такого датчика подсчитывается по выражению

$$K = \frac{\Delta\mu}{\mu} \Big/ \frac{\Delta l}{l},$$

Типы магнитоупругих преобразователей (рис. 17) можно разбить на две группы. К первой группе относятся преобразователи, в которых используется изменение магнитной проницаемости ферромагнитного чувствительного элемента в одном направлении. Ко второй группе относятся преобразователи, в которых используется изменение магнитной проницаемости одновременно в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Преобразователи той и другой групп могут ра-

ботать как переменные индуктивные сопротивления (см. рис. 17, *а*, *б*), величина которых определяется усилием P и как трансформаторные преобразователи с переменной взаимной индуктивностью между обмотками (см. рис.17, *в, г*).

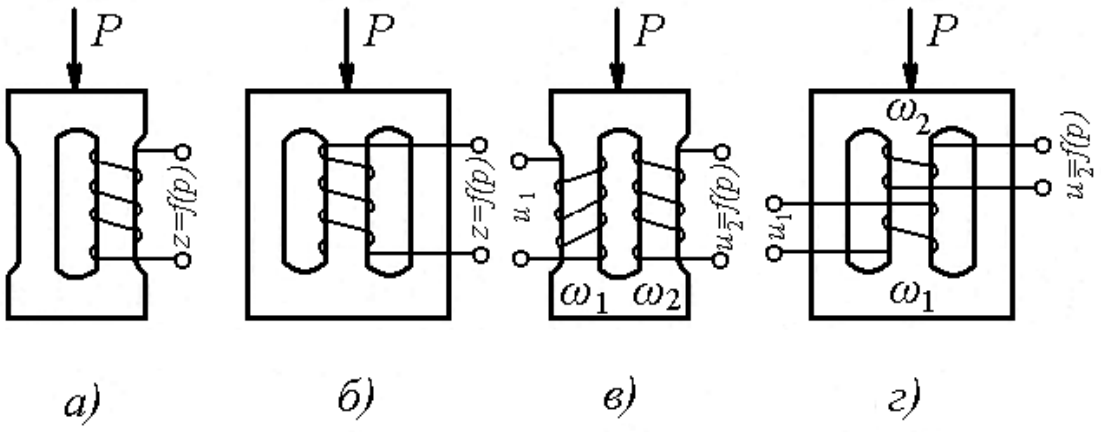


Рис. 17. Схемы построения магнитоупругих преобразователей

Область использования магнитоупругих преобразователей весьма ограничена. В основном они используются для измерения больших усилий (десятки тысяч ньютонов). При испытаниях автотранспортных средств эти датчики чаще всего применяются при оценке тяговых усилий.

Иногда магнитоупругие датчики применяются для измерения крутящего момента с использованием эффекта Видемана − при скручивании ферромагнитного стержня в нём появляется винтовая составляющая повышенной магнитной проницаемости. Прямой эффект Видемана заключается в том, что стальной стержень с проходящим по нему током, помещенный в магнитное продольное поле, испытывает деформацию кручения. При прохождении тока через стержень, на который воздействует крутящий момент, в нём, кроме кругового магнитного потока, возникает продольный магнитный поток (обратный эффект Видемана).

На рис. 18 показан принцип действия таких датчиков кручения.

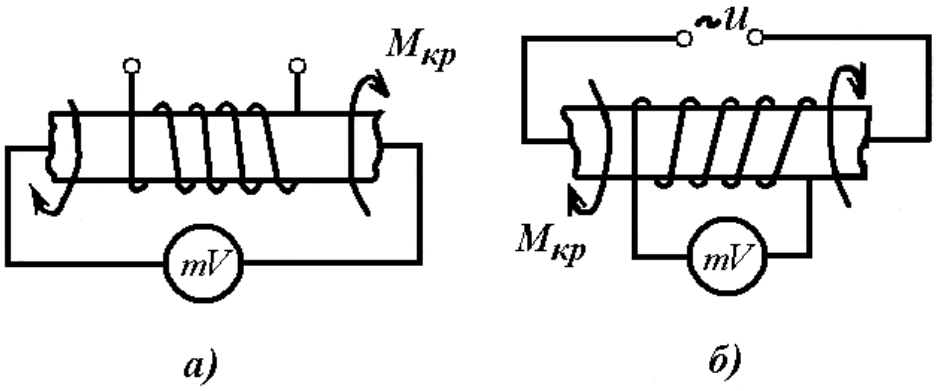


Рис. 18. Магнитоупругие преобразователи для измерения крутящего момента

На рис. 19 показан магнитоупругий датчик давления. Схематично такой датчик представляет собой катушку с замкнутым магнитопроводом, на который действует сила давления измеряемой среды. Изменение давления приводит к изменению магнитной проницаемости магнитопровода, а следовательно, и к изменению индуктивности катушки. Для изготовления магнитопровода применяются специальные сплавы, например, пенминдюр. С помощью магнитоупругих датчиков можно измерять весьма большие усилия, а следовательно, и большие давления.

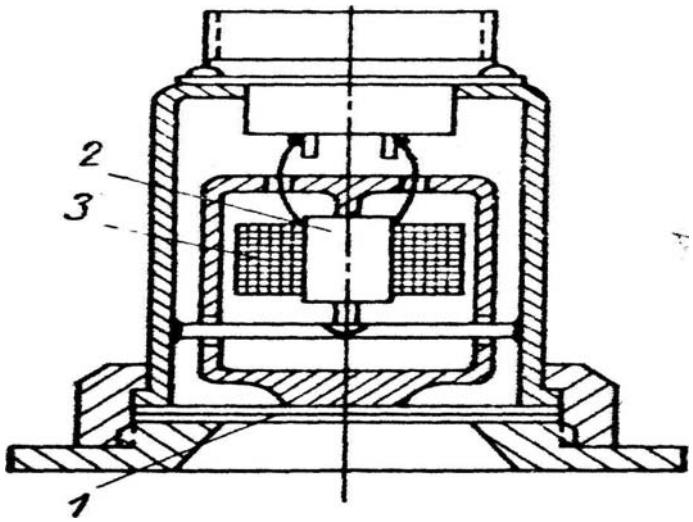


Рис. 19. Магнитоупругий датчик давления:
1 – мембрана; *2* − магнитоупругий элемент; *3* – катушка индуктивности

Как правило, магнитоупругие датчики получают напряжение питания от сети переменного тока напряжением 220…230 В с частотой 50 Гц.

Основным преимуществом магнитоупругих датчиков является большая выходная мощность, так как всё тело ферромагнитного элемента, воспринимающего усилие, является активным.

Недостатками этих датчиков являются относительно невысокая точность и нестабильность характеристик. Гистерезис характеристики от искусственного старения материала сердечника составляет 1,5 %. Изменение магнитных свойств сердечника при изменении температуры на + 10° С составляет примерно 1 %.

3.3. Ёмкостные преобразователи

Принцип действия ёмкостных преобразователей основан на изменении ёмкости конденсатора в функции измеряемой неэлектрической величины.

В общем случае ёмкость плоского конденсатора выражается формулой

$$C = \frac{\varepsilon S}{\delta}.$$

В этой формуле C − ёмкость конденсатора; S − рабочая площадь пластин; ε − диэлектрическая проницаемость среды между обкладками конденсатора; δ − расстояние между пластинами.

Характеристики ёмкостных датчиков показаны на рис. 20.

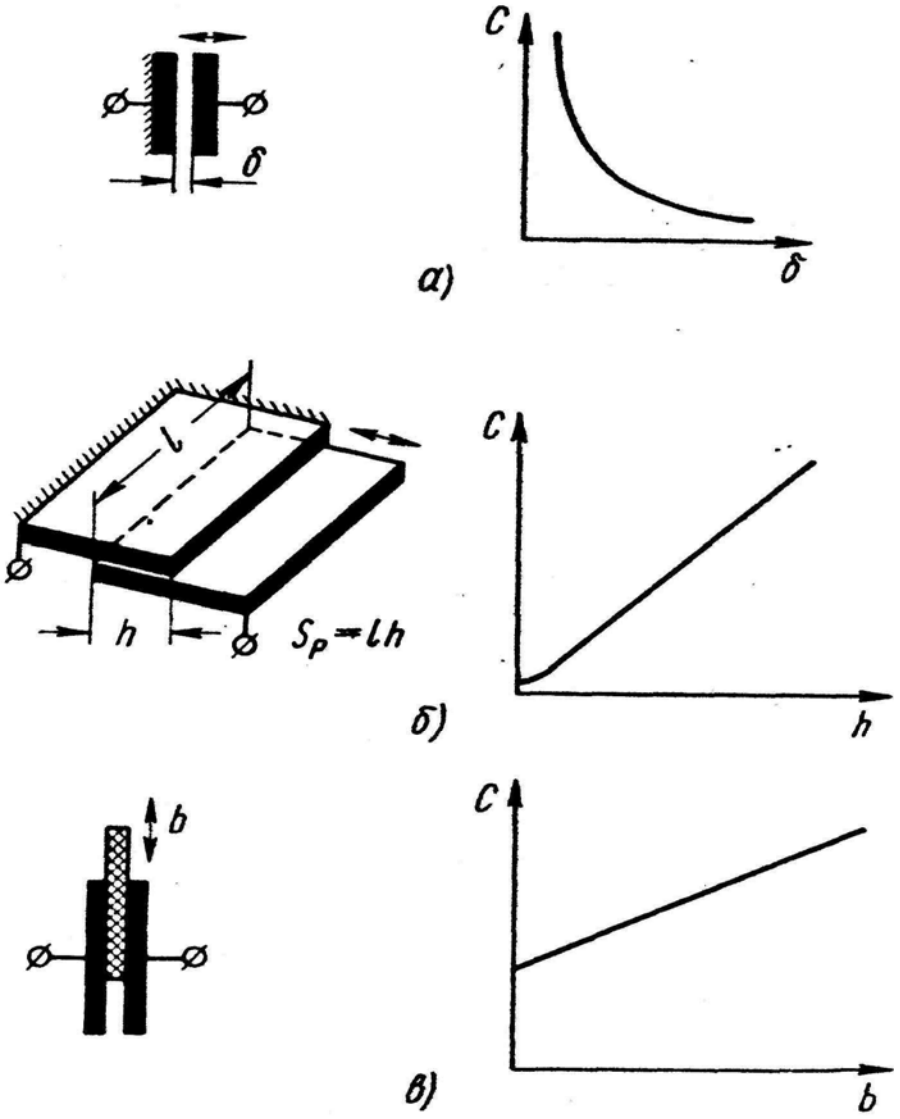


Рис. 20. Характеристики ёмкостных датчиков

Из графиков видно, что при малых зазорах δ (см. рис 20, *а*) характеристика имеет большую крутизну и близка к линейной. Поэтому в схемах с использованием плоского конденсатора целесообразно работать на начальном участке характеристики, то есть при малых зазорах, что обеспечивает сочетание линейности характеристики с высокой чувствительностью.

Датчики с переменной площадью перекрытия пластин обеспечивают линейную характеристику во всём диапазоне измерений и могут использоваться для больших перемещений.

Перемещение диэлектриков между обкладками также даёт линейное изменение ёмкости в больших пределах.

Схемы построения ёмкостных датчиков могут быть различными (рис. 21).

Минимальное расстояние между электродами у ёмкостных датчиков выбирается в основном из расчёта их диэлектрической стабильности.

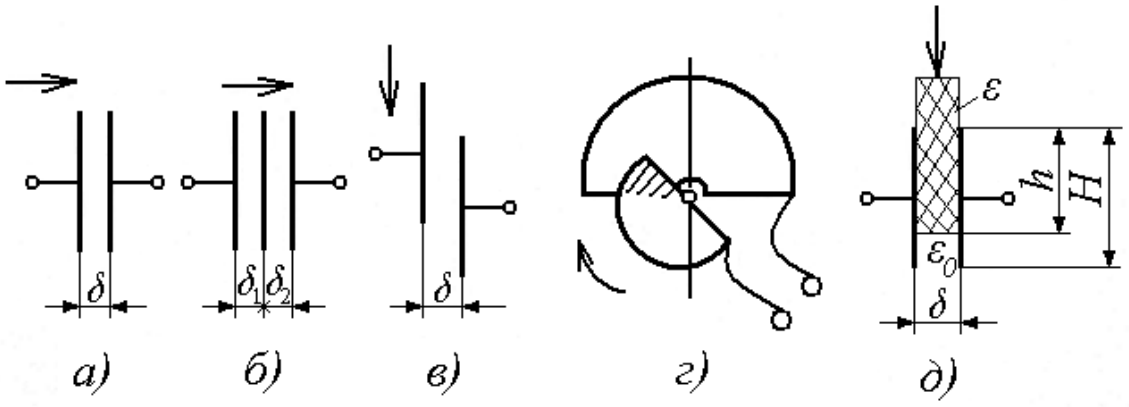


Рис. 21. Схемы построения ёмкостных преобразователей

На рис. 21, *а* изображена схема ёмкостного датчика с изменяющимся зазором δ под воздействием измеряемой величины (перемещения). Аналогично построен дифференциальный датчик, схема которого изображена на рис. 21, *б*. Датчики с изменяющейся активной площадью пластин изображены на рис. 21, *в* и *г*. Ёмкостный преобразователь с изменяющейся диэлектрической проницаемостью среды (рис. 21*, д)* имеет ёмкость, которая подсчитывается по выражению

$$C = \frac{в}{\delta}\left[H\varepsilon_0 + h\left(\varepsilon - \varepsilon_0\right)\right],$$

где ε − ширина диэлектрика между обкладками конденсатора.

Твёрдый диэлектрик, вводимый между пластинами, улучшает характеристику датчика, делая её более близкой к линейной.

Собственная частота ёмкостных датчиков составляет единицы, десятки и даже сотни килогерц. Рабочий диапазон частот у них лежит в пределах от 0 до 800 Гц с погрешностью по амплитуде 1 % или до 5000 Гц с погрешностью по амплитуде до 5 %. Сдвиг фаз при этом не превышает 3^{o}.

Простота конструкции, надёжность в работе, малые габариты и вес, удобство монтажа определяют широкую область использования ёмкостных датчиков. При испытаниях автомобилей они используются для измерения линейных и угловых перемещений деталей и органов управления, вибраций (в частности кузовных деталей), контроля включений различных механизмов, деформации деталей и т. п.

К недостаткам датчиков можно отнести очень высокую подверженность

внешним воздействиям, влияние на рабочую характеристику паразитных ёмкостей соединительных проводов электрической цепи и вспомогательных электроприборов, включаемых в измерительный комплекс, необходимость тщательной экранировки и с ответственно сложность настройки при измерениях.

3.4. Коммутирующие преобразователи

Коммутирующие преобразователи относятся к обширной группе датчиков омического сопротивления. У этих преобразователей при измеряемом внешнем воздействии изменяется сопротивление, включённое в измерительную цепь.

Коммутирующие преобразователи подразделяются по виду физической величины, на которую они реагируют − механические, гидравлические, пневматические, электрические, тепловые, оптические, магнитные, акустические и по характеру исполнительного органа − контактные и бесконтактные (меняющие свое внутреннее сопротивление).

Наибольшее распространение получили четыре типа датчиков:

1) различные механические замыкатели;
2) электромагнитные реле;
3) полупроводниковые управляемые элементы;
4) магнитоуправляемые элементы − *герконы* (герметизированный контакт).

Работа этих преобразователей определяется пятью характеристиками:

1) порогом срабатывания − минимальным значением изменения сигнала на входе, при котором изменяется выходное состояние преобразователя;
2) быстродействием, которое определяется временем срабатывания и временем отпускания или возврата;
3) сопротивлением выходной цепи в разомкнутом и замкнутом состояниях;
4) коммутируемой мощностью в выходной цепи преобразователя;
5) долговечностью (числом срабатываний).

Герметизированный переключатель с контактами из ферромагнитного материала, замыкающимися под действием магнитного поля удобен в использовании.

Подразделяются герконы на замыкающие, размыкающие и переключающие.

Внутри стеклянного баллона, диаметр которого не превышает нескольких миллиметров, создаётся вакуум или нейтральная газовая среда. При определённой напряженности магнитного поля свободные концы пружинных контактов, находящиеся внутри баллона на расстоянии несколько десятых или сотых долей миллиметра, притягиваются друг к другу и замыкают контакт.

На рис.22 показана схема построения простейшего геркона.



Рис. 22. Простой замыкающий геркон

Положительными особенностями герконов являются простота конструкции, малые габариты и вес, безинерционность, надёжность в работе, удобство монтажа, низкая стоимость, отсутствие регулировок, работа в любом положении. Недостатком можно считать их подверженность механическим разрушениям.

3.5. Реостатные преобразователи

Эти преобразователи выполняются в виде обмотки на каркасе, либо реохордного типа (натянутая металлическая нить) и перемещаемого контакта.

Датчики реостатного типа представляют собой регулируемые омические сопротивления специальных исполнений. В отличие от обычных регулировочных реостатов к этим датчикам предъявляется требование однозначной зависимости между величиной их сопротивления и измеряемым перемещением.

Датчики представляют собой электромеханическое устройство, состоящее из активного сопротивления и скользящего контакта − щётки, передвигающейся по проводнику. Реостат, включённый по схеме делителя напряжения, называют потенциометром. По конструкции реостаты и потенциометры одинаковы, отличие между ними состоит лишь в способе включения в электрическую схему.

Минимальная величина перемещения щётки, на которую реагирует датчик равна толщине провода, поэтому она называется разрешающей способностью. Верхний предел измерения угловых и линейных перемещений у таких датчиков практически неограничен.

Реостатные преобразователи позволяют измерять как линейные, так и угловые перемещения. Для измерения угловых перемещений, превышающих 360^{o}, используются многооборотные реостатные преобразователи.

Для обмоток реостатных преобразователей применяется проволока из материалов, обладающих высоким удельным сопротивлением, малым температурным коэффициентом электрического сопротивления, имеющих стабильные характеристики. В основном используются обмотки из константана, манганина, нихрома. При повышенных требованиях к качеству реостатных преобразователей применяют проволоку из благородных металлов (сплавы с примесями серебра, золота, платины) или с покрытием простой проволоки тонким слоем серебра или золота.

Каркасы преобразователей изготавливаются из различных неметаллических материалов: пластмассы, текстолита, гетинакса, эбонита, керамики. В некоторых случаях применяются каркасы из алюминиевых сплавов с изоляцией внешней поверхности специальным лаком.

Щётки выполняются из проволок или лент из бронзы, платиноиридиевого сплава и других упругих материалов. Качественный реостатный преобразователь должен иметь малое и стабильное переходное сопротивление между токосъёмным элементом движка и обмоткой, что определяется конструкцией и материалом щётки. Из-за образования на щётках из неблагородных металлов окисных плёнок наблюдается нестабильность переходного сопротивления контакта, особенно при наличии в воздухе агрессивных примесей.

На рис. 23 *а* и *б* показаны реостатные датчики соответственно линейных и угловых перемещений. Датчики контактного переключения (рис. 23, *в)* меняют общее сопротивление ступенчато на одинаковую величину, равную постоянному сопротивлению, включённому в цепь. Бесконтактный преобразователь (рис. 23, *г*) меняет своё сопротивление при перекрытии проводника ртутью, залитой в тор.

Преимуществом реостатных датчиков является лёгкая воспроизводимость характеристик, большая выходная мощность, что позволяет обходиться без усилителя, достаточная чувствительность, простота конструкции.

Недостатком датчиков следует считать невысокий срок службы и малую надёжность, так как скользящий контакт и значительное прижатие щётки приводят к быстрому истиранию проводника. Кроме того, у реостатных преобразователей, выполненных в виде обмотки, наблюдается ступенчатое изменение сопротивления при непрерывном изменении измеряемого процесса. Увеличение числа витков при одновременном уменьшении поперечного сечения каркаса (длины витка) приводят к погрешностям измерений и к приближению характеристик преобразователя к параметрам реохордного датчика.

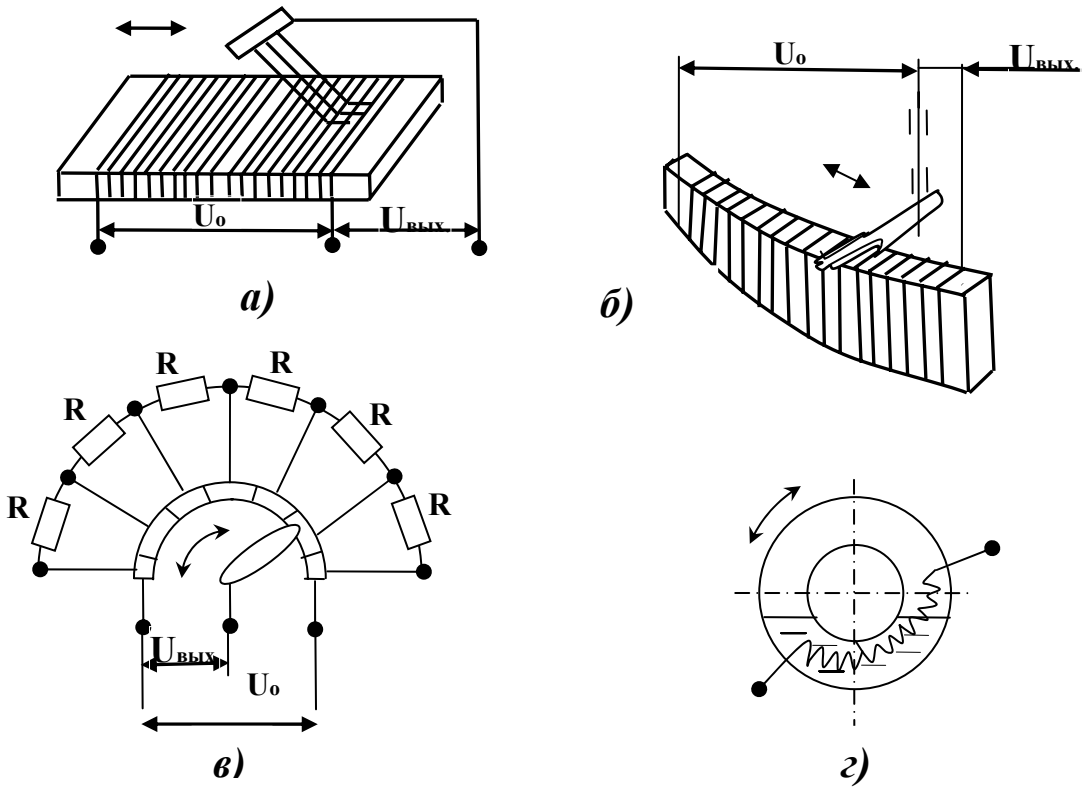


Рис. 23. Схемы построения реостатных датчиков

Минимальная величина перемещения, которая может быть обнаружена с помощью такого датчика, в лучшем случае равна диаметру провода. Иногда эту величину называют разрешающей способностью потенциометра.

Статическая погрешность реостатных и потенциометрических датчиков может быть вызвана также неравномерностью толщины намоточной проволоки.

Если измеряемый объект развивает при перемещении усилия, значительно превышающие, усилия, необходимые для перемещения подвижного контакта датчика, и если этот контакт жёстко скреплен с объектом, то выходной сигнал датчика следует за изменением измеряемой величины без какого-либо запаздывания. Но в тех случаях, когда развиваемые объектом измерения усилия соизмеримы с усилиями, необходимыми для перемещения подвижного контакта датчика, его применение может привести к значительным динамическим погрешностям в процессе измерений. Если датчик связан с измеряемым объектом посредством нежесткой связи, например с помощью гибкого тросика, то динамические погрешности могут возникнуть и при больших усилиях объекта измерения, так как подвижные элементы датчика обладают некоторой инерционной массой.

Наиболее важным преимуществом проволочных датчиков является возможность получения достаточно мощного выходного сигнала, что позволяет во многих случаях обходиться без дополнительного усилителя. Необходимо отметить также простоту его конструкции и высокую надёжность при определенных условиях. В связи с этим проволочные датчики получили широкое распространение.

Точность работы проволочных реостатных датчиков, как правило, колеблется в пределах от 0,1% до 2%.

Диапазон измеряемых линейных перемещений этими датчиками составляет от 1 мм до 250…300 мм, но принципиально возможны измерения и больших перемещений порядка нескольких метров. При измерении угловых перемещений возможны замеры от нескольких градусов до нескольких оборотов (многооборотные потенциометры).

Используются реостатные датчики в основном для измерения линейных и угловых перемещений в органах управления автомобилем, в подвеске и в других различных механизмах и системах.

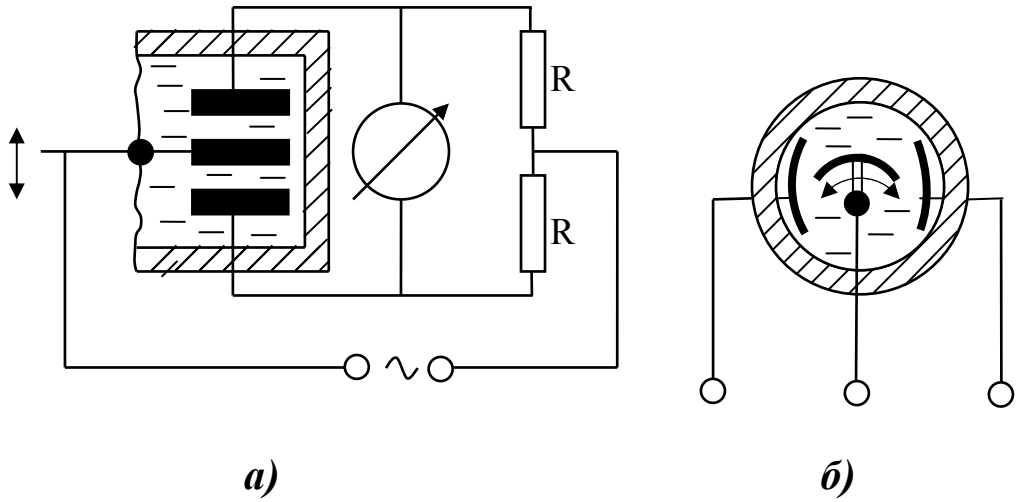
3.6. Электролитические преобразователи

Действие электролитических преобразователей основано на изменении сопротивления электропроводящей жидкости (электролита) при взаимном перемещении электродов, помещённых в герметичную колбу, или дополнительных экранирующих пластин, а также при изменении геометрической формы сосуда с электролитом под воздействием измеряемого физического процесса.

Принципиальные схемы построения электролитических датчиков дифференциального типа измерений, включаемых в мостовую измерительную схему, приведены на рис. 24.

Питание электрической цепи, в которую включаются эти датчики, осуществляется только переменным током во избежание разложения электролита и полного выхода из строя преобразователей, которые невзаимозаменяемы.

Сопротивление электропроводящей жидкости в значительной степени зависит: от удельного сопротивления электролита, расстояния между электродами, площади соприкосновения электродов с электролитом, а также от температуры.



а) *б)*

Рис. 24. Схемы построения электролитических датчиков

Сопротивление R столба жидкости электролитического преобразователя

$$R = \frac{1}{\gamma G},$$

где γ – удельная электропроводимость электролита;

G – геометрическая проводимость (электропроводность датчика при γ=1).

Два плеча мостовой измерительной схемы (см. рис. 24, *а*) образованы сопротивлениями электролитического преобразователя, имеющего подвижный средний электрод (центральный катод) и два неподвижных крайних электрода (периферийный сдвоенный анод).

Схема датчика угловых перемещений (см. рис.24, *б*) построена на изменении площади, перекрываемой электродами при вращении одного из них.

Достоинством электролитических преобразователей является простота конструкции, малые габариты, невысокая стоимость, возможность пропускания больших токов и незначительное усилие, требуемое для перемещения электродов. Кроме того, для них можно подобрать квазилинейную характеристику, но с определёнными температурными ограничениями.

Существенным недостатком электролитических датчиков, резко ограничивающим их применение, является значительная зависимость сопротивления электролита от температуры (при изменении температуры на 1° С удельное сопротивление электролита меняется на 1,5…2,5 %) и от степени концентрации раствора. Последнее свойство успешно используется для оценки концентрации растворов.

Применяются электролитические датчики в основном для измерения линейных и угловых микроперемещений, микродеформаций, незначительных прогибов конструкций, вибраций и колебаний элементов конструкций.

3.7. Преобразователи контактного сопротивления

Действие преобразователей контактного сопротивления основано на зависимости переходного сопротивления контактов $R_к$ от усилия P их сжатия

$$R_k = R_0 + \frac{K}{P},$$

где R_0 − внутреннее сопротивление датчика;

K − коэффициент, зависящий от материала и шероховатости поверхности;

P − усилие сжатия.

Конструктивно контактные датчики (рис. 25, а) выполняются в виде столбиков, набранных из угольных колец или дисков. Угольные элементы, из которых состоят датчики, имеют большое удельное сопротивление (до 100 Ом·мм/м) и шероховатую поверхность, которая осуществляет контакт дисков не по всей поверхности, а в отдельных точках. По мере возрастания усилия сжатия колец или дисков площадь поверхности их соприкосновения увеличивается, что приводит к уменьшению переходного сопротивления.

Рабочая характеристика угольных столбиков обладает значительным гистерезисом (рис. 25, *б*), то есть сопротивление датчика при его нагрузке усилием сжатия не совпадает с сопротивлением при его разгрузке от того же усилия.

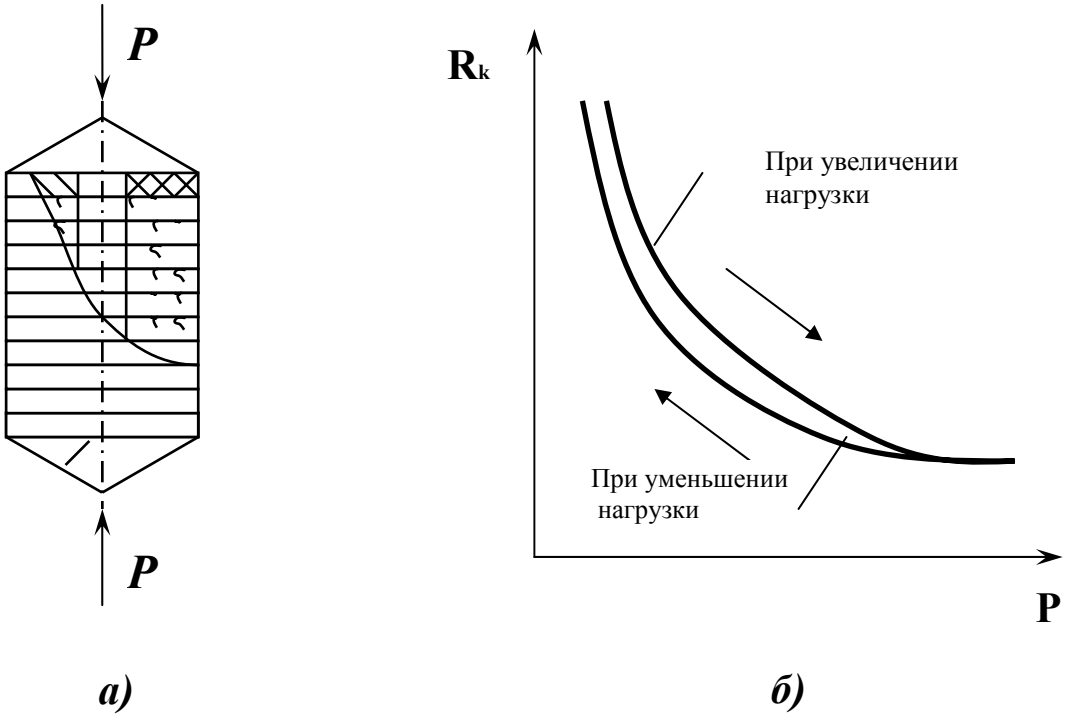


Рис. 25. Схема построения датчика контактного сопротивления

Для уменьшения гистерезиса, который может достигать 7 %, угольные столбики предварительно сжимаются усилием 250…300 Н, благодаря чему используемый участок характеристики смещается вправо в область больших усилий, где гистерезис имеет значительно меньшую величину, а сама характеристика датчика приближается к линейной.

На сопротивление угольного элемента в значительной мере оказывает влияние температура. Внутреннее сопротивление дисков с повышением температуры уменьшается, так как уголь имеет отрицательный температурный коэффициент.

Общее омическое сопротивление угольного столбика с повышением температуры увеличивается из-за ослабления сжатия дисков вследствие значительного линейного расширения металлического корпуса датчика.

Сопротивление угольного столбика может быть включено в одно из плеч мостовой измерительной схемы. Однако, для снижения температурных погрешностей и уменьшения влияния гистерезиса и нелинейности характеристики контактные преобразователи всегда включаются в дифференциальную измерительную схему.

Достоинством контактных преобразователей является простота и дешевизна конструкции, хорошая чувствительность, возможность пропускания больших токов, что позволяет обходиться без усилителя, удобство крепления.

К недостаткам угольных преобразователей относятся невысокая точность, подверженность воздействию вибраций, нестабильность работы, нелинейность характеристики, невзаимозаменяемость.

Применяются контактные датчики в основном для измерений усилий и давлений, когда не требуется высокая точность. Довольно часто эти датчики используются в различных средствах автоматики, в частности, в автоматических управляющих реле и переключателях.

К контактным датчикам относятся, так называемые, тензолитные преобразователи. Изготавливаются они из тонкого обожженного графитового порошка, который в горячем состоянии смешивается с шеллаком или канифолью, а затем раскатывается в лист толщиной 2 мм и разрезается на пластинки размером 5х50 мм, которые и называются тензолитными датчиками. В горячем состоянии в каждую пластинку вставляются выводные контакты из медной облужёной проволоки для присоединения к измерительным устройствам. Более совершенные смеси (более чувствительные) образуются прессованием тестообразной массы из тонкой сажи, канифоли и бакелита.

Эти датчики в подогретом состоянии, когда они могут принимать любую форму поверхности, наклеиваются через изолирующий слой на детали (обычно со сложной формой поверхности) и после подключения в электрическую измерительную цепь (как правило мостовую) могут измерять деформацию поверхности.

Точного объяснения появления такого тензоэффекта пока не найдено, но предполагается, что у этих датчиков изменение внутреннего сопротивления при деформации объясняется возникновением (при деформации этого полупроводника) обратимых микроскопических трещин, которые. увеличиваясь или уменьшаясь. изменяют характер соединения проводящих частичек.

Преимуществом тензолитных пластинок можно считать возможность крепления к сложным поверхностям (например, к кузовным панелям), линейность характеристики (зависимость выходного тока от измеряемой деформации), простоту и дешевизну, возможность пропускания больших токов, что позволяет применять их в безусилительных измерительных схемах.

К недостаткам этих устройств следует отнести невзаимозаменяемость (одноразовость использования), невысокую точность, подверженность воздействию температуры и влаги, низкую стабильность характеристик, а также необходимость тщательной защиты от механических повреждений.

Применяются тензолитные пластинки ограниченно, главным образом для оценки характера деформации исследуемых поверхностей. В тоже время с их помощью можно определить направление действующих деформаций, что, в свою очередь, позволяет правильно крепить тензорезисторы для точной количественной оценки измеряемых деформаций и расчёта прочностных свойств деталей.

3.8. Термометрические преобразователи

Действие этих датчиков основано на свойстве металлов и ряда полупроводников изменять своё удельное электрическое сопротивление с изменением температуры. Зависимость между сопротивлением и температурой позволила использовать термосопротивления для измерения температуры (от – 200° С до + 500° С) , изменение которой преобразуется в изменение сопротивления, замеряемого затем электроизмерительной схемой.

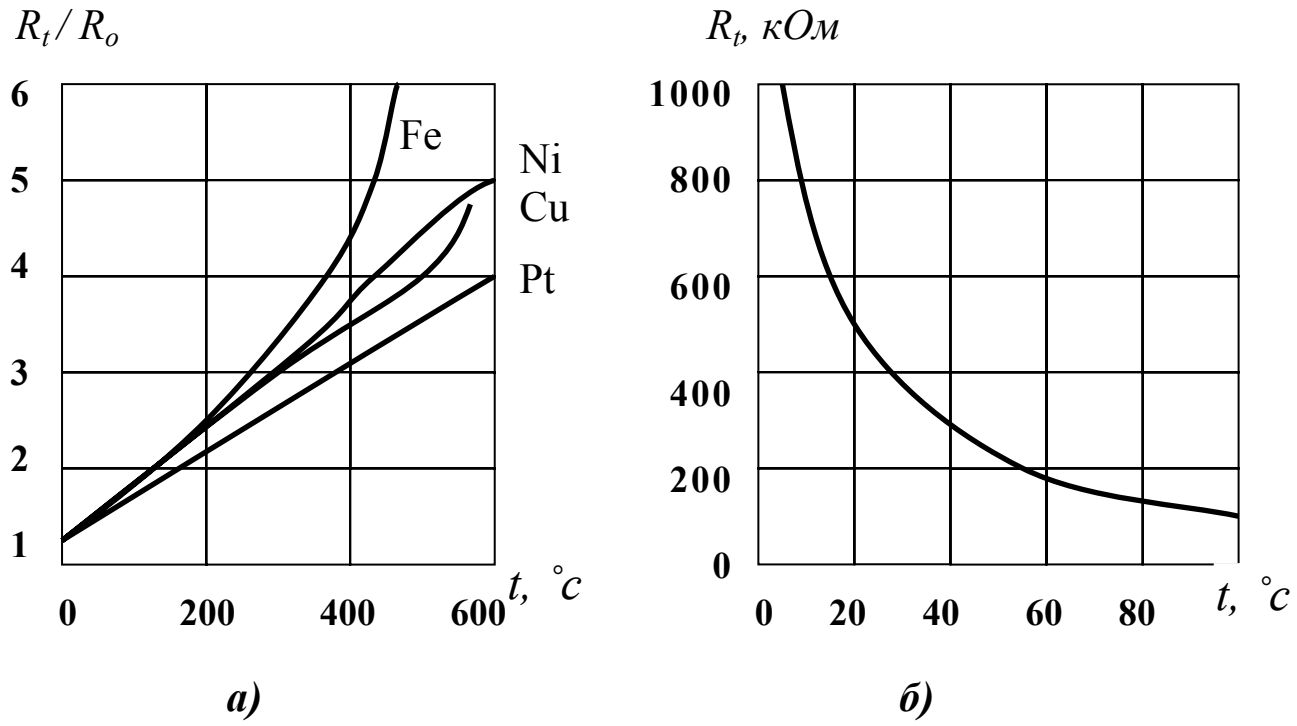
Датчики выполняются из тонкой проволоки диаметром от 0,05 мм до 0,1 мм, намотанной на каркас из электроизоляционного материала. Каркас с намоткой помещают в защитную арматуру. Наиболее пригодны для термосопротивлений чистые металлы − платина, медь, никель и железо.

На рис. 26, *а* показана зависимость относительного сопротивления этих металлов от температуры (по оси ординат отложено отношение сопротивления R_t (при измененной температуре) к сопротивлению R_0 (при 0° С).

Для измерения температуры в диапазоне от – 50° С до + 150° С обычно используются медные термосопротивления, в диапазоне от – 60° С до + 250° С используются никелевые, а от – 200° С до + 400° С – платиновые.

Чем больше начальное сопротивление, тем меньше будет сказываться на показаниях прибора изменение сопротивления проводов, соединяющих датчик с указателем (при изменении температуры). С другой стороны, большая величина R_o термоэлемента вынуждает применять более тонкий провод, что снижает надёжность работы и увеличивает погрешности от нагрева протекающим током.

Обычно ток, протекающий по датчику, не превышает 15 мВ. Погрешность от нагрева током невелика и не превышает сотой доли градуса. Кроме этой погрешности, термосопротивлениям свойственно температурное запаздывание, то есть динамическая погрешность.



а) ***б)***

Рис. 26. Зависимость сопротивления материала термометрических датчиков от температуры

Она обусловлена тем, что они обладают большой тепловой инерцией и, будучи введены в горячую или холодную среды, воспринимают её температуру не мгновенно, то есть обладают большим временем переходного процесса T_n. Это явление тепловой инерции определяется постоянной времени

$$T = \frac{cm}{KF},$$

где c − теплоёмкость термосопротивления;

m − масса термосопротивления;

K − коэффициент теплопередачи;

F − площадь поверхности термосопротивления.

Для уменьшения погрешности запаздывания необходимо, уменьшать теплоёмкость c и массу m , а площадь термосопротивления F и коэффициент теплопередачи K − увеличивать.

На рис. 26, *б* показана зависимость сопротивления термистора от температуры. Эта характеристика носит нелинейный характер.

Термометрические датчики из чистых металлов используются в основном в качестве дистанционных термометров.

Большое распространение в дистанционных термометрах нашли полупроводниковые термосопротивления (термисторы). Они обладают очень большим

температурным коэффициентом электрического сопротивления и поэтому значительно чувствительнее датчиков, изготовленных из чистых металлов. Имеются термисторы, электропроводность которых изменяется с повышением температуры в 1000 раз и более.

В качестве измерительной схемы при применении термометрических датчиков чаще всего используется мостовая, в одно из плеч которой включается термометрический датчик (чаще всего термистор).

Достоинствами термисторов являются их простота, достаточная чувствительность, малые габариты и лёгкость установки их в труднодоступных местах.

Недостатками этих датчиков являются их невзаимозаменяемость, невысокая точность и низкая стабильность характеристики.

3.9. Механотронные преобразователи

Механотронные преобразователи относятся к обширной группе электронных датчиков. Действие механотронных преобразователей (механотронов) основано на явлении изменения анодного тока электронной лампы при механическом перемещении, подвижного электрода.

Механотроны изготовливаются в виде одинарных и сдвоенных диодов и триодов с подвижными анодами, сетками, катодами или вспомогательными электродами. Наибольшее распространение получили датчики, выполненные в виде двойного диода. Датчики с подвижными сетками используются реже других, так как имеют излишне высокую чувствительность, превосходящую их стабильность.

Анодный ток механотронного преобразователя определяется выражением

$$I_a = k\frac{Q_к \cdot U_a^{\frac{3}{2}}}{a^2},$$

где U_a − анодное напряжение, В;

$Q_к$ − площадь катода, см;

a − расстояние между анодом и катодом, см.

Ввод перемещения внутрь колбы осуществляется через упругие стеклянные или металлические мембраны, а также через гофрированные стенки. Возможно осуществлять перемещение электродов с помощью магнитного поля. Иногда источник усилия, действующего на электрод, помещается внутрь баллона.

На рис. 27, *а* показана схема двойного диода, который имеет чувствительность 500 В/см. При перемещении сдвоенного анода под воздействием измеряемого процесса меняется расстояние между электродами и анодный ток.

Двойной триод, изображённый на рис. 27, *б*, имеет значительно большую чувствительность – до 10 000 В/см за счёт применения в электронной лампе сетки с собственным источником питания.

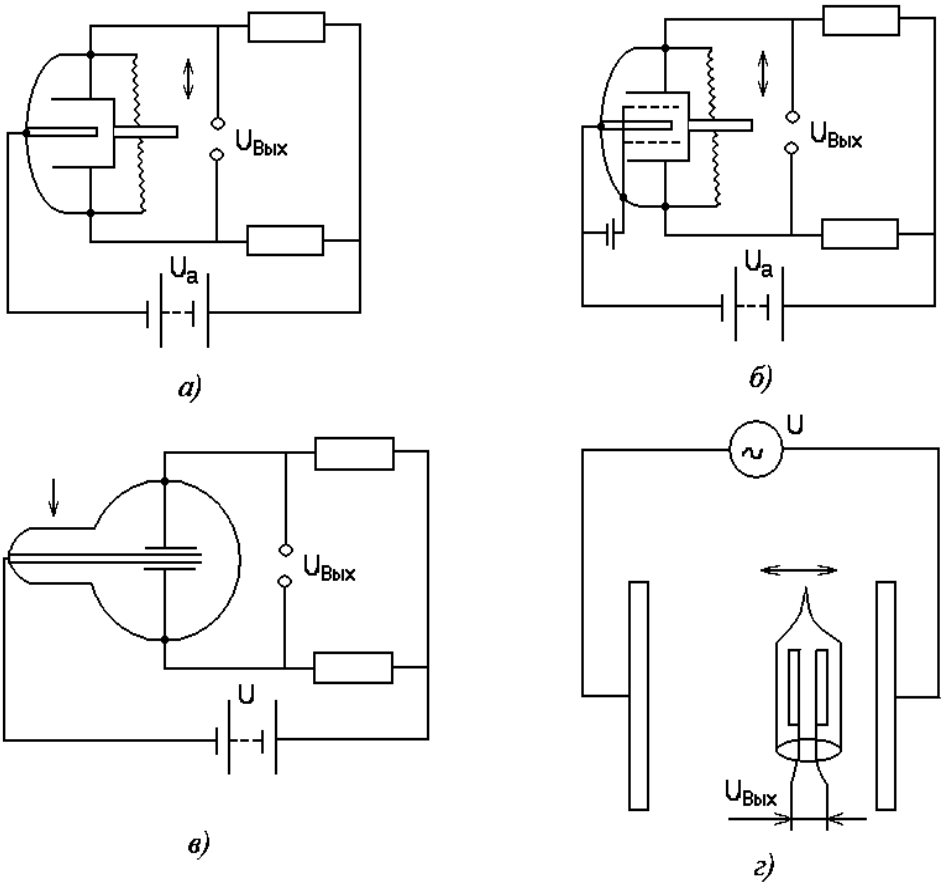


Рис. 27. Схемы построения механотронных преобразователей

Ионный преобразователь, построенный по схеме двойного диода (рис. 27, *в*), меняет расстояние между анодом и катодом при деформации колбы лампы под воздействием внешнего давления (жидкости или газа).

Ионный датчик с лампой тлеющего разряда (рис. 27, *г*) не требует ввода перемещения внутрь лампы и управляется перемещением баллона лампы между электродами. Этот преобразователь используется для замера перемещений, когда не требуется большая точность.

Питание механотронов осуществляется напряжением переменного тока с высокой частотой (0,1…10 МГц).

Область применения механотронов определяется их исключительно высокой чувствительностью. Они применяются для измерения микроперемещений, давлений при малых прогибах упругого элемента, небольших усилий, деформаций, ускорений и т. п.

К достоинствам механотронных датчиков можно отнести достаточную точность измерений, надёжность работе, стабильность характеристик и широкий спектр измерений.

Недостатками механотронов являются подверженность вибрациям, трудность монтажа, невзаимозаменяемость и ограниченное производство (в настоящее время этот тип преобразователей вытесняется более современными устройствами).

3.10. Фотоэлектрические преобразователи

Фотоэлектрические датчики относятся к группе болометрических преобразователей. Работа фотоэлектрических датчиков основана на фотоэлектрическом эффекте, основанном на явлении возникновения электрического тока I в преобразователе под влиянием лучистой энергии.

Фотоэлектрические преобразователи измеряемой величины X содержат источник излучения Φ_1 (рис. 28), оптический канал и приёмник излучения, воспринимающий поток Φ_2 и преобразующий его в выходной электрический сигнал I.

Устройства, преобразующие лучистую энергию в электрическую, называются фотоэлементами. В фотоэлектрических датчиках используются фотоэлементы с внешним фотоэффектом, с внутренним фотоэффектом и с запирающим слоем.

Световой поток Φ, падающий на фотоэлемент, изменяется по закону

$$\Phi = IS/x^2,$$

где I – сила света источника;

S – активная площадь фотоэлемента;

x – расстояние от источника до фотоэлемента.

Элементы, преобразующие лучистую энергию в электрическую, называются фотоэлементами. В фотоэлектрических датчиках используются фотоэлементы с внешним фотоэффектом, с внутренним фотоэффектом и с запирающим слоем.



Рис. 28. Функциональная схема оптического преобразователя

Фотоэлементы с внешним фотоэффектом представляют собой вакуумную или газонаполненную лампу (рис. 29, *а*), внутри которой имеются два электрода. Один электрод, называемый фотокатодом, представляет собой светочувствительный слой (обычно кислородно-цезиевый или сурьмяно-цезиевый), наносимый на внутреннюю поверхность стеклянной колбы лампы. Специальным выводом, впаянным в стенку колбы, этот слой присоединяется к минусу источника напряжения (рис. 29, *б*). Явление испускания электронов светочувствительным слоем при его освещении и называется внешним фотоэффектом.

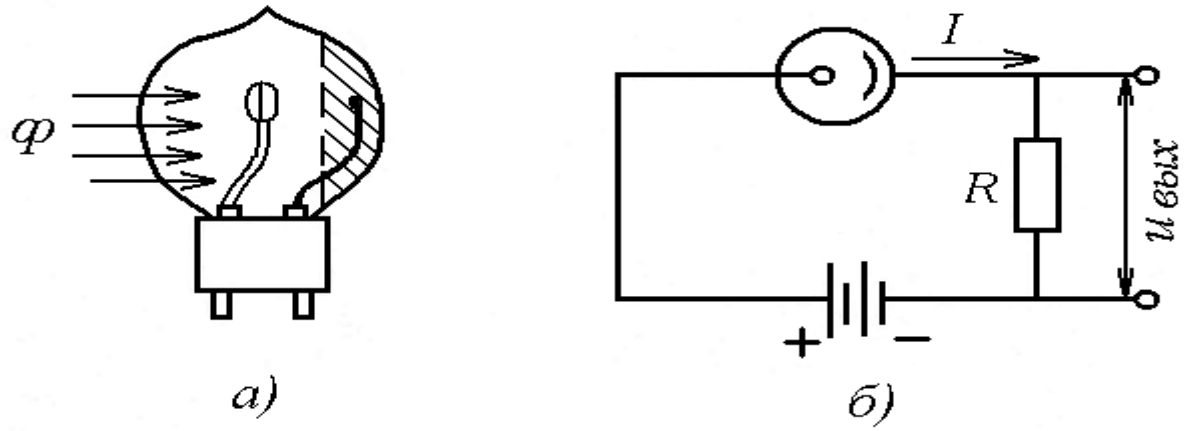


Рис. 29. Фотоэлемент с внешним фотоэффектом

Для выбора типа фотоэлемента нужно знать их характеристики, влияющие на зависимость фототока от различных факторов. Основными характеристиками фотоэлемента являются вольтамперная, световая и спектральная.

Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом (фотосопротивления) изменяют электрическое сопротивление некоторых полупроводниковых материалов при их облучении (рис. 30, *а*). Особенно сильно это явление наблюдается при облучении сернистого свинца, сернистого висмута, сернистого кадмия. На стеклянной пластинке 1 образованы электроды 2 и 3 (золото, платина, специальный графит).

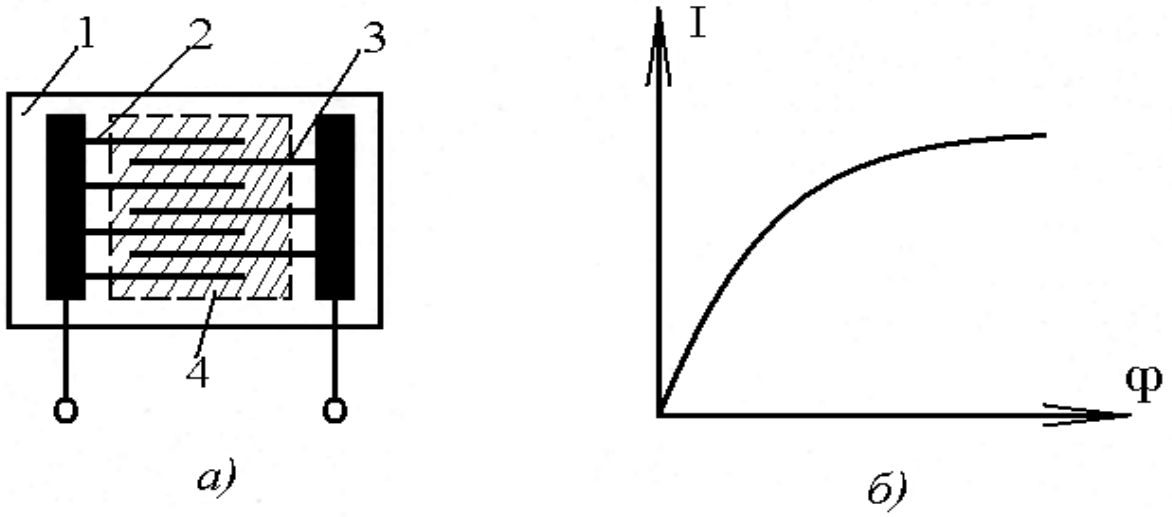


Рис. 30. Фотоэлемент с внутренним фотоэффектом

Фотоэлементы с запирающим слоем (вентильные фотоэлементы) строятся по схеме, показанной на рис. 31, *а.* На тонкую железную или алюминиевую пластинку 1, являющуюся одним из электродов, соединяемых с внешней цепью, нанесён слой селена 2 и полупрозрачный слой золота, являющийся вторым электродом.

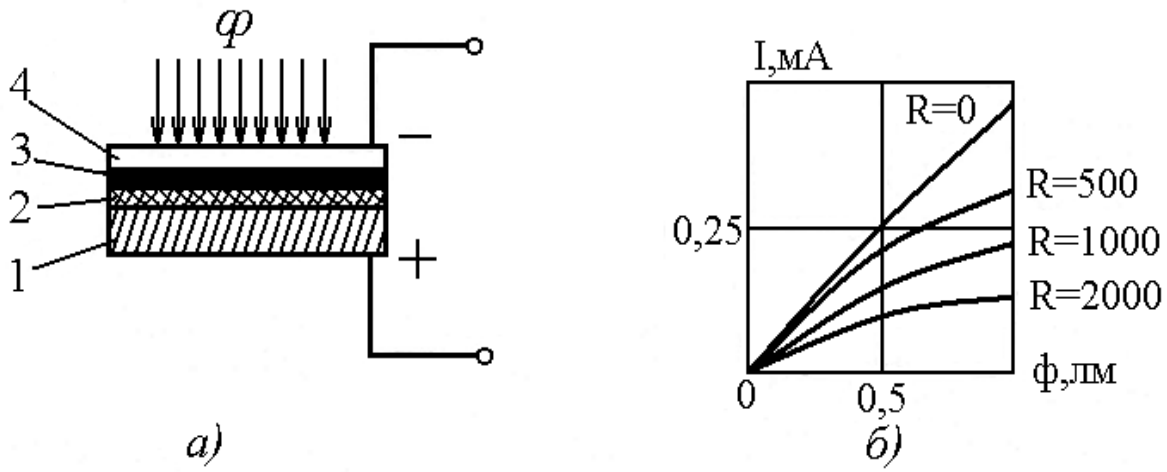


Рис. 31. Фотоэлемент с запирающим слоем

Образующийся при изготовлении фотоэлемента весьма тонкий диффузионный слой 3 на границе между полупроводником (селеном) и проводником (золотом) называется запирающим слоем, так как он обладает вентильным свойством.

Действие вентильного фотоэлемента основано на том, что при его освещении электроны из полупроводника (селена) переходят через запирающий слой только в одном направлении − в металлический электрод (пленку золота). Благодаря этому во внешней электрической цепи, подключённой к электродам фотоэлемента, потечёт ток I .

Принцип построения фотоэлектрических датчиков (рис. 32) состоит в прерывании светового потока или в изменении его интенсивности.

Датчики первой группы (см. рис. 32, *а, б, в*.) основаны на перемещении источника света или шторки относительно фотоэлемента.

Дифференциальные схемы разделяют световой поток на две ветви, поочередно перекрываемые модулятором света I (см. рис. 32, *г, д*). Если оба потока Φ_1 и Φ_2 одинаковы, то переменная составляющая фототока равна нулю. При перемещении источника света интенсивность одного потока увеличивается, а другого уменьшается. При этом появляется переменная составляющая фототока, равная их разности, которая и определяет измеряемую величину перемещения.

Весьма высокой чувствительностью обладает датчик с призмой полного внутреннего отражения, получивший название "рефрактосин" (см. рис. 32, *д*).

Датчик угла поворота (см. рис. 32, *е*) широко используется в качестве нулевого органа в различных измерительных схемах с силовой компенсацией. Угол поворота зеркала в этом датчике пропорционален выходному току фотоэлемента.

Датчик, показанный на рис. 32, *ж,* основан на использовании зеркала с управляемой отражательной способностью. Измеряемое перемещение вызывает смещение поршня и соответственно перемещение жидкости в камеру с отражательным упругим зеркалом, у которого при деформации меняется радиус кривизны, что, в свою очередь, меняет освещенность фотоэлемента.

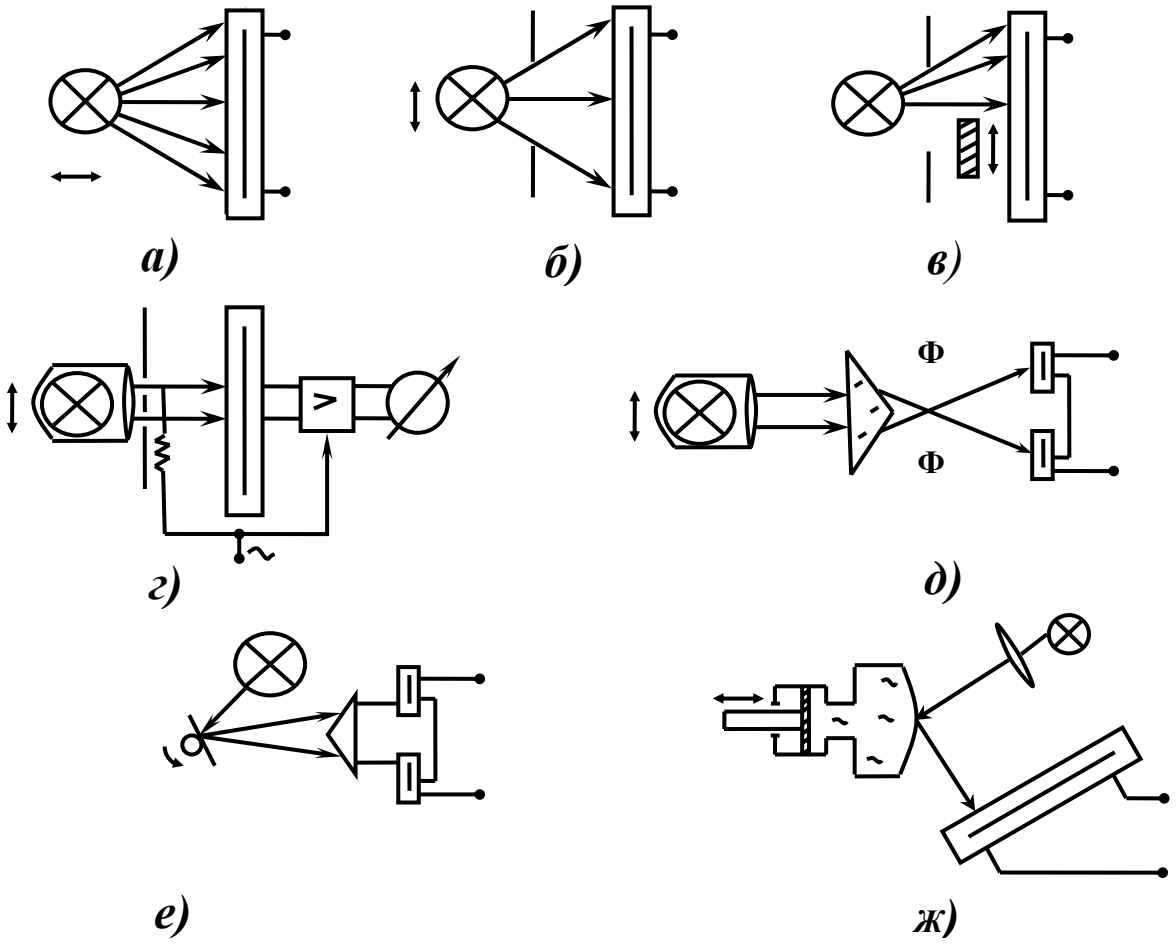


Рис. 32. Схемы построения фотоэлектрических преобразователей

Используются фотоэлектрические датчики для замера линейных и угловых перемещений, ускорений, вибраций, давлений, контроля числа движений, толщин деталей (валов, тяг, проводов) и т. п.

К высокочувствительным фотоэлектрическим датчикам относятся интерферометры, в которых луч монохроматического света разделяется с помощью полупрозрачного зеркала на два луча, которые затем с помощью того же зеркала объединяются и попадают на фотоэлемент. Длина пути одного из лучей меняется при перемещении зеркала, при этом световые волны в двух световых потоках приходят со сдвигом фаз, зависящим от входного перемещения. В результате интерференции света интенсивность суммарного светового потока, воспринимаемого фотоэлементом периодически меняется от минимума до максимума при перемещении зеркала на 0,25 длины световой волны.

Фотоэлектрические датчики обладают хорошей чувствительностью, удобством измерения, стабильностью показаний и надёжностью в работе.

К недостаткам фотоэлектрических датчиков относятся их невзаимозаменяемость, сложность монтажа, необходимость в источнике освещения.

3.11. Индукционные (генераторные) преобразователи

Действие этой группы датчиков основано на использовании закона электромагнитной индукции, по которому ЭДС, наводимая в проводнике, расположенном в магнитном поле, пропорциональна скорости изменения магнитного потока, пересекающего этот проводник.

$$e = B \cdot l \cdot V ,$$

где B − магнитная индукция;

l − длина проводника;

V − скорость перемещения проводника;

e − ЭДС, наводимая в проводнике.

Формула справедлива для взаимно перпендикулярных направлений B и V. В качестве датчиков скорости вращения наиболее широко применяются тахогенераторы. Их выполняют в виде небольших (1…100 Вт) генераторов постоянного или переменного тока с независимым возбуждением от постоянного магнита или от постороннего источника тока.

На рис. 33, *а* изображена схема тахогенератора переменного тока с вращающимся постоянным магнитом в виде цилиндра, стержня или звездочки. На статоре размещены обмотки, соединённые последовательно.

На рис. 33, *б* показана схема тахогенератора переменного тока с неподвижным постоянным магнитом, ярмом и обмотками. Изменение магнитного потока в этом датчике создаётся вращением несимметричного, ферромагнитного якоря, который выполняется в виде стержня или цилиндра со специальными прорезями. По сравнению с предыдущим датчиком эта схема построения сложнее и более громоздка.

Тахогенератор в виде ярма с двумя системами обмоток (возбуждающей и измерительной) и с зазором, в котором вращается якорь, набранный из пластин мягкого железа, показан на рис. 33, *в*. Выходная ЭДС наводится в измерительной обмотке за счёт модуляции потока с частотой

$$f = \frac{p \cdot n}{60} .$$

Основным недостатком тахогенераторных датчиков переменного тока является невозможность определения по их выходному сигналу направления вращения.

Тахогенератор постоянного тока − это якорь с обмотками, коллектором и возбуждением от постоянных магнитов (см. рис.33, *г*). Тахогенератор постоянного тока отличается тем, что по знаку и величине выходного напряжения позволяет определять направление и скорость вращения исследуемого объекта.

Индукционные преобразователи используются для измерения угловой скорости вращения, в частности в автомобильных электрических спидометрах.

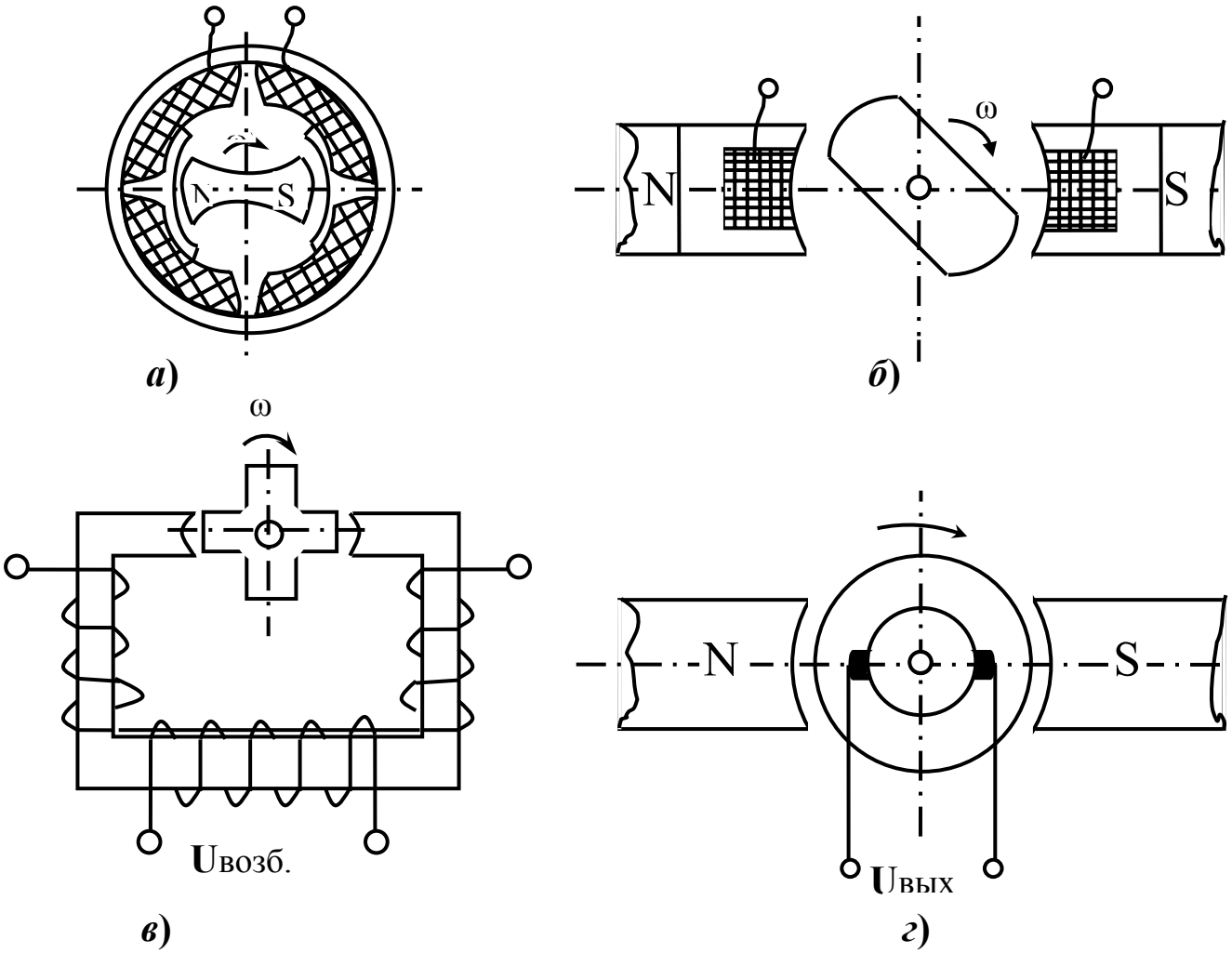


Рис. 33. Схемы тахогенераторов

Индукционные датчики надёжны в работе, не требуют усилителя и имеют линейную характеристику (тахогенераторы постоянного тока).

Погрешности индукционных датчиков определяются двумя причинами: изменением магнитного поля с течением времени (устраняется с помощью магнитного шунта) и температурными изменениями сопротивления обмоток и силы магнитного поля (устраняются применением термомагнитного шунта или термистора в цепи якоря). Суммарные погрешности составляют 0,5…1,5 %.

К недостаткам индукционных датчиков можно отнести трудность монтажа, высокую стоимость и относительно большую массу.

3.12. Пьезоэлектрические преобразователи

Для измерения быстро изменяющихся механических процессов, например, вибраций деталей, переменных усилий, ускорений, давлений и других величин, широко применяются пьезоэлектрические преобразователи.

Принцип действия этих датчиков основан па пьезоэлектрическом эффекте,

который заключается в том, что в кристаллах некоторых диэлектриков при воздействии на них механических сил происходит генерирование и разделение (смещение) электрических зарядов так, что одна область кристалла заряжается положительно, другая − отрицательно. Такой эффект преобразования механической энергии в электрическую получил название прямого пьезоэффекта.

В некоторых отраслях техники (радиотехнике, электроакустике) используется и обратный пьезоэффект, выражающийся в возникновении деформаций (например, растяжения или сжатая) кристалла при приложении к соответствующим граням разности потенциалов.

Важной характеристикой пьезоэлектрического материала является диэлектрическая проницаемость ε, влияющая на собственную ёмкость C, а следовательно, и на величину напряжения на выходе пьезоэлемента.

Связь между приложенной силой и величиной образующегося заряда устанавливается основным уравнением для пьезоэлектрических материалов:

$$d = Q/F = CU/F,$$

где d – пьезоэлектрическая постоянная;

Q – электрический заряд;

C − ёмкость пьезоэлемента;

F − сила;

U − напряжение.

Основными пьезоэлектрическими материалами, у которых пьезоэффект выражен наиболее ярко, являются природный минерал кварц и искусственно получаемые кристаллы сегнетовой соли, титана бария, дигидрофосфата аммония и др. Наибольшее распространение получили кварцевые пьезодатчики. Хотя кварц в гораздо меньшей степени, чем сегнетовая соль, обладает пьезоэлектрическими свойствами, зато обладает высокой прочностью, стабильностью свойств в широком диапазоне температур, нечувствительностью к влажности и химическим воздействиям, линейностью характеристики и большим модулем упругости.

Для изготовления пьезоэлектрических преобразователей широкое распространение получили пьезоэлектрические керамические материалы (пьезокерамики), получаемые из сегнетоэлектрических композиций. По сравнению с кварцем они, так же прочны, имеют значительно больший пьезомодуль и могут быть изготовлены любой формы и размеров. Их основным недостатком является низкая стабильность выходных характеристик.

Свойства пьезоэлемента, используемого в качестве датчика, зависят от ориентации вырезанной пластины относительно кристаллографических осей исходного монокристалла. Для получения наибольшего значения пьезомодуля кварцевая пластина должна быть вырезана из монокристалла так, как показано на рис.34.

У такой пластины ось *X* называется электрической, ось *У* – механической, а ось *Z* – оптической.

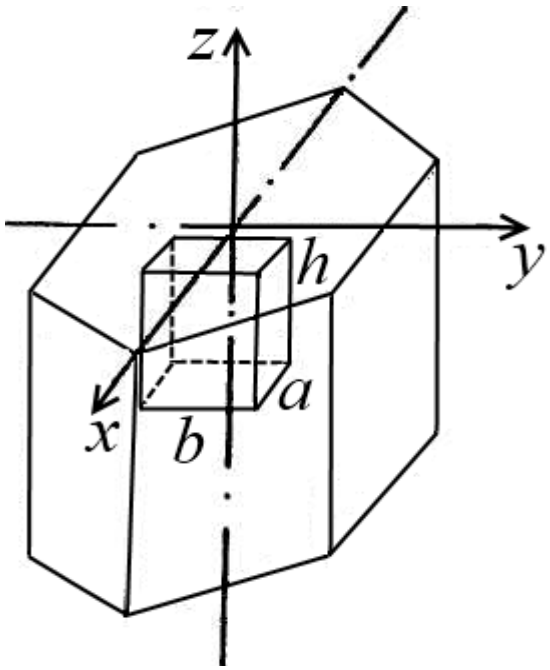


Рис. 34. Ориентация пластины пьезоэлектрика в кристалле кварца

Нагружение такой пластины силой в направлении оси *X* приводит к появлению на гранях заряда, зависящего только от приложенной силы (продольный пьезоэффект). Если нагружение производится в направлении оси *Y*, то на этих же гранях возникает заряд противоположного знака (поперечный пьезоэффект), а его величина определяется приложенной нагрузкой и соотношением размеров пластины. Нагружение пьезозлемента в направлении оси Z не приводит к образованию электрического заряда.

Для практического применения из кристалла вырезаются такие пластинки, у которых грань S_x перпендикулярна к одной из электрических осей.

Наибольший пьезоэффект будет иметь место как раз в том случае, когда растягивающие или сжимающие усилия действуют нормально к граням S_x, то есть по направлению электрической оси *X*. Такой случай и называется продольным пьезоэффектом (рис. 35).

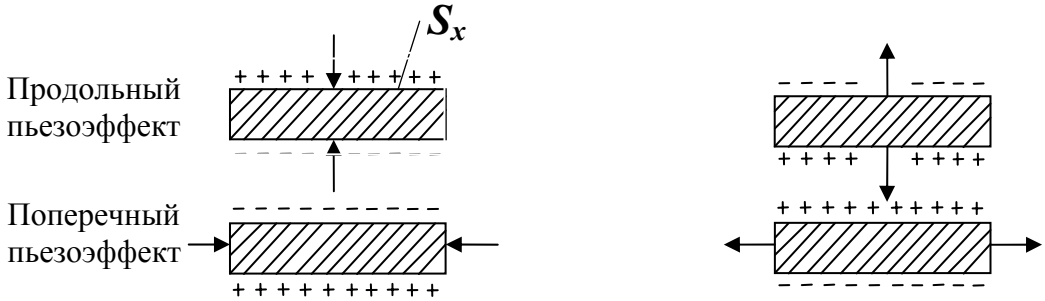


Рис. 35. Схемы электризации пьезокристалла

Воздействие растягивающих или сжимающих усилий, направленных вдоль площадки S_x, также вызывает пьезоэффект, который называется поперечным (см. рис. 35). Для снятия зарядов с плоскостей S_x нескольких пластинок, уложенных в пьезобатарею, на эти плоскости накладываются металлические электроды, от которых заряды отводятся на усилительное устройство. Пластинка диэлектрика с нанесёнными на неё обкладками представляет собой плоский конденсатор, напряжение между обкладками которого

$$U = \frac{Q}{C},$$

где Q − величина заряда;

C − собственная ёмкость пьезоэлемента:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot S_X}{\delta},$$

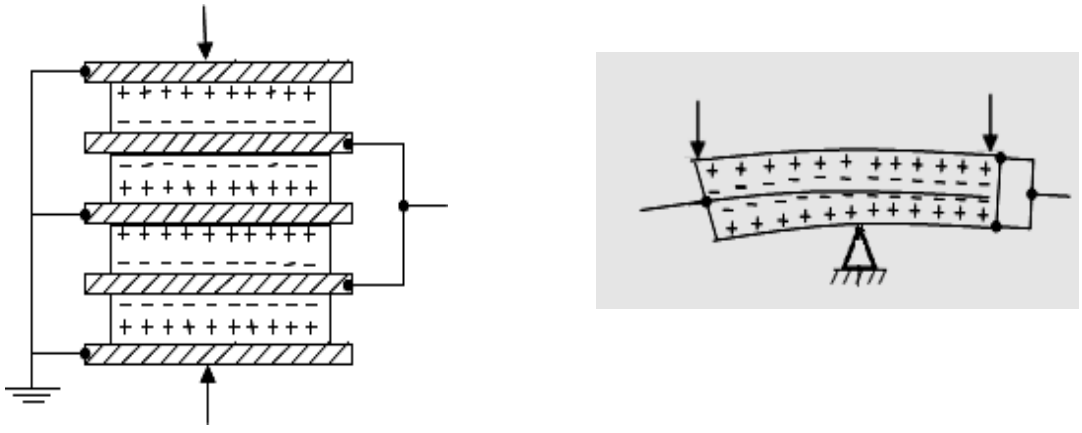
где ε − диэлектрическая проницаемость;

S_x − площадь грани пьезоэлемента;

δ − толщина кварцевой пластинки.

Схема соединения пластинок в пьезобатарею показана на рис. 36, *а*.

Пьезодатчики с биморфными системами (рис.36, б) представляют собой две склеенные и определенным образом ориентированные пластинки. В зависимости от вида среза кристалла биморфные системы реагируют на изгиб или кручение. Между пластинами прокладывается общий металлический электрод, а металлические листы на внешних сторонах являются другим электродом.



а) ***б)***

Рис. 36. Схемы построения пьезобатарей

Пьезоэлектрический заряд в датчиках образуется только в момент нагружения. Величина полученного напряжения будет быстро уменьшаться из-за разряда конденсатора через вход усилителя и собственное сопротивление преобразователя. Отсюда следует, что пьезоэлектрические преобразователи могут применяться для измерения только переменных нагрузок в динамических процессах.

С помощью этих датчиков измеряются вибрации, переменные усилия, меняющееся давление и другие динамические величины, которые могут оказывать силовое воздействие на преобразователь.

3.13. Термоэлектрические (термопарные) преобразователи

Работа термоэлектрических преобразователей (термопар) основана на возникновении в разнородных проводниках термоэлектродвижущей силы (термо-э.д.с.) при наличии разности температур между точками их соединения.

В основу измерения температур этими преобразователями положено явление, открытое немецким физиком Зеебеком в 1921 г. Эффект Зеебека состоит в том, что в замкнутой электрической цепи, состоящей из проводников разнородных материалов, возникает термо-э.д.с., если места контактов находятся при разных температурах.

Цепь термопары содержит не менее двух точек соединения разнородных материалов, называемых в технической литературе спаями.

В таблице 3 приведены значения термо-э.д.с. для некоторых материалов в паре с платиной при температурах рабочего спая 100° С и свободного спая О° С.

Таблица 3

Наименование	Состав (приблизительно)	Термо-э.д.с., мВ
Железо	Практически чистое	+ 1,80
Медь	то же	+ 0,75
Никель	"	– 1,49
Кобальт	"	– 1,80
Висмут	"	– 7,30
Олово	"	+ 0,43
Золото	"	+ 0,75
Серебро	"	+ 0,72
Платинородий	90 % Pt + 10 % Rh	+ 0,64
Константан	60 % Cu + 40 % Ni	– 3,35
Копель	56 % Cu + 44 % Ni	– 4,05
Нихром	(75÷88) % Ni + (10÷20) % Cr + 5 % Fe	+ (1,6…2,4)
Манганин	84 % Cu + 13 % Mn + 2 % Al + 1 % Fe	+ 0,80
Алюмель	94 % Ni + 2 % Al + 2 % Mn + 2 % Si	– 1,20
Хромель	90,5 % Ni + 9,5 % Cr	+ 2,90

Один из спаев (рабочий или "горячий") помещается в соответствующей арматуре в место измерения температуры, другой (свободный или "холодный") образуется во внешней цепи.

Существует значительное количество материалов, которые можно использовать как в чистом виде, так и в различных комбинациях в качестве термоэлектродов. Чтобы облегчить подбор материалов для термоэлектродов, их термоэлектрические свойства определяются по отношению к одному материалу – нормальному термоэлектроду, в качестве которого принята чистая платина.

К материалам, которые используются для изготовления термопар, предъявляются несколько весьма существенных и обязательно выполняемых требований:
1) высокая механическая и химическая устойчивость при больших температурах;
2) хорошая электропроводность;
3) постоянство термоэлектрических свойств;
4) однозначная зависимость термо-э.д.с. от температуры.

Термо-э.д.с. цепи, составленной их двух проводников, равна алгебраической разности термо-э.д.с., развиваемой каждым проводником в паре с платиной.

Для термопары, показанной на рис. 37, *а,* выходной ток *It* равен разнице токов в спаях t_1 и t_2

$$lt = lt_1 - lt_2 .$$

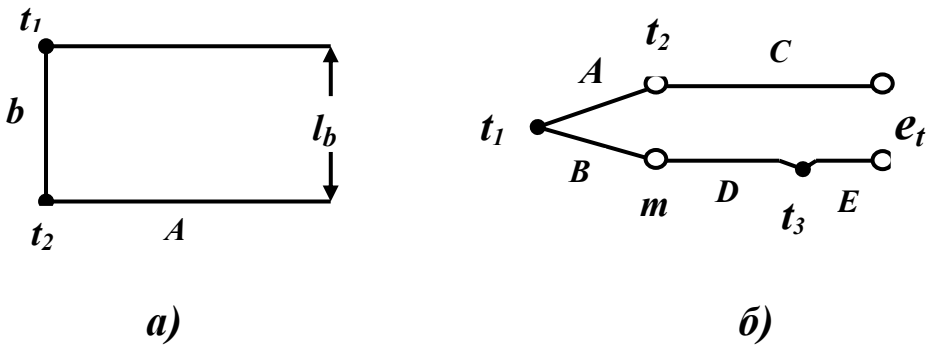


Рис. 37. Схемы построения термоэлектрических преобразователей

Вторая схема (рис. 37, *б*) соответствует реальному случаю измерения температуры. Здесь *А* и *В* проводники (термоэлектроды), образующие рабочий спай, а *С*, *Д* и *Е* – соединительные проводники; t_1 − измеряемая температура; t_2 – температура клеммной головки термопары.

Возможны следующие реальные случаи:
а) соединительные провода *С*, *Д* и *Е* выполнены из одного материала (медные):
то есть термопара фактически измеряет разность температур её рабочего спая и клеммной головки;
б) соединительные провода выполнены из тех же материалов, что и электроды

(или из материалов с теми же термоэлектрическими свойствами). Такие провода называются компенсационными, они позволяют вынести холодный спай в точку t_3. Если одинаковы материалы соответственно проводов *Д* и *В*, а также *Е*, *С* и *А*, то холодный спай оказывается в точке t_3, которая может быть помещена в термостат с постоянной температурой.

Допускается применение технических термопар с металлическими термоэлектродами пяти типов (табл. 4).

Для каждой из стандартных термопар по ГОСТ 3044-84 установлены градуировки температур с интервалом в 1° С. Получение стандартной градуировки термопар возможно лишь при высокой воспроизводимости физических свойств термоэлектродных материалов. Однако технология изготовления последних может обеспечить стабильность физических свойств только в отношении благородных металлов. Поэтому для получения термопар с требуемыми допусками по термо-ЭДС применяется испытание термоэлектродных материалов с последующей разбивкой их на несколько групп, отличающихся по величине термо-э.д.с.

Таблица 4

Типы	Материалы термоэлектродов термопар	Пределы применения, ° С		
		нижний	верхний	
			дли - тельно	кратко - временно
ТПП	Платинородий (10 % родия)	– 20	+ 1300	+ 1600
ТПР	Платинородий (30 % родия)	+ 300	+ 1600	+ 1800
ТХА	Хромель-алюмель	– 50	+ 1000	+ 1300
ТХК	Хромель-копель	– 50	+ 600	+ 800
ТНС	Сплавы НК-СА (никель-кобальтовый и сплав, содержащий кремний и алюминий)	+ 300	+ 1000	+ 1000

На практике не всегда оказывается возможным провести испытания каждого термоэлектрода в паре с платиной. В этих случаях проводят непосредственную лабораторную градуировку каждой из изготовленных термопар.

Развиваемая термопарой э.д.с. даже при большой разнице температур её концов невелика и в лучшем случае составляет несколько десятков милливольт. Поэтому, когда требуется повысить чувствительность термоэлемента, несколько термопар соединяются последовательно в термобатарею. Термо-э.д.с. батареи равна сумме э.д.с. составляющих её термопар. Термобатареи применяются, когда необходимо замерить суммарную или среднюю температуру в нескольких местах.

Термопары применяются в термоэлектрических термометрах и в автоматических регуляторах температур. С помощью термопар можно измерять опосредованно и другие неэлектрические величины, если эти величины вначале преобразовать в изменение температур, на которые будет реагировать термоэлемент.

Для изготовления термопар применяются, чаще всего, специальные сплавы, которые позволяют получить большую величину приращения термо-э.д.с.

Наибольшее значение приращения термо-э.д.с. (0,069 мВ/º С) имеет термопара хромель-копель, которая, однако, может работать до сравнительно невысоких температур (+ 600º С). Для измерения температур до + 1000º С применяются термопары хромель-алюмель, термо-э.д.с. которой около 0,041 мВ/º С. С помощью платинородиевой термопары измеряется температура до + 1300° С. Эта термопара имеет термо-э.д.с. около 0,01 мВ/º С.

Для измерения более высоких температур применяются термопары из тугоплавких металлов: сплав иридия с рением – до + 2000º С, иридий-вольфрамовые − до + 2300º С (в нейтральной среде).

Существуют термопары, работающие и при более высокой температуре. Однако все высокотемпературные термопары имеют обычно небольшую термо-э.д.с.

При измерении температуры с помощью термопар возникает проблема поддержания постоянства температуры холодного спая, так как её изменение полностью войдет в погрешность измерения. Если требуется весьма точное измерение температуры, то холодный спай помещается в среду, температура которой строго постоянна (например, тающий лед). При грубых измерениях температура холодного спая либо не стабилизируется совсем, либо в разрыв холодного спая вводится компенсирующее устройство, представляющее собой измерительный мост, одним из плеч которого служит проволочное термосопротивление. Параметры измерительного моста подбираются так, чтобы возникающая в результате изменения температуры холодного спая термо-э.д.с. компенсировалась напряжением измерительной диагонали моста.

Конструктивно термопары изготавливаются в виде двух более или менее тонких изолированных друг or друга проводов, концы которых свариваются. В качестве изолятора чаще всего применяется фарфоровый стержень с двумя продольными каналами, в которые помещаются проводники.

Соединяется термопара с измерительной системой с помощью проводов либо из того же металла, из которого изготовлена сама термопара (как было указано выше), либо из провода, изготовленного из сплава (меди 99,6 % и никеля 0,4 %)

Отличительной особенностью всех термодатчиков является их сравнительно большая инерционность, обусловленная теплоёмкостью материала, из которого изготавливаются чувствительный элемент и арматура.

Постоянная времени термодатчика, определяющая его инерционность, зависит от материала, его конструктивного оформления и от условий работы (условий теплообмена между объектом измерения и термодатчиком). Постоянная времени серийных промышленных термопар достигает иногда больших величин, порядка десятков секунд и даже более, что объясняется большой массой арматуры, обеспечивающей длительный срок службы термодатчика.

Термоэлектрический эффект наиболее сильно проявляется в термоэлементах, изготовленных из полупроводниковых материалов. Эти термопарные датчики более чувствительны и имеют меньшую постоянную времени.

4. ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ СОПРОТИВЛЕНИЯ (ТЕНЗОДАТЧИКИ)

Рассмотренные в третьей главе группы преобразователей охватывают многие виды экспериментальных измерений и используются при проведении различных испытаний автомобилей. Однако, наибольшее распространение в настоящее время получил метод измерений, основанный на применении тензометрических датчиков сопротивления. Поэтому этот вид преобразователей требует особого рассмотрения, так как среди всего разнообразия электрических способов измерений неэлектрических величин именно тензометрирование деталей с помощью тензорезисторов позволяет получать достоверные и точные результаты при выполнении любых экспериментальных исследований.

Тензорезисторы – это резисторы, сопротивление которых меняется под влиянием деформации (растяжения или сжатия). Действие тензорезисторов основано на тензорезистивном эффекте – изменении сопротивления твёрдого проводника (металла или полупроводника) в результате его деформации под действием измеряемого процесса.

При испытаниях автомобилей преимущественное применение нашли *проволочные*, *фольговые* и *полупроводниковые* тензорезисторы.

Малые размеры, простота крепления, безинерциотюсть, универсальность использования, дешевизна и целый ряд других преимуществ тензодатчиков послужили широкому внедрению этого метода в практику экспериментальных исследований, а отдельных случаях использование тензодатчиков является единственно возможным способом получения достоверных экспериментальных данных.

Овладение техникой теизометрирования требует глубоких знаний по упругим и пластическим деформациям материалов, по напряженности различных конструкций, знаний по теории измерений.

Конструкция *проволочного* тензорезистора показана на рис. 38.

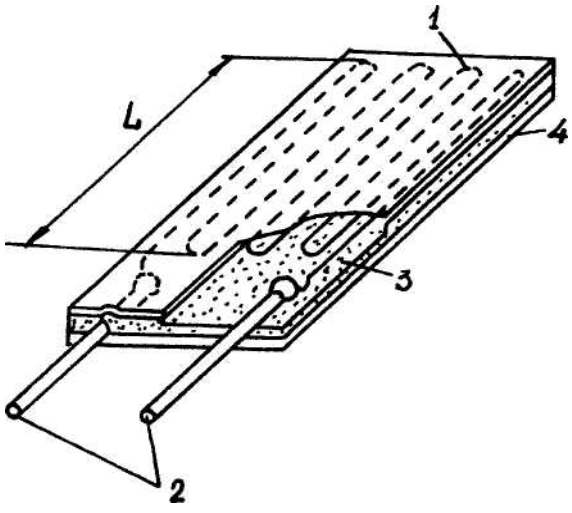


Рис. 38. Схема построения проволочного тензорезистора

Тонкий провод, уложенный в виде плоской петлеобразной обмотки, образует рабочую решётку 1 тензорезистора, к концам которой пайкой или сваркой присоединены выводы 2 из медной проволоки толщиной 0,3…0,4 мм для впаивания датчиков в измерительные цепи. Решётка с помощью клеевого слоя 3 закреплена на основе 4 (подложке) из тонкой бумаги или плёнки толщиной 0,01…0,02 мм.

Относительное изменение сопротивления любого проводника $\Delta R/R$, где R – начальное сопротивление проводника, у большинства металлов и сплавов в довольно широком диапазоне прямо пропорционально относительному удлинению $\varepsilon = \Delta l/l$, где l – начальная длина проводника. Величина ε обычно выражается в процентах. Если стальной стержень длиною l = 1000 мм и площадью поперечного сечения F = 1 см² подвергнуть растягивающей нагрузке P = 2000 кг, то его длина увеличится примерно на 1 мм. Тогда относительное удлинение стержня

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{1000} = 0,001 = 1 \cdot 10^{-3},$$

то есть относительная деформация ε = 0,1 %.

Для измерения деформации детали тензорезистор наклеивается на её поверхность. Если клеевое соединение достаточно прочное, а диаметр проволоки решетки мал, деформация решетки будет точно соответствовать деформации детали. Обычно применяют проволоку диаметром 0,02...0,03 мм. Тензодатчики, изготовленные из проволоки (рис. 39, *а, б*, *в*, *г*), называются *проволочными* тензометрами сопротивления, а выполненные фотохимическим способом (методом офсетной печати) из металлической фольги (рис. 39. *д*, *е*, *ж*, *и*) – *фольговыми.*

При одинаковой площади поперечного сечения рабочей решетки у проволочных и фольговых датчиков последние имеют больший её периметр. Благодаря этому фольговые датчики лучше охлаждаются, воспринимают больший допустимый ток и обеспечивают более высокую точность измерений. Однако проволочные датчики менее восприимчивы к качеству крепления на поверхности испытываемой детали, более надёжны работе.

Фольговые датчики в зависимости от конфигурации и назначения подразделяются на короткобазные (см. рис. 39. *д*), двухстороннего действия (см. рис. 39, *е*), решётчатые одноосные (см. рис. 39. *ж*) и “рыбий скелет” (см. рис. 39, *и*). Кроме того, для измерения давлений выпускаются мембранные фольговые датчики, выполненные в виде бифилярной спирали.

К материалу рабочей решётки тензодатчика предъявляются ряд требований:
– обладать высокой чувствительностью к деформации;
– иметь очень маленькое значение температурного коэффициента электрического сопротивления;
– иметь небольшую величину термоэлектродвижущей силы в паре с медью;
– обладать высокими механическими свойствами.

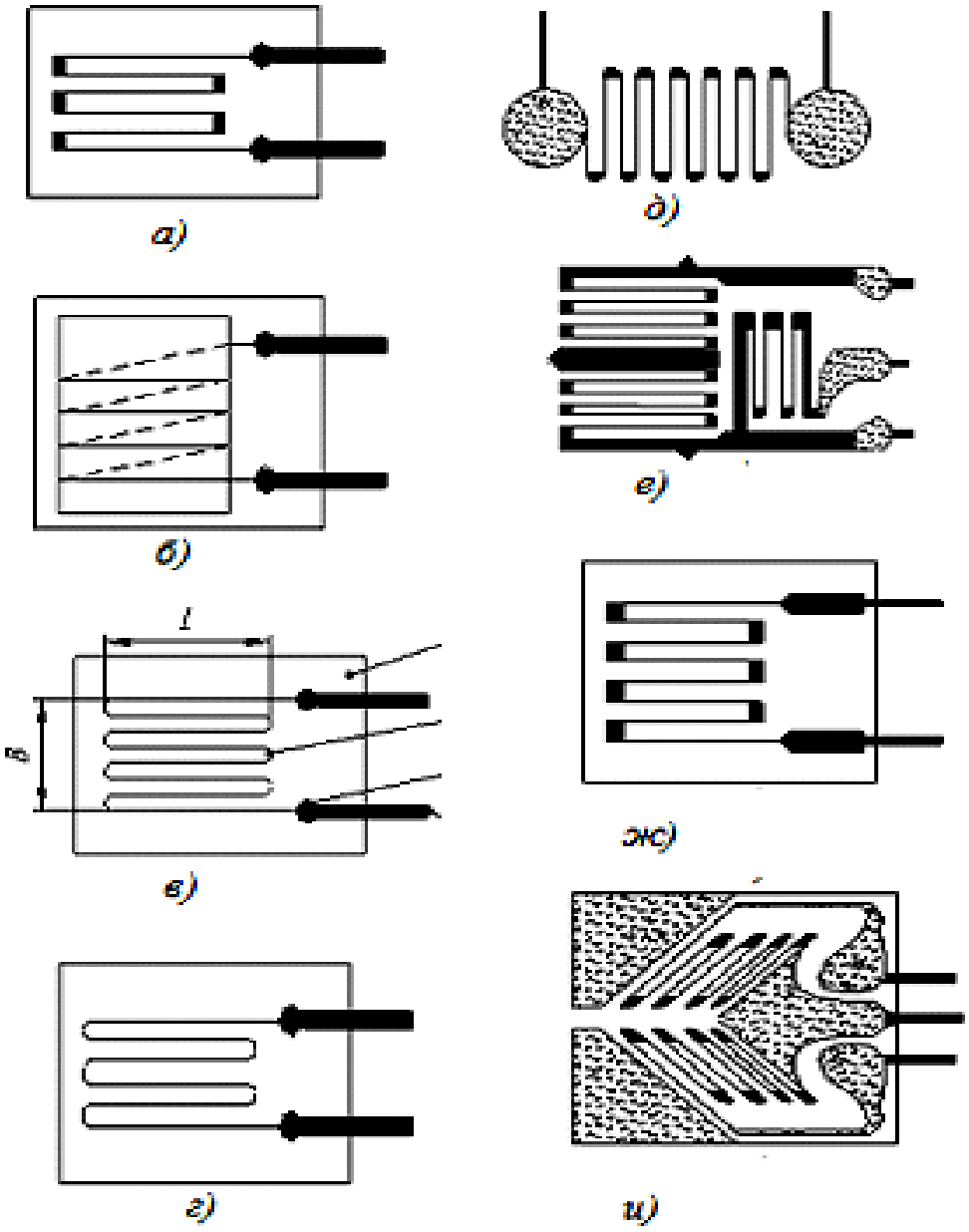


Рис. 39. Некоторые типы тензодатчиков

Указанным требованиям в наибольшей степени удовлетворяют платино-иридиевый сплав, железо-хром-алюминиевый сплав № 2 и константан. Последний из-за малой стоимости и недефицитности получил наибольшее распространение.

Полупроводниковые тензорезисторы изготавливаются на основе германия или кремния. В отличие от металлических тензорезисторов у полупроводниковых чувствительность определяется, главным образом, зависимостью удельного сопротивления полупроводника от деформации.

Изменение геометрических размеров полупроводниковых материалов очень слабо влияет на коэффициент тензочувствительности. Удельное сопротивление полупроводника существенно зависит от ориентации продольной оси тензорезистора относительно кристаллографического направления и вида примесей.

У полупроводников *n-типа* знак тензоэффекта отрицательный, *p-типа* – положительный. Абсолютное значение коэффициента тензочувствительности S у этих датчиков доходит до 200 и более единиц.

Кремниевые тензорезисторы превосходят по своим эксплуатационным характеристикам *германиевые* и поэтому находят более широкое применение. База выпускаемых тензорезисторов составляет 3...7 мм, толщина пластинки полупроводника 0,03...0,05 мм, сопротивление 55...75 Ом.

Малые габариты, высокая чувствительность, возможность получения на одном кристалле сложных тензометрических схем, позволяют решать такие задачи измерений, для которых проволочные и фольговые тензодатчики не годятся.

В качестве недостатков полупроводниковых тензорезисторов следует отметить разброс тензочувствительности, некоторую нелинейность характеристики, чувствительность к температуре и другим внешним факторам, малую механическую прочность, высокую стоимость и плохую взаимозаменяемость.

Обозначение тензорезисторов промышленного производства (выпускаются Томским заводом математических машин) состоит из букв и цифр. Первая буква указывает тип тензорезистора (П – проволочный, Ф – фольговый), вторая буква – материал решетки (К – константан), третья – материал подложки (Б – бумага, П – пленка), четвёртая – тип решетки (П – прямоугольная, Р – розеточная, М – мембранная, С – специальная). Далее в обозначении следуют цифры, показывающие длину базы в миллиметрах и номинальное сопротивление решетки в Омах. Для фольговых тензодатчиков перед цифрами есть еще одна буква, обозначающая один из пяти подтипов решетки (А, Б, В, Г и Д). Последняя буква указывает способ наклейки (Х – холодная наклейка допускает нагрев не более 30° С, Г – горячая наклейка допускает нагрев до180° С,). Например, маркировка 2ПКБ-10-100Х(Г) означает проволочный константановый на бумажной основе, с базой решётки 10 мм, номинальным сопротивлением 100 Ом с рекомендуемой холодной наклейкой и допускаемой горячей наклейкой.

Полупроводниковые тензорезисторы на основе кремния ("кремнисторы") обозначаются КТД (кремниевый тензорезистор с проводимостью *p-типа*), КТЭ (кремниевый тензорезистор с проводимостью *n-типа*).

Характеристики некоторых типов проволочных и фольговых тензорезисторов приведены в таблице 5, а полупроводниковых – в таблице 6.

По величине номинального сопротивления тензодатчики делятся на высокоомные с сопротивлением R = 400...1000 Ом, низкоомные с сопротивлением R = 50...400 Ом и малоомные (мощные) с сопротивлением R = 1,5...10 Ом.

Целесообразность применении каждого из этих датчиков зависит от поставленной задачи и способов её решении. Например, мощные датчики применяются при составлении измерительных схем без применения усилителей, что удобно при проведении дорожных испытаний с монтажом аппаратуры в кабине или салоне автомобиля.

При деформации детали под воздействием нагрузок будет деформироваться

наклеенный на неё датчик. При этом меняется длина его рабочей решётки (по базе l) и её поперечное сечение, а следовательно, меняется сопротивление датчика.

Таблица 5

Характеристики некоторых типов константановых тензорезисторов

Обозначение тензорезистора	База, мм	Номинальное сопротивление, Ом	Размеры, мм		Примечание
			длина	ширина	
Проволочные					
2ПКБ-5-50Х(Г)	5	50	17	8	Бумажная
2ПКБ-10-100Х(Г)	10	100	22	10	основа
2ПКБ-20-100Х(Г)	20	100	32	9,1	—"—
2ПКБ-30-40Х(Г)	30	400	42	10	—"—
2ПКП-5-50	5	50	17	8	Пленочная
2ПКП-10-100	10	100	22	10	основа
2ПКП-15-200	15	200	27	10	—"—
2ПКП-20-100	20	100	32	9,1	—"—
2ПКП-30-400	30	400	42	10	—"—
Фольговые					
2ФКПА-1-50Х(Г)	1	50	7	5	Прямоугольная
2ФКПА-3-100Х(Г)	3	100	9	6	решётка
2ФКПА-5-200Х(Г)	5	200	11	6	подтип А
2ФКПА-10-150Х(Г)	10	150	15	1	—"—
2ФКПА-15-200Х(Г)	15	200	20	12	—"—
2ФКПА-20-300Х(Г)	20	300	30	15	—"—
2ФКРВ-3-100Х(Г)	3	100	9	7	Розеточный
2ФКРВ-10-100Х(Г)	10	100	23	21	подтип В
2ФКРГ-10-100Х(Г)	10	100	32	32	подтип Г
2ФКМВ-10-100Х(Г)	10	100	12	12	Мембранный
2ФКМВ-20-100Х(Г)	20	100	24	24	подтип В

Таблица 6

Характеристики некоторых полупроводниковых тензорезисторов

Тип тензорезистора	Номинальное сопротивление, Ом	База, мм	Тип проводимости
КТД-1	110	7 + 0,5	*p-тип*
КТД-2	220	7 ± 0,5	—"—
КТД-3	330	7 ± 0,5	—"—
КТДМ-1	55	3 ± 0,5	—"—
КТЭ-1	90	7 ± 0,5	*n-тип*
КТЭМ-1	45	3 ± 0,5	—"—

Активное сопротивление тензодатчика R (Ом) – прямо пропорционально длине проводника l (мм) – база тензодатчика, удельному электрическому сопротивлению ρ (Ом·мм²/м) материала рабочей решётки и обратно пропорционально её поперечному сечению F (мм²), то есть работа датчика определяется как

$$R = \rho \cdot \frac{l}{F}. \qquad (1)$$

Уравнение, определяющее тензоэффект для металлического проводника:

$$\Delta R/R = S \cdot \varepsilon, \qquad (2)$$

где R – начальное сопротивление проводника;

ΔR – изменение сопротивления под влиянием деформации;

$\varepsilon = \Delta l/l$ – относительное изменение длины проводника (относительная деформация);

S – коэффициент тензочувствительности.

Работа тензодатчиков определяется одиннадцатью характеристиками.

1. Коэффициент тензочувствительности S

Коэффициент тензочувствительности S – это зависимость относительного изменения сопротивления датчика $\Delta R/R$ от относительного изменения длины его рабочей решётки $\Delta l/l$ (относительной деформации ε)

$$S = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l}.$$

Результирующее относительное изменение сопротивления получается после логарифмирования и последующего дифференцирования уравнения (1):

$$log(R) = log(\rho) + log(l) - log(F);$$

$$\frac{dR}{R} = \frac{dl}{l} + \frac{d\rho}{\rho} - \frac{dF}{F}. \qquad (3)$$

Если изменение поперечной деформации проводника выразить через его продольное изменение деформации с помощью коэффициента Пуассона μ, то зависимость относительной площади поперечного сечения проводника dF/F от его относительного изменения длины dl/l выразится зависимостью

$$\frac{dF}{F} = -2\mu \cdot \frac{dl}{l}.$$

Если подставить правую часть этой зависимости в уравнение (3), после чего поделить левую и правую части полученного уравнения на величину dl/l, то получим выражение для коэффициента тензочувствительности

$$S = 1 + 2\mu + \frac{\frac{dp}{p}}{\frac{dl}{l}}.$$

По современным представлениям изменение сопротивления проводника при деформации объясняется не только изменением его геометрических размеров (длины и площади поперечного сечения), но и изменением удельного сопротивления материала проводника. Влияние всех этих факторов и учитывается коэффициентом тензочувствительности *S*, величина которого для металлических проводников (отожженный константан) составляет 2 ± 0,2.

В области упругих деформаций величина dp/p оказывает небольшое влияние на коэффициент тензочувствительности S. Поэтому обычно используется упрощенное выражение:

$$S = 1 + 2\mu.$$

При проведении высокоточных экспериментов необходимо учитывать зависимость изменения удельного сопротивления, от деформации и вносить соответствующие поправки в коэффициент тензочувствительности. Величина коэффициента S с учетом отношения dp/p может увеличиваться на 5...15 %.

В датчике с проволочной или фольговой решеткой не вся уложенная по базе рабочая часть полностью участвует в деформации. Участки решетки, образующие закругления петель, реагирует на продольную деформацию только частично, в результате чего коэффициент продольной тензочувствительности снижается.

Наличие закруглений приводит и к другому нежелательному явлению – участки решетки в закруглениях реагирует не только на продольную, но и на поперечную деформацию. Датчик приобретает поперечную чувствительность, которая является причиной погрешностей при измерениях.

2. База датчика 1(мм)

Практически база проволочных датчиков сопротивления колеблется в пределах 5...30 мм, и фольговых – 1…20 мм (см. табл. 5).

Чем меньше база датчика, тем на меньшем участке детали можно измерять

деформацию, а это иногда очень важно. С другой стороны, чем больше база, тем меньше сказывается на показаниях датчика влияние закруглений рабочей решетки. Поэтому, если размеры детали, на которую крепится датчик, не лимитируют его базу, следует выбирать её величину l по возможности большей.

3. Величина номинального сопротивления датчика R (Ом)

Как было указано ранее, по номинальному сопротивлению тензодатчики подразделяются на высокоомные, низкоомные и мощные. Чаще всего используются датчики с сопротивлением 50...400 Ом, так как в этих пределах номинальное сопротивление подбирается согласно характеристикам измеряемой деформации, выбранной измерительной аппаратуры и типа измерительной схемы.

Как правило, изготовитель поставляет датчики партиями, которые разбиты на группы в отдельных пакетах. Разброс датчиков по сопротивлению в группе не превышает 5 %.

Для упрощения измерительной аппаратуры необходимо, чтобы величина приращения сопротивления тензодатчика от деформации была по возможности больше. Это может быть достигнуто при увеличении номинального сопротивления датчика. При одних и тех же габаритах тензодатчика и одном и том же материале рабочей решётки увеличение номинального сопротивления возможно лишь за счёт уменьшения диаметра проволоки (или площади поперечного сечения фольговых витков) и более плотной навивки чувствительной решетки. Но уменьшение площади поперечного сечения витков решётки и зазора между соседними петлями из условия нагрева датчика вызывает снижение допустимого тока в нём.

В современных датчиках зазор между соседними нитками рабочей решетки примерно в 10...20 раз больше площади поперечного сечения витка.

4.Удельиое электрическое сопротивление материала датчика ρ (Ом·мм²/м)

Удельное электрическое сопротивление материала проволоки или фольги должно быть по возможности большим, чтобы при заданных номинальном сопротивлении и базе датчика иметь меньше закруглений рабочей решетки, что положительно сказывается на точности измерений.

5. Величина термоэлектродвижущей силы E (МкВ/1° С)

Термоэлектродвижущая сила у датчика возникает в паре константан – медь (материал датчика – медные коммутирующие выводы) замкнутого контура при изменении температуры. Это отрицательная характеристика датчика, непосредственно влияющая на погрешности измерений. Величина термоэлектродвижущей силы имеет очень маленькое значение и в процессе тензометрических измерений не оказывает сколько-нибудь заметного влияния на точность результатов. Поэтому этой характеристикой можно пренебрегать.

6. Температурный коэффициент электрического сопротивления α (1/1° С)

При изменении температуры материал датчика меняет свое внутреннее электрическое сопротивление. Для датчиков, изготовленных не из полупроводниковых материалов, этим коэффициентом можно тоже пренебрегать без потери точности измерений, так как при реальных температурных режимах работы агрегатов

автомобилей его величина очень мала и не оказывает сколько-нибудь заметного влияния на процесс измерений.

7. Температурный коэффициент линейного расширения β (l/l ° C)

Из числа внешних факторов, оказывающих сильное влияние на работу датчика, наибольшее значение имеет температура окружающей среды. При разности температурных коэффициентов линейного расширения материала исследуемой детали и наклеенного на неё датчика с изменением температуры последний будет испытывать неизмеряемую деформацию.

Относительное сопротивление датчика $\Delta R/R$ в этом случае будет равно

$$\frac{\Delta R}{R} = [\alpha + S(\beta_i - \beta_{\ddot{A}})]t,$$

где α – температурный коэффициент электрического сопротивления материала датчика (1/1° C),

S – коэффициент тензочувствительности датчика,

β_M и $\beta_Д$ – коэффициенты линейного расширения соответственно материала детали и материала решётки датчика (1/1°C),

t – изменение температуры (град).

Если испытывается стальная деталь, имеющая $\beta_м = (10...11)\cdot 10^{-6}$, то при повышении температуры окружающей среды на + 1° C константановый датчик, наклеенный на неё, у которого $\beta_Д = (14...15)\cdot 10^{-6}$, будет показывать напряжение сжатия 6... 10 кг/см². Для алюминиевых сплавов, у которых $\beta_м = (20...25)\cdot 10^{-6}$, при нагреве на 1° C датчик будет испытывать напряжение растяжения, которое эквивалентно напряжению растяжения детали в 4...7 кг/см².

Изменение температуры оказывает существенное влияние на работу датчиков. В практике теизометрирования применяют специальные методы компенсации температурных воздействий, предусматриваемые в измерительных схемах.

8. «Ползучесть» показаний датчика

Под «ползучестью» показаний датчика понимается постепенное изменение сопротивления датчика при длительном статическом нагружении. «Ползучесть» оценивается в процентах изменения первоначального сигнала за 1 час нагружения. Для динамических измерений оценка «ползучести» проводится в течение 5...10 мин. «Ползучесть» является следствием несовершенства соединения датчика с испытываемой деталью и во многом определяется свойствами клея, качеством наклейки и сушки. Величину «ползучести» в 3...5 % за 1 час при статическом нагружении можно считать приемлемой.

Для уменьшения «ползучести» в клеящие составы обычно добавляются твердые присадки. Например, для клея БФ-2 хорошие результаты получаются с присадкой окиси титана (T_2O_2). В практике измерений на 100 весовых частей клея

БФ-2 добавляется 4 весовых части окиси титана и 30 частей этилового спирта.

9. Пределы измеряемой деформации ε

С помощью проволочных и фольговых датчиков сопротивления можно измерять деформации растяжения и сжатия в широких пределах. При относительных деформациях до 10 % характеристика датчиков – линейная

Для расширения пределов измеряемых деформаций применяются различные скобы 2 (рис. 40, *а, б*) с датчиками 1, которые крепятся к испытываемой детали 3.

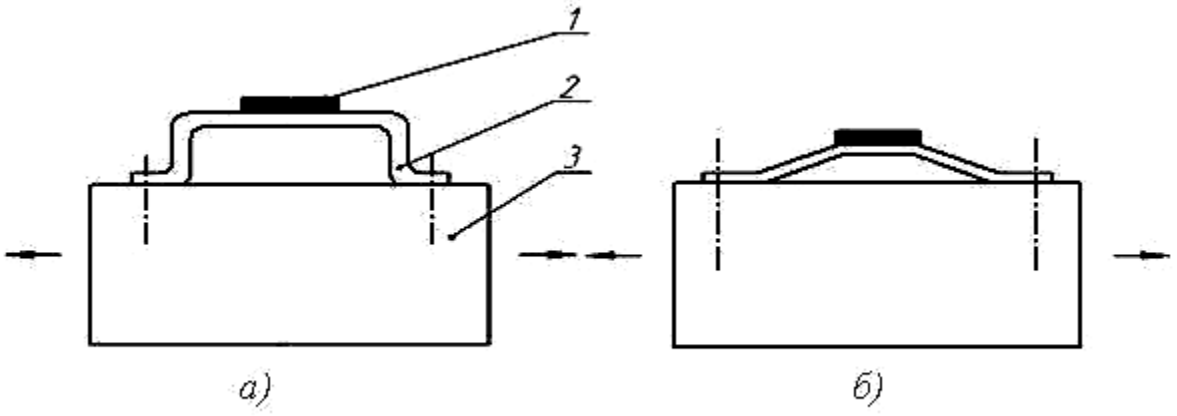


Рис. 40. Способы расширения пределов измеряемых деформаций

Линейность характеристики датчика зависит в основном от свойств подложки и применяемого клеящего состава. Для датчиков на бумажной подложке верхний предел деформации не должен превышать 1,5 %, а на пленочной основе – 10 %.

10. Предельно допустимая частота измеряемого процесса f, Гц.

При высокой частоте измеряемого процесса величина относительной деформации датчика неодинакова на различных участках рабочей решётки. На выходе датчика можно замерить лишь среднюю величину деформации всего датчика, которая будет разной в различные периоды времени. Поэтому для каждого типа датчика существует предел частоты измеряемого процесса, который можно определить по выражению

$$f = \frac{V}{\pi \cdot l} \cdot \sqrt{6\nu},$$

где V – скорость распространения волны деформации, (для стали V = 5000 м/с);

l – база датчика,(м) ;

ν – относительное отклонение измеряемой величины от относительной деформации испытываемой детали.

Так, для датчиков с базой l = 20 мм допустимая частота измеряемого процесса составляет f = 27б00 Гц, а для датчиков с базой l = 5 мм – уже f = 100000 Гц.

Обычно при испытаниях автомобилей измеряются процессы с частотой, не превышающей 600 Гц.

11. Величина допустимого рабочего тока Jg, мА, протекающего по датчику.

Для нормальной работы датчика необходимо выполнить условие равновесия между теплом, которое выделяет датчик при прохождении через него рабочего тока, и теплом, отводимым от него в окружающую среду. Если тепло, отводимое от датчика, будет меньше тепла, которое он вырабатывает, произойдёт его перегрев, и он выйдет из строя (перегорит).

Количество тепла, которое вырабатывает датчик в единицу времени при его включении в измерительную схему, зависит от многих причин – от типа схемы, тензометрического усилителя, от термического эквивалента работы, напряжения на зажимах источника питания и силы тока в решетке датчика. Чем больше теплопроводность материала и размеры детали, на которую наклеен рабочий датчик, тем лучше условия для его охлаждения и больше плотность допустимого тока.

Тепло, выделяемое датчиком при его работе в измерительной схеме

$$Q = AUJg,$$

где Q – количество тепла, (кал),

U – напряжение, (В),

Jg – сила тока, (А),

A = 0,2389 – термический эквивалент работы, (кал/дж).

С учётом выражений

$$U = JgR, \quad R = pl / F$$

тепло, выделяемое датчиком,

$$Q = Ap\frac{l}{F}Jg^2 .$$

Количество тепла, отводимого от датчика в единицу времени, подсчитывается по выражению

$$Q_{отв} = K(t - t_0)\pi d ,$$

где K – коэффициент теплопередачи, (кал/см²·с·град),

t – температура датчика, (град),

t_0 – температура окружающей среды, (град),

πd – периметр сечения рабочей решётки датчика.

Когда тепло, выделяемое датчиком, полностью от него отводится, получим

$$Ap \cdot \frac{l}{F} \cdot Jg^2 = K(t - t_0)\pi d; \qquad F = \frac{\pi \cdot d^2}{4};$$

$$Ig = \sqrt{\frac{K(t - t_0)\pi^2 d^3}{4A\rho l}}$$

Значения Jg для некоторых проволочных датчиков приведены в таблице 7.

Таблица 7

Диаметр проволоки, мм	Допустимый ток датчика, мА		
	Константан	Железо-хром-алюминиевый сплав № 2	Платино-иридиевый сплав
0,0500	100,0	70	210
0,0250	35,0	25	90
00125	12,5	9	35

4.1. Крепление тензодатчиков к испытываемой детали

Крепление тензодатчиков к испытываемой детали является важнейшим этапом проведения эксперимента. Датчик должен быть связан с испытываемой деталью таким образом, чтобы его рабочая решетка прочно и полностью была связана с деформирующейся поверхностью, а продольная ось датчика строго совпадала с направлением оси действия деформации.

Точность передачи деформации на рабочую решетку зависит главным образом от марки и качества клея, толщины клеевой прослойки между поверхностью детали и подложкой, от способа сушки (полимеризации) и защиты датчиков от вредных внешних воздействий.

Можно рекомендовать соблюдения нескольких общих правил технологии крепления датчиков.

1. Прежде, чем использовать выбранную марку клея, желательно в лабораторных условиях на контрольной балке проверить нормальное время затвердевания клея, его “ползучесть” и сопротивление изоляции.

2. Для измерений лучше всего использовать датчики из одной партии изготовления (одного типа, с одинаковой базой, с одинаковым номинальным сопротивлением и с одинаковыми другими характеристиками). Датчики в подборке не должны отличаться по номинальному сопротивлению более, чем на 0,01 Ом.

Каждый датчик необходимо проверить по внешнему виду и на целостность рабочей решетки. Желательно подобрать из выпущенной партии датчиков свою подборку с учётом предполагаемых экспериментов.

3. Наклейку датчиков на объект испытаний следует производить в течение одного дня, в одном помещении и одним лицом.

4. Недопустимо производить наклейку датчиков в сыром и запылённом помещении, а также в сырую и меняющуюся погоду.

5. Необходимо неукоснительно соблюдать требования технологии наклейки, аккуратно и внимательно выполнять все методические указания изготовителя датчиков и рекомендаций по использованию клеящего состава.

6. В любом эксперименте после наклейки датчиков всегда следует проверять

качество их крепления, так как плохая наклейка приведёт к срыву эксперимента.

7. Если позволяют размеры детали, рядом с основными датчиками желательно крепить «дублеры» – запасные датчики.

4.1.1. Клеящие составы

Существует большое количество разнообразных клеящих составов, используемых для крепления проволочных, фольговых и полупроводниковых тензодатчиков. В основном они предназначены для работы в нормальных климатических условиях и требуют определённого времени для затвердевания.

Для специальных условий работы (высокие температуры, химические среды, масляные или водяные пары и пр.) используются соответствующие специальные клеи. Лучше всего использовать клеящие составы, рекомендуемые предприятием, изготавливающим тензодатчики, но в любом случае при выборе клея следует обращать внимание на следующие его свойства:

1) возможность использования с материалом испытываемой детали (инертность к материалу детали и подложки датчика);
2) механическую прочность;
3) модуль упругости при сдвиге;
4) характеристики пластической деформации;
5) время затвердевания;
6) стабильность свойств;
7) термостойкость при сушке;
8) устойчивость к воздействию влаги и различных сред;
9) сопротивление изоляции
10) срок использования.

Применяемые в тензометрировании клеи, удовлетворяющие большинству указанных требований, можно разделить на две основные группы: высыхающие клеи и полимеризующиеся клеи.

Высыхающие клеи – это составы, затвердевающие при испарении растворителя. Эти клеи, как правило, составлены на основе ацетоно-целлулоида. Обычно их получают путём растворения целлулоида (колаксилина или нитроцеллюлозы) в чистом ацетоне. Для быстрого высыхания в него добавляют эфир с канифолью. Эфир ускоряет высыхание, а амилацетат облегчает освобождение летучих веществ. Для клеев используется только чистый (без красителей) целлулоид. Он имеет желтый оттенок и горит ярким пламенем без дыма и остатков. Схватывается клей в течение 15 минут, однако его полное затвердевание наступает только через 10 часов. В затвердевшем клее не должно быть белой мути. Клей – негигроскопичен, но боится растворителей.

Ацетоно-целлулоидные клеи успешно используются для измерения статических и динамических процессов, но только с датчиками на бумажной подложке.

Диапазон рабочих температур клея колеблется от – 60° С до + 50° С. При температуре выше + 50° С клеи размягчаются.

Состав тензоклеев на ацетоно-целлулоидной основе может быть трёх типов:
1) нормальный клей: целлулоид – 7,5 %, ацетон – 92.5 %;
2) быстросохнущий: целлулоид – 6 г, канифоль – 2 г, этиловый спирт – 40 см³, эфир – 60 см³,
3) густой быстросохнущий: целлулоид – 15 %, ацетон – 23 %, амилацетат – 30 %, серный эфир – 30 %, светлая канифоль – 2 %.

Полимеризующиеся клеи – это клеящие составы, затвердевающие под влиянием химических изменений. Полимеризующиеся клеи твердеют либо при нормальной комнатной температуре (самоцементирующиеся клеи), либо при повышенной температуре. Некоторые марки клеев содержат растворители, которые испаряются, а остаток полимеризуется.

Полимеризуюшиеся клеи нашли самое широкое распространение при тензометрировании деталей автомобилей. Почти все они не растворяются в органических растворителях, инертны к бензину, керосину и маслам, хорошо работают в кипящей воде, но разбухают в спирте и ацетоне.

Среди полимеризующихся клеев чаще всего употребляются (в связи с малой дефицитностью) четыре состава.

1. Карбинольный клей изготовляется из карбинольного сиропа, в который за один час до применения добавляется катализатор – перекись бензола в количестве 1..3 %. Клей работает в диапазоне температур от – 60° С до + 65° С и используется для статических и динамических измерений.

Затвердевает клей в нормальных условиях в течение 24 часов, при ступенчатом медленном повышении температуры до + 5О° С – в течение 15 мин. Полимеризация проводится обязательно с прижатием датчика к поверхности.

Клей устойчив к действию бензина, дизельного топлива, масла, но набухает в спирте и ацетоне. Кроме того, тонкая пленка карбинольного клея набухает в воде.

2. Бакелито-фенольные клеи (БФ) для тензометрирования используются двух марок: БФ-2, применяемый в диапазоне температур от – 50° С до + 180° С и в сильно кислотной (до 20 %) среде, и БФ-4, употребляемый в условиях щелочной среды (до 40 %) в диапазоне температур от – 50° С до + 60° С, а также когда требуется повышенная эластичность клеевой основы.

Клей и нейтрален и не вызывает коррозии металлов, растворяется только в спирте и ацетоне, хорошо переносит вибрации и удары.

В условиях комнатной температуры полная полимеризация завершается по истечении 48 часов. При нагревании до + 50.. .70° С клей полимеризуется в течение 4…6 часов, а при постепенном нагреве до 100° С – в течение 2...3 часов. При излишне интенсивном нагреве не затвердевший слой клея будет пузырится.

Полимеризация производится при поджатии датчика.

3. Кремне-нитро-глифталиевые клеи используются наиболее часто из-за хороших характеристик. Клей марки 192Т работает при температуре от – 60° С до + 120°С. Клей устойчив к воздействию бензина, керосина и масел, легко растворяется спиртом, эфиром, ацетоном. Затвердевает клей 192Т в комнатных условиях в течение 36 часов, а при нагреве до + 30° С в течение 4...6 часов. Этот клей имеет

высокую стабильность характеристик и используется для датчиков как на бумажной, так и на пленочной подложках.

Клей марки 200 используется для крепления рабочей решетки датчика к подложке при изготовлении, клей 206 – для пропитывания бумажной подложки, клей 216 – для влагостойкого покрытия уже приклеенных датчиков.

4. Влагостойкие клеи применяются для защиты от пресной и морской воды. Обычно используются клеи Б-10 и ВС. Применяются они индивидуально или в сочетании с клеями БФ-2 и БФ-4. Обычно эти клеи полимеризуются в комнатных условиях в течение 48 часов. При нагреве до 100° С они затвердевают в течение 6 часов. Эти клеи хорошо сопротивляются действию бензина, керосина и масла.

Для защиты датчиков от воздействия влаги широко используется клей Р-88, который применяется для склеивания резины с металлом. Затвердевает он путём холодной полимеризации под малым давлением. Клей не сопротивляется действию масел, бензина, керосина. Поэтому его применение в этих средах не допускается, поскольку может быть повреждён рабочий датчик.

Хорошо герметизирует и защищает от влаги клей ГМН-301. Холодная полимеризация этого клея происходит а течение 10 суток. а при нагрев до + 60° С – в течение 6...8 часов.

Помимо перечисленных, в практике теизометрирования используются различные специальные клеи. В частности, для исследований при высоких температурах применяются спекающиеся клеи (чаще всего керамические эмали, цементы, высокомодульное жидкое стекло в смесях с окисями кальция, магния и железа). Эти клеящие составы требуют высокотемпературного отжига. При температуре, не превышающей + 400° С можно использовать стандартные клеи В-58 и ВН-15.

Среди быстровысыхающих составов лучшими являются циакриновые клеи, изготовленные на основе маномера цианокрилата. Они имеют высокую прочность и упругость, не подвержены воздействию бензина, керосина, масел, воды, успешно работают в кислотных и щелочных средах имеют широкий диапазон рабочих температур (от – 60° С до + 150° С) и высокую стабильность свойств.

Затвердевают циакриновые клеи очень быстро (в течении 5…8 секунд) и прочно удерживаются почти на всех материалах. Полностью клей полимеризуется через два часа. Следует учитывать, что при такой быстрой полимеризации клей нагревается до + 130° С, поэтому необходимо уберегаться от ожогов. Кроме того, циакриновые клеи токсичны.

Для крепления и защиты фольговых датчиков лучше всего использовать лаки типа ВЛ (винифлекс), на основе которых изготавливается подложка этих датчиков, но и все перечисленные выше клеящие составы с успехом могут применяться для фольговых датчиков с плёночной основой.

В случае использования полупроводниковых тензодатчиков при экспериментальных измерениях следует строго придерживаться рекомендаций предприятий, которые производят эти датчики, и использовать для их крепления только те клеящие составы, которые высылаются предприятием-изготовителем комплектно вместе с датчиками.

4.1.2. Технология наклейки тензодатчиков

Перед наклеиванием датчиков соответствующим образом подготавливается поверхность испытываемой детали.

1. На детали определяется зона расположения датчиков. Эта зона должна обеспечивать деформацию, характерную для испытываемой детали.

2. Выделенная поверхность очищается от грязи, ржавчины, покрытия и пр.

3. Грубая поверхность зачищается до тех пор, пока не исчезнет “чернота”. Зачистка по мере необходимости производится наждачным кругом, напильником, наждачной бумагой, но не полируется, так как большинство клеев плохо держится на полированной поверхности и при деформации отскакивают. Обработанная поверхность должна быть 5-го или 6-го класса чистоты с пересекающимися рисками, видимыми невооруженным глазом. Грубые борозды и риски на обработанной поверхности не допускается. Подготовленная поверхность должна быть в несколько раз больше площади датчика.

4. Для правильной ориентации датчика при наклейке на обработанной поверхности с помощью линейки и чертилки наносится ось деформации, причём на месте расположения рабочей решётки датчика ось не проводится.

Иногда на подготовленную поверхность наклеивается миллиметровая бумага с окном, прорезанным по размеру датчика. Этот способ позволяет точно наклеить датчик и использовать бумагу в качестве изолятора под выводами решётки.

5. Непосредственно перед наклеиванием поверхность очищается от пыли, жира и влаги. Дышать на обрабатываемую поверхность нельзя из-за попадания влаги, которая ухудшает качество приклеивания датчика.

Сначала поверхность обрабатывается чистым неэтилированным бензином, а затем спиртом, эфиром. ацетоном или дихлорэтаном. Следует иметь в виду, что последний обладает высокой степенью токсичности. Бензин используется для обезжиривания поверхности, остальные вещества – для удаления влаги.

Порядок наклейки датчиков обычно указывается в паспортных данных на датчики и клеящие составы, которые высылаются заводом-изготовителем.

В общем случае эту операцию можно разбить на шесть основных этапов.

1. Грунтовка поверхности испытываемой детали, которая производится путём нанесения кисточкой или кусочком твердой бумаги на подготовленную поверхность тонкого слоя клея. Одновременно грунтуется рабочая сторона датчиков. Готовность загрунтованного слоя обычно определяется лезвием ножа, касаясь края загрунтованного участка. Если клей не прилипает к лезвию и не тянется за ним, поверхность можно считать готовой к наклейке датчиков.

2. Наклейка датчиков производится сухими и чистыми руками (лучше в перчатках) или специальным инструментом, предварительно протерев их бензином и влагоудаляющим составом. Если поверхность, на которую накладывается датчик, неровная, то желательно заранее придать датчику соответствующую форму, аккуратно изогнув его на исследуемой поверхности.

Затем датчик берётся за выводы и вновь покрывается тонким слоем клея,

после чего прикладывается к поверхности, соблюдая ось деформаций. Затем на датчик накладывается триацетатная (полиэтиленовая) плёнка, к которой клеящие составы не прилипают, и специальным валиком выдавливаются из-под датчика излишки клея и воздушные пузырьки. Очень плохо оставлять толстую клеевую подушку и совершенно недопустимо в ней наличие воздушных пузырьков. В тоже время не следует сильно давить на датчик, чтобы не повредить подложку, рабочую решётку и клеящий состав.

Как было указано ранее, перед наклейкой датчика желательно наклеить полоски бумаги под его выводы, чтобы избежать замыкания последних на деталь.

Если имеется возможность, следует осуществить прижим наклеенного датчика грузами, струбцинами, винтами, пружинами, магнитами, резиновыми стяжками и т. п. Предварительно датчик покрывается триацетатной пленкой, войлоком или губчатой резиной. Усилие прижатия должно быть равномерным и обеспечивать давление в 3...5 кг/см². Если нет возможности использовать постоянный прижим, можно выдержать датчик 5…10 минут в прижатом состоянии и через 15 минут повторить операцию выдавливания клея, но с меньшей интенсивностью.

В случае малейшей неуверенности в качестве наклейки лучше всего датчики снять и повторить все операции при переклейке. Для изоляции коммутируемых выводов датчика в непосредственной близости от него часто наклеивается контактная колодочка (рис. 41).

На деталь 1 вдоль оси действия деформации крепится датчик 2, выводы которого укладываются на бумажную подкладку 3 и соединяются с облуженными медными контактами 5 изоляционной колодки 4. К этим же контактам 5 подпаиваются коммутационные провода 6. Колодки изготавливаются из картона, текстолита или стекловолокна и крепятся клеем БФ-2 или эпоксидной смолой.

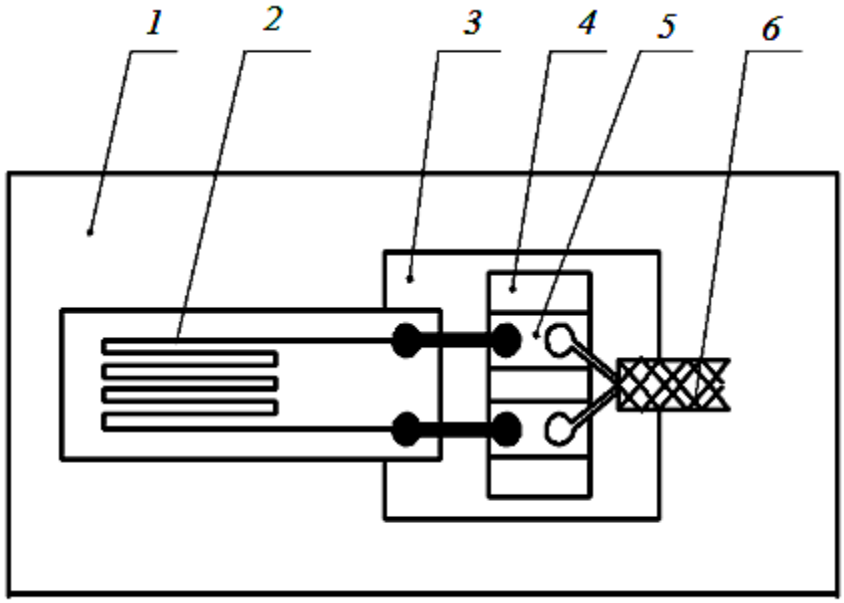


Рис. 41. Схема соединения тензодатчика

3. Проверка работоспособности датчиков производится спустя 1 час после их наклейки. Следует проверить датчики на обрыв и на замыкание с поверхностью детали. Проверку необходимо выполнить осторожно, не задевая самого датчика. Переклеивать нужно только те датчики, у которых сильно отличается от остальных сопротивление изоляции. Пока клей полностью не затвердел, датчики будут показывать заниженное сопротивление изоляции.

Сопротивление изоляции следует проверять приборами, дающими возможность отсчитывать не менее 20…50 мегОм и имеющими рабочее напряжение не более 50 вольт. Например, мегометр на пятьсот вольт может не проверять, а просто пробивать изоляцию.

4. Сушка датчиков (затвердевание клея) в основном зависит от клеевого состава, размеров и формы испытываемой детали. Для ускорения сушки детали небольших размеров (валы, тяги, кольца, рычаги, шестерни и т. п.) лучше всего нагревать в термостатных печах или сушильных шкафах. Датчики на крупных объектах можно нагревать электролампами, излучателями, инфракрасными нагревателями, но не вентиляторами, которые нарушают режим сушки. Если в первом случае можно сократить время сушки за счёт высокотемпературного нагрева, то во втором случае срок полного затвердевания клея увеличивается. Рекомендуемая скорость повышения температуры нагрева составляет один градус в минуту.

Процесс сушки можно ускорять, если заставить деталь с датчиками вибрировать с частотой около 50 Гц. Неплохие результата даёт способ сушки датчиков электротоком питания. При прохождении тока через, решётку датчик нагревается и близлежащие слоя клея твердеют быстрее. Величина тока не должна превышать допустимую. Во избежание «пузырения» клея, ток увеличивать следует постепенно. Единственное неудобство этого способа заключается в том, что приходится подпаивать провода к непросохшему датчику.

5. Проверка сопротивления изоляции производится после окончательного затвердевания клея. Это выполняется для того, чтобы впоследствии избежать нежелательных “наводок” и необъяснимых отклонений в показаниях. У датчиков, рассчитанных на статические измерения, сопротивление изоляции должно быть не менее 50 мегОм, а у датчиков, предназначенных ещё и для динамических измерений – не менее 6 мегОм.

Для датчиков с номинальным сопротивлением от 100 Ом до 400 Ом, используемых для чисто динамических процессов, сопротивление изоляции допускается иметь до 2 мегОм. Контактные колодки вместе с соединительными проводами должны иметь общее сопротивление изоляции не менее 3мегОм.

6. Проверка качества приклейки можно осуществлять несколькими способами.

Если допускают размеры детали, то качество наклеивания можно проверять с помощью “свидетелей”, то есть датчиков, наклеенных на деталь вместе с основными, но подлежащих отрыву. Если они легко отслаиваются, качество наклеивания следует признать неудовлетворительным. Хорошо наклеенный датчик можно снять, только соскабливая его ножом.

Можно проверять качество наклеивания иголкой, вводя её остриё под край

датчика. Датчик считается хорошо приклеенным, если острие иглы не проходит под датчик, не отслаивает его, а рвёт.

Необходимо иметь в виду, что при наклеивании происходит начальная деформация датчика. Он получает предварительное напряжение растяжения. Происходит это потому, что клей высыхает вначале по краям и прикрепляет периметр датчика к детали. По мере затвердевания клея объём датчика уменьшается, и он получает предварительное растяжение в пределах 0,02…0,05 %. Снимают эту деформацию датчика трёхкратным циклом: нагрузка – разгрузка.

Хорошим способом проверки качества наклейки является использование тензоусилителя. Рабочий и компенсационный датчики соединяются с тензоусилителем, и он балансируется на ноль. После нажатия на рабочий датчик стрелочный прибор усилителя должен отразить разбаланс моста. После снятия нажима стрелка должна вернуться на ноль. В противном случае датчик либо не просох, либо плохо наклеен. Оставлять такие датчики для экспериментов не рекомендуется.

Иногда после затвердевания клея под датчиком появляются белесые и тёмные (“ржавые”) пятна или даже целые участки. Белесые пятна появляются, когда при наклейке на поверхность детали попала влага (может быть даже от дыхания человека, наклеивающего датчики). Темные пятна появляются на плохо обработанной поверхности, у которой в выемках скопились сгустки клея, которые затем потемнели. Иногда это бывает результатом плохих свойств клея. Наличие белесых пятен нежелательно, так как они увеличивают «ползучесть» клея, а вот небольшое количество тёмных пятен (не более пяти) допускается.

4.2. Защита тензодатчиков от вредных факторов

К числу внешних факторов, отрицательно влияющих на работу тензодатчиков, относятся воздействие влаги, температуры, механических повреждений.

При проникновении в клей и в датчик влаги резко уменьшается сопротивление изоляции, кроме того, могут значительно изменяться свойства клея. Известно, что увеличение влажности окружающего воздуха в 2 раза сопровождается уменьшением сопротивления изоляция датчика в сотни раз. Разумеется, результаты измерений не будут меняться столь существенно. Упрощенно можно считать сопротивление изоляции, включенным параллельно датчику, поэтому его влияние на коэффициент тензочувствительности будет незначительным, так как сопротивление датчика исчисляется сотнями Ом, а сопротивление изоляции десятками МОм. Однако нестабильность сопротивления изоляции вызывает неопределенный разбаланс мостовой измерительной схемы и увод нулевой линии. Защита датчиков от влаги обязательна и в основном заключается в их изоляции от источников влаги.

Известно большое количество разнообразных влагостойких защит: эмалей, лаков, замазок, специальных покрытий. Самым простым способом защиты от влаги является покрытие датчиков техническим вазелином, парафином или воском. При этом деталь нагревают выше температуры плавления покрытий. Остывшее покрытие укрепляется матерчатыми материалами. Однако, такая защита от влаги

может использоваться только в лабораторных условиях, так как подвержена механическим разрушениям.

Надёжными влагозащитными покрытиями считаются резиновый клей Р-88, кабельная смола, нитроэмали, специальные многокомпонентные составы. Датчики, наклеенные бакелитовым клеем можно успешно защищать от влаги многослойным покрытием составами БФ-2 или БФ-4. Можно для этой цели использовать клей ГМН-301, Б-10 и кремне-нитро-глифталиевый лак 216.

Иногда для защиты от влаги готовятся комплексные мастики, в состав которых входят воск, парафин, масло трансформаторное и другие материалы.

Для защиты от влаги и от механических повреждений часто используются эпоксидные смолы. Эпоксидные смолы нельзя применять в присутствии масел и для деталей с маленькой площадью поперечного сечения. Обладая высокими механическими свойствами, эпоксидные смолы могут повлиять на характеристики испытываемой детали, если последняя имеет малые размеры. Кроме того, не рекомендуется использовать покрытие датчиков эпоксидными смолами при изменениях больших деформаций, так как в этом случае смола растрескивается и рвёт рабочую решетку датчика. Перед нанесением на поверхность наклеенного датчика производится приготовление эпоксидных смол, что требует соблюдения строгой технологии и мер безопасности, так как смола токсична.

Обычно на 100 частей подогретой до + 50º С эпоксидной смолы ЭД-6 добавляется 17 частей пластификатора (дибутилфталата) и 9 частей отвердителя (полиэтиленполиамина). В практике теизометрирования чаще всего используется смола, смешанная с пластификатором. Такая смола обладает некоторой текучестью при комнатной температуре.

Полностью затвердевает (полимеризуется) смола при комнатной температуре за 14...18 часов, а при постепенном нагревании (повышение температуры на один градус в минуту) до + 70º С – за 8…10 часов.

Помимо эпоксидных смол для защиты датчиков от механических повреждений используются комплексные покрытия – матерчатой изоляционной лентой, жесткими сортами тканей, металлической фольгой, различными кожухами и др.

Значительное отрицательное влияние на работу датчиков оказывает температура. При изменении температуры происходит изменение сопротивления рабочей решетки из-за изменения геометрических размеров датчиков, а также наведение термоэлектродвижущей силы в паре «константан – медь» (материал решётки датчика – константан, а выводы – медные). Кроме того, существенное влияние оказывает разница величин коэффициентов линейного расширения материала рабочей решётки датчика и материала детали, на которую наклеен датчик. Всё это вызывает появление «кажущейся» деформации и искажение результатов.

Наиболее эффективным и простым способом исключения отрицательного температурного влияния является использование компенсационного датчика в измерительных цепях (чаще всего в мостовой измерительной схеме). Компенсационный датчик – это точно такой же, как и рабочий датчик, расположенный в тех же температурных условиях, но не воспринимающий деформацию детали.

5. ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ

При деформации исследуемой детали от приложенной к ней нагрузки будет деформироваться наклеенный на неё рабочий (активный) датчик. При этом величина возникающего изменения относительного сопротивления тензодатчика $\Delta R/R$ очень мала. Чтобы измерить величину тока соответствующую изменению $\Delta R/R$ необходимо использовать специальные измерительные схемы.

Наиболее распространенной измерительной целью является мостовая схема, обладающая тремя свойствами универсальности:

1) позволяет измерять токи, линейно зависящие от измеряемой деформации;
2) позволяет компенсировать влияние температуры;
3) позволяет компенсировать влияние неизмеряемых сил.

Мостовые схемы могут использоваться для измерения как статических, так и динамических процессов. Эти схемы могут питаться как постоянным, так и переменным токами и работать в равновесном и неравновесном режимах.

Мостовая измерительная схема (рис. 42) имеет четыре плеча: *AC* (R_1), *CB* (R_3), BD (R_4), *DA* (R_2) и две диагонали – измерительную *AB,* в которую включаются измерительные приборы, и питающую *CD* с источником питания.

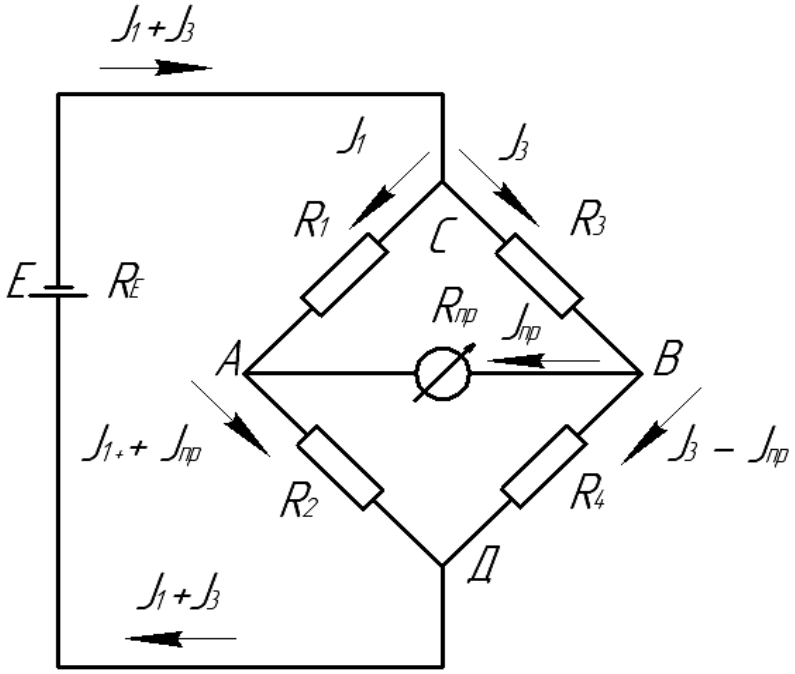


Рис. 42. Мостовая измерительная схема

В плечи моста включаются тензодатчики *R1, R2, R3, R4,* как правило, выбранные из одной партии, то есть с одинаковыми характеристиками.

В измерительную диагональ включается измерительный прибор с сопротивлением $R_{пр}$. В питающую диагональ *СД* включается источник питания (как правило, постоянного тока) с ЭДС – *E* и с внутренним сопротивлением R_E.

Ток, текущий в измерительной диагонали моста, зависит от изменения сопротивлений плеч под воздействием измеряемых процессов.

Согласно первому закону Кирхгофа алгебраическая сумма токов электрической цепи, сходящихся в узле, равна нулю. Поэтому токи, текущие в стандартной мостовой схеме, можно изобразить в соответствии с этим законом по схеме, изображённой на рисунке 42.

Согласно второму закону Кирхгофа в любом замкнутом контуре, произвольно выбранном в разветвленной цепи проводников, сумма произведений токов на соответствующее сопротивление равна сумме ЭДС в контуре цепи.

Для замкнутого контура СВАДЕ сумма произведений тока на соответствующее сопротивление

$$J_3R_3 + J_{пр}R_{пр} + (J_1 + J_{пр})R_2 + (J_1 + J_3)R_E = E.$$

Учитывая, что $E - (J_1 + J_3)R_E = U$, получим:

$$J_3R_3 + J_{пр}R_{пр} + (J_1 + J_{пр})R_2 = U. \qquad (1)$$

Для замкнутого контура САДЕ

$$J_1R_1 + (J_1 + J_{пр})R_2 = U.$$

$$J_1 = \frac{U - J_{пр}R_2}{R_1 + R_2}. \qquad (2)$$

Для замкнутого контура СВДЕ

$$J_3R_3 + (J_3 - J_{пр})R_4 = U.$$

$$J_3 = \frac{U + J_{пр}R_4}{R_3 + R_4}. \qquad (3)$$

Подставим выражения (2) и (3) в уравнение (1):

$$\frac{U + J_{пр}R_4}{R_3 + R_4}R_3 + J_{пр}R_{пр} + \frac{U - J_{пр}R_2}{R_1 + R_2}R_2 + J_{пр}R_2 = U.$$

Отсюда: $$J_{пр} = U \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{R_1 R_2 (R_3 + R_4) + R_3 R_4 (R_1 + R_2) + R_{пр} (R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}.$$

В большинстве случаев для регистрации измеряемого сигнала величина тока *Jnp* недостаточна. Поэтому применяются специальные усилительные устройства и измеряемый сигнал оценивают по напряжению *Unp*.

По закону Ома

$$U_{пр} = J_{пр} R_{пр}.$$

Поэтому измеряемое напряжение с использованием тензоусилителя

$$U_{пр} = U \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + \frac{1}{R_{пр}} [R_3 R_4 (R_1 + R_2) + (R_3 + R_4) R_1 R_2]}.$$

Внутреннее сопротивление тензоусилителя во много раз превышает сопротивления плеч моста, поэтому, пренебрегая в знаменателе вторым слагаемым (практически без потери точности), получим:

$$U_{пр} = U \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}. \qquad (4)$$

Из этого выражения следует, что при подключения источника питания в измерительной диагонали моста сигнал будет отсутствовать (мост сбалансирован – уравновешенный режим), если

$$R_2 R_3 - R_1 R_4 = 0.$$

Таким образом, условием баланса моста является это равенство.

Если это условие не соблюдается, то мост будет разбалансирован – неуравновешенный режим.

В практике измерений перед началом эксперимента мост должен быть сбалансирован, то есть стрелка прибора должна быть на нуле. После приложения нагрузки рабочие датчики деформируются вместе с испытываемыми деталями и изменяют свое сопротивление. Это изменение сопротивлений вызывает разбаланс мостовой схемы, который соответствует измеряемому физическому параметру.

При сборке моста используются датчики с одинаковым номинальным сопротивлением. Фактическое сопротивление датчиков (из одной партии и с одинаковыми паспортными параметрами) всегда различно, так как на тысячные и даже

сотые доли Ома величина их сопротивлений всегда отличается. Поэтому для балансировки моста применяются дополнительные устройства.

В схеме с малоомным реохордом (рис.43, *а*) балансировка моста осуществляется переменным сопротивлением *Rбал* включенным в контур моста. В схеме с высокоомным реохордом (рис.43, *б*) переменное сопротивление *Rбал* включено параллельно питающей диагонали.

В схеме с консольной балкой, на которую наклеены два датчика *R* (рис.43, *в*), балансировка моста осуществляется за счёт изгиба балки и соответствующего изменения сопротивления наклеенных на неё датчиков. Чаше всего устройства балансировки моста монтируются в тензоусилителях с выводом на панель прибора регулировочной ручки. В этом случае половина моста в виде соответствующих сопротивлений содержится в тензоусилителе, а вторая половина, которая называется «выносной полумост», собирается для выполнения измерений.

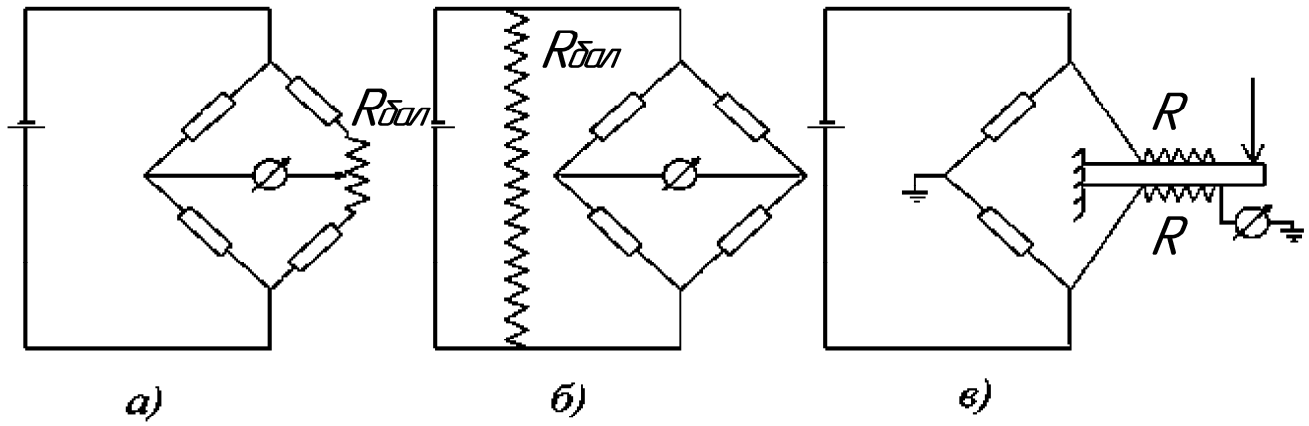


Рис. 43. Схемы балансировки моста

5.1. Тарировка тензодатчиков

Тарировка (градуировка) тензодатчиков – это определение масштаба измерения для данного конкретного комплекса приборов с данным конкретным датчиком. Теоретически, если точно известен коэффициент тензочувствительности датчиков и рабочие характеристики применяемых приборов, тарировка не нужна. Однако, на практике тарировку производят всегда, т.к. при этом автоматически учитываются все отклонения характеристик как измерительных приборов, так и самих датчиков. Кроме того, при длительных измерениях необходимо тарировку повторять, чтобы учесть отклонение характеристик приборов и датчиков, возникающее с течением времени.

При измерениях с помощью тензодатчиков применяют два типа тарировок: непосредственную и косвенную. Непосредственной тарировке подвергаются исследуемые детали, на которые наклеены датчики, при создании искусственных

нагрузок, близких к эксплуатационным. Зная зависимость показаний приборов от изменения нагрузки, легко в дальнейшем расшифровать результаты исследований, полученные в реальных условиях работы детали. Как при непосредственной тарировке, так и в процессе измерений используются одни и те же датчики и приборы. Непосредственная тарировка позволяет исключить погрешности разброса коэффициента *S* партии датчиков, влияние поперечной деформации на коэффициент *S* и неточности наклейки датчиков. Остаются погрешности от нестабильности работы аппаратуры, "старения" датчиков (изменения коэффициента *S* от времени), "ползучести" (постепенного изменения сопротивления датчиков при длительном нагружении постоянной нагрузкой) и от неточности обработки результатов. При непосредственной тарировке суммарная погрешность может быть в пределах от 0,1…0,5 % до 2…3 %. Погрешности меньше 1 % могут быть получены только при статических измерениях.

В практике измерений часто встречаются случаи, когда невозможно осуществить непосредственную тарировку. Примером могут служить деформации в конструкциях штампа во время удара молота, напряжения в рамах автомобилей во время движения, усилия в бульдозере в процессе работы и др. В таких случаях приходится производить косвенную тарировку датчиков. Для этого датчики одной партии наклеиваются на исследуемый объект, а часть их клеится на тарировочную балку. На балке датчики тарируются для получения среднего масштаба для данной партии датчиков с данной аппаратурой. Этот масштаб и применяется для рабочих измерений. Количество тарируемых датчиков рекомендуется определять по правилу: 5 % от наклеиваемых рабочих датчиков, но не менее 5 штук (при условии использования не менее 10...15 рабочих датчиков) для получения усредненного масштаба.

Работа по косвенной тарировке осуществляется на консольной или 2-х опорной изгибных балках, на которые наклеиваются датчики и которые можно искусственно нагрузить. Тарировка производится тензометрической аппаратурой, которая предназначена для измерений.

При тарировке на балке равного сопротивления (при точном исполнении размеров балка испытывает при нагрузке чистый изгиб в продольной плоскости) на её свободный конец навешиваются гири, а другой крепится к станине, балка изготовляется из высококачественной (инструментальной) стали. Размеры балки выбираются таким образом, чтобы при нагружении грузом в 1 кг напряжение в балке создавалось равным 100 кг/см², что соответствует относительной деформации $\varepsilon = 0,5 \cdot 10^{-3}$. Конструкция балки обеспечивает равные напряжения в любой точке её поверхности (на верхней плоскости – растяжение, на нижней − сжатие).

Тарировочное устройство с балкой на 2-х опорах (рис. 44) представляет собой нагрузочное устройство, деформирующее балку с наклеенными на неё датчиками, и устройство, контролирующее действующую деформацию балки. В любой точке рабочей длины балки (зона *б*, куда клеятся тарируемые датчики) деформация и напряжения одинаковы.

При тарировке выясняются возможные максимальные деформации, которые

могут возникнуть при реальной эксплуатации исследуемого объекта.

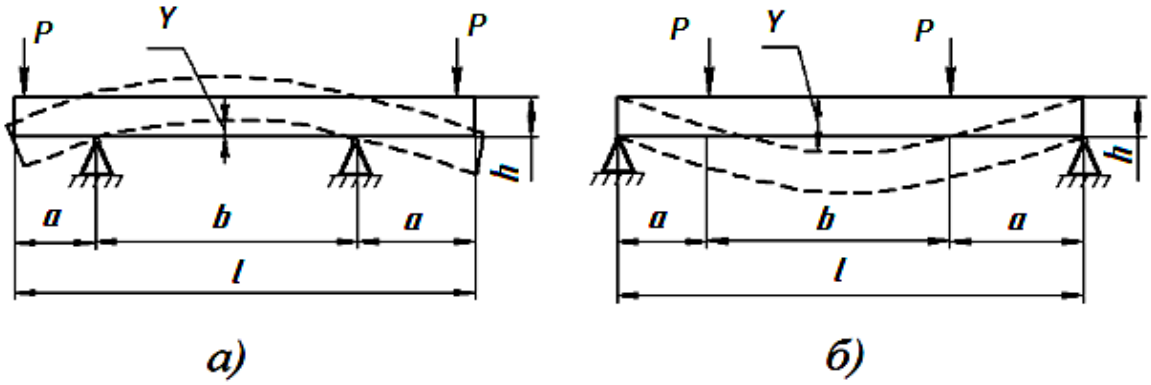


Рис. 44. Двухопорные тарировочные балки

В диапазоне возможных деформаций выбирают через равные промежутки 5…7 точек, установив переключатель диапазонов тензоусилителя на нужный предел усиления и производят тарировку датчиков. На основании полученных данных строят усредненный масштабированный график. Если при измерениях знак деформации может изменяться, то один или несколько датчиков необходимо проверять на сжатие.

При косвенной тарировке дополнительно накладываются погрешности от разброса значений коэффициента *S* на партию применяемых датчиков и несовпадения осей деформаций с продольными осями датчиков. Ориентировочно можно считать погрешности измерений с использованием косвенной тарировки в пределах 5... 10 %, причем погрешности до 5 % можно получить при статических измерениях.

Для балки с опорами посередине, изображенной на рис. 44, *а*, относительная деформация поверхности в зоне *b,* где наклеиваются тарируемые датчики, равна

$$\varepsilon = \frac{4hy}{b^2},$$

а для балки с опорами по концам, изображенной на рис. 44, *б*, эта величина равна

$$\varepsilon = \frac{12hy}{3L^2 - 4a^2}.$$

Коэффициент тензочувствительности $S = \dfrac{\Delta R / R}{\varepsilon}$.

Для определения точного значения коэффициента тензочувствительности тарируемых датчиков их необходимо поочерёдно включать в мостовую измери-

тельную цепь (рис. 45) в одно из плеч.

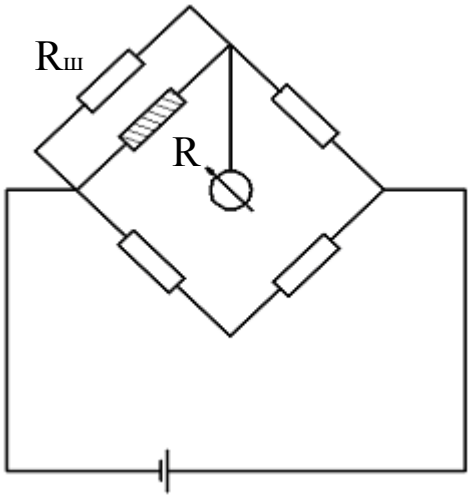


Рис. 45. Мостовая измерительная схема с тарируемым датчиком (заштрихован)

Сопротивление *R* тарируемого датчика заранее известно. Параллельно рабочему плечу моста включается шунт *Rш* известной величины. Измененное сопротивление плеча R^1 в этом случае будет

$$R^1 = \frac{RR_ш}{R + R_ш}.$$

Начальное сопротивление *R* плеча после подключения шунта изменится на величину *ΔR*.

$$\Delta R = R - R^1 = R - \frac{RR_ш}{R + R_ш} = \frac{R^2}{R + R_ш},$$

Таким образом, при известных параметрах датчиков точное значение их коэффициента тензочувствительности можно легко подсчитать по выражениям:

для балки, изображенной на рис. 44, *а* $$S = \frac{Rb^2}{(R + R_ш)4hy},$$

а для балки, изображенной на рис. 44. *б* $$S = \frac{R \cdot (3L^2 - 4a^2)}{(R + R_ш)12hy},$$

Для консольной тарировочной балки собирается схема, показанная на рис.46.

Тарировка тензодатчиков на консольной балке равного сопротивления выпол-

няется в следующем порядке:

1) наклеить тарируемые датчики на верхнюю плоскость консольной балки и собрать мостовую измерительную цепь согласно рис. 46, затем подключить источник питания;

2) отбалансировать собранную схему на ноль переменным реохордом $R_{бал}$;

3) параллельно рабочему плечу моста с тарируемым датчиком R_β включить шунт $R_ш$ известного сопротивления и зафиксировать отклонение стрелки прибора от возникшего разбаланса моста;

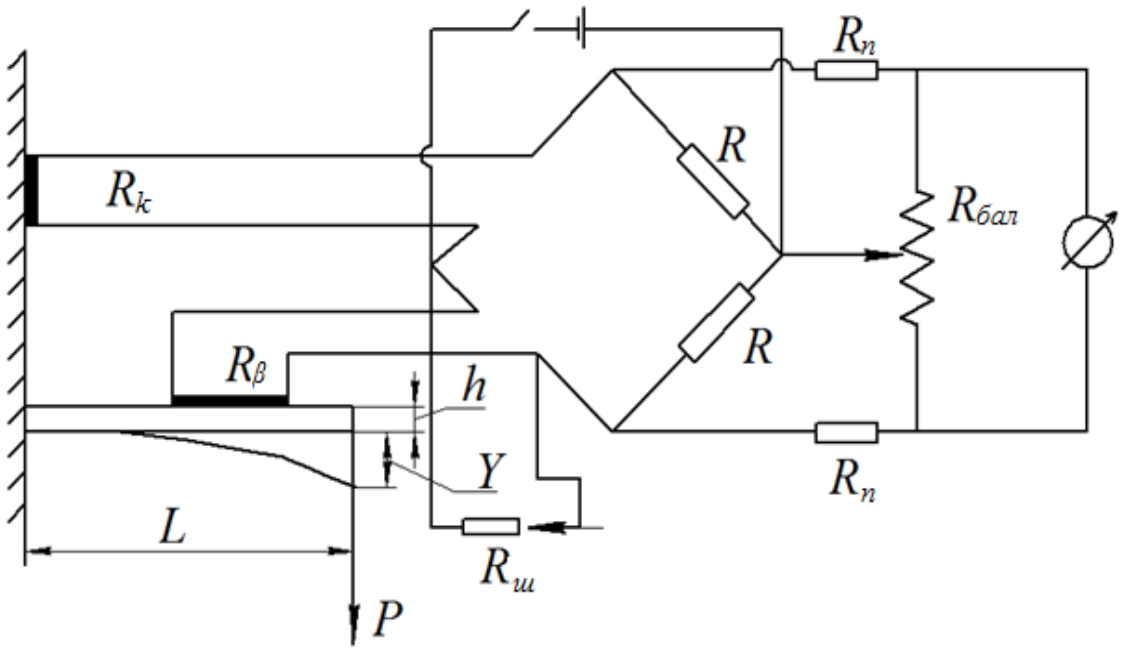


Рис. 46. Схема тарировки тензодатчиков на консольной балке равного сопротивления

4) отключить шунт $R_ш$ и нагрузить консольную балку изгибающей силой P до такого же отклонении стрелки прибора, замерить прогиб балки Y;

5) зная, что для консольной балки равного сопротивления прямоугольного сечения относительная деформация

$$\varepsilon = \frac{hy}{L^2},$$

подсчитать точное значение коэффициента тензочувствительности тарируемых датчиков по выражению

$$S = \frac{RL^2}{(R + R_ш)hy},$$

5.2. Температурная компенсация в мостовой схеме

В процессе испытаний автомобилей неизбежно изменение температурных режимов работы датчиков и измерительных устройств. Это вызывает температурную деформацию деталей и наклеенных на них датчиков, что приводит погрешностям измерений действительных рабочих процессов в агрегатах и системах машин. В мостовой измерительной схеме предусмотрена температурная компенсация, которая осуществляется как в сбалансированном режиме работы моста, так и в несбалансированном режиме.

Для сбалансированного моста

$$R_2 = R_4 \frac{R_1}{R_3}.$$

Предположим, что датчик с сопротивлением *R2* – рабочий, то есть наклеенный на исследуемую деталь, а *R4* – компенсационный, то есть расположенный в тех же температурных условиях, что и рабочий, но не воспринимающий деформации.

При изменении температуры оба датчика получают приращение сопротивления от температурных деформаций:

$$R_2 + \Delta R_2 = \left(R_4 + \Delta R_4\right) \cdot \frac{R_1}{R_3}.$$

Применяя формальные преобразования при одинаковых номинальных сопротивлениях, получим:

$$R_2(1+\Delta) = R_4\left(1+\Delta\right) \cdot \frac{R_1}{R_3},$$

то есть

$$R_2 = R_4 \frac{R_1}{R_3}.$$

Вывод: в сбалансированном мосте температурная компенсация осуществляется, если рабочий и компенсационный датчики включены в смежные плечи.

Для несбалансированного моста, когда в измерительной диагонали идет сигнал, соответствующий измеряемой физической величине, рабочий и компенсационный датчики могут соединяться симметричным и несимметричным способами (рис. 47). При $R_1 = R_3$ или $R_2 = R_4$ рабочий датчик R_2 и компенсационный R_4 расположены по одну сторону от измерительной диагонали (см. рис. 47, *а*) соединение называют симметричным. При $R_1 = R_2$ или $R_3 = R_4$ рабочий датчик R_2 и компенсационный R_1 расположены по одну сторону от питающей диагонали (см. рис. 47, *б*) соединение называют несимметричным.

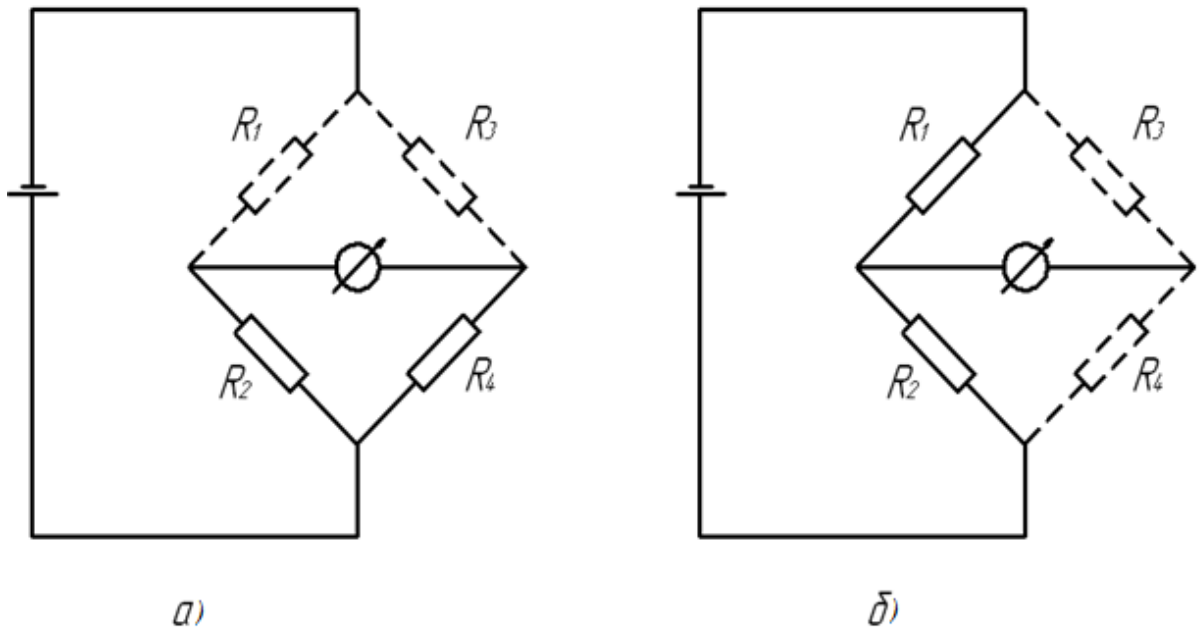


Рис. 47. Симметричный *а*) и несимметричный *б*) способы соединения рабочего и компенсационного датчиков

Для выбора параметров схемы можно пользоваться таблицей 8, в которой приведены выражения для выбора сопротивления измерителя, тока в измерительной диагонали мост, мощности, рассеиваемой активным датчиком и условий использования этой мощности..

При симметричном соединении (см. рис. 47, *а)* рабочий и компенсационный датчики соединены в смежные плечи, но расположены по одну сторону от измерительной диагонали. В этом случае примем: пусть R_2 – рабочий датчик, а R_4 – компенсационный.

Если ΔR – изменение сопротивления от деформация, а ΔR_t – изменение сопротивления от температуры, то при известном номинальном сопротивлении будем иметь:

$$R_2 = R + \Delta R + \Delta R_t,$$

$$R_4 = R + \Delta R_t.$$

Остальные плечи моста R_1 и R_3 имеют такое же номинальное сопротивление, которое обозначим R_o.

Используя формулу (4), получим

$$U_{np} = U\frac{(R + \Delta R + \Delta R_t)\cdot R_0 - R_0(R + \Delta R_t)}{(R_0 + R)(R_0 + R)} = U\frac{R_0 \cdot \Delta R}{(R_0 + R)^2}.$$

Таблица 8

Вид симметрии	Оптимальное сопротивление прибора *Rг*	Ток в измерительной диагонали при активном датчике *R1*	Мощность, рассеиваемая датчиком *P1*	Условие использования рассеиваемой мощности
$R_1 = R_2$ $R_3 = R_4$	$R_г = \frac{R_1 + R_3}{2}$	$J_г = \frac{E\frac{\Delta R_1}{R_1}}{4(R_1 + R_3)}$	$P_1 = \frac{E^2}{4R_1}$	$R_3 = R_4 \to 0$ $\left(\frac{P}{P_1}\right)_{\max} = \frac{\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2}{8}$
$R_1 = R_3$ $R_2 = R_4$	$R_г = 2 \cdot \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$	$J_г = \frac{E\frac{\Delta R_1}{R_1}}{4(R_1 + R_2)}$	$P_1 = \frac{E^2 \cdot R_1}{(R_1 + R_2)^2}$	$R_2 = R_4 \to \infty$ $\left(\frac{P_m}{P_1}\right)_{\max} = \frac{\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2}{8}$

При равенстве $R = R_0$ и $U_{пр} = U\frac{\Delta R}{4R}$. (5)

При несимметричном соединение (см. рис. 47, *б*) рабочий и компенсационный датчики тоже соединены в смежные плечи моста, но другие.

Если R_2 – рабочий датчик, а R_1 – компенсационный,

$$R_2 = R + \Delta R + \Delta R_t,$$
$$R_1 = R + \Delta R_t,$$
$$R_3 = R_4 = R_0.$$

Тогда

$$U_{пр} = U\frac{(R + \Delta R + \Delta R_t)\cdot R_0 - R_0(R + \Delta R_t)}{(R + R)(R_0 + R_0)} = U\frac{R_0 \cdot \Delta R}{4R_0 R} = U\frac{\Delta R}{4R}.$$

Вывод: в случае несбалансированного моста температурная компенсация осуществляется, если рабочий и компенсационный датчики включены в смежные плечи независимо от способа соединения (симметрично или несимметрично).

5.3. Компенсация влияния неизмеряемых сил (сложение и вычитание тензоэффектов)

Большинство деталей автомобилей в процессе работы нагружены комплексом сил и моментов. Это приводит к тому, что детали при деформации реагируют на все приложенные к ним нагрузки. В практике измерений часто необходимо знать влияние не комплекса этих сил и моментов, а отдельных нагрузок.

Исключение неизмеряемых сил и моментов при их одновременном воздействии можно выполнить с помощью специально собранных мостовых схем.

Рассмотрим пример. Консольная балка (рис.48) нагружена одновременно двумя силами: растягивающей P_1 и изгибающей P_2 .

Пусть ставится задача измерить действие силы P_1 и исключить влияние силы P_2. На балку приклеивают четыре датчика с обеих сторон: сверху рабочий R и компенсационный $R_к$, снизу рабочий R^1 и компенсационный $R_к^1$.

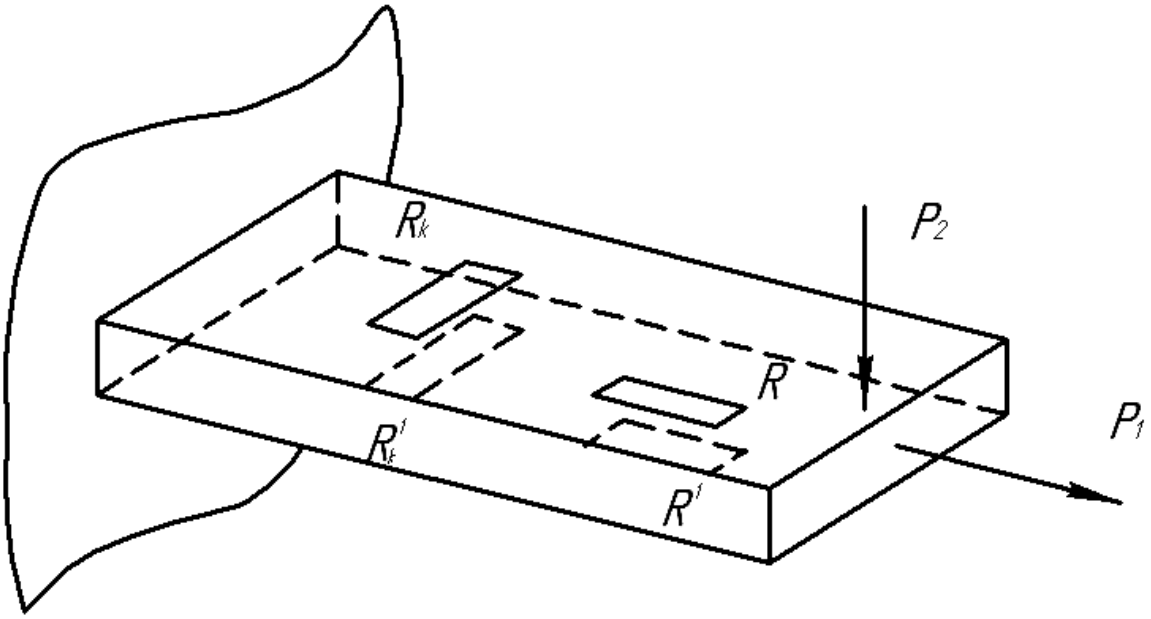


Рис. 48. Консольно закрепленная балка

Ранее было определено, что мост сбалансирован при $R_2R_3 - R_1R_4 = 0$ для схемы, изображенной на рис.42.

Если каждый все датчики в мостовой схеме – рабочие и каждый из них получит соответствующее приращение сопротивления от деформации, то можно определить максимальную величину разбаланса моста:

$$(R_2 + \Delta R_2)(R_3 + \Delta R_3) - (R_1 + \Delta R_1)(R_4 + \Delta R_4) = (R_2\Delta R_3 + R_3\Delta R_2) - (R_1\Delta R_4 + R_4 + \Delta R_1)$$

Собирается мостовая схема, показанная на рис.49.

Произвольно обозначим знак действующей деформации: пусть деформация от растяжения будет $(-\Delta R)$, а от сжатия $(+\Delta R)$. Если в мостовой схеме использовать одинаковые датчики, то $R = R_1, R_к = R_к^1$ и $\Delta R_к = \Delta R_к^1 = 0$, так как – это компенсационные датчики, которые от действующей нагрузки не деформируются.

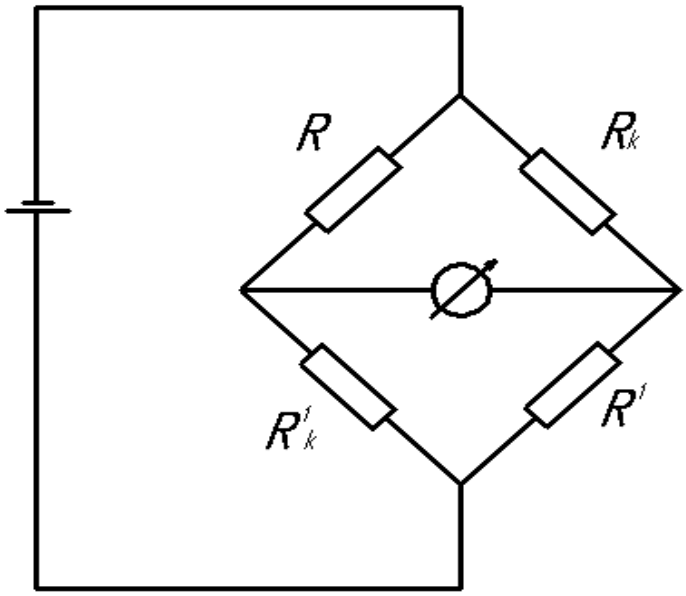


Рис. 49. Мостовая схема для измерения силы P_1

Запишем величину разбаланса моста от силы P_1:

$$(R_k^1 \Delta R_k + R_k \Delta R_k^1) - [-(R\Delta R^1) + (-R^1 \Delta R)] = 2RR\Delta .$$

Запишем величину разбаланса моста от силы P_2:

$$(R_k^1 \Delta R_k + R_k \Delta R_k^1) - (R\Delta R^1 - R^1 \Delta R) = 0 .$$

Таким образом, от силы P_2 сигнала в измерительной диагонали моста нет.

Если ставится задача измерить действие силы P_2 и исключить влияние силы P_1, то мост собирается по схеме, изображенной на рис. 50.

Запишем разбаланс моста от силы P_1:

$$(-R_k \Delta R^1 + R^1 \Delta R_k) - (R\Delta R_k^1 - R_k^1 \Delta R) = 0$$ (вычитание тензоэффектов).

Запишем разбаланс моста от силы P_2:

$$(R_k \Delta R^1 + R^1 \Delta R_k) - (R\Delta R_k^1 - R_k^1 \Delta R) = 2R_k \Delta R$$ (сложение тензоэффектов).

Таким образом, в этом случае исключается действие растягивающей силы P_1.

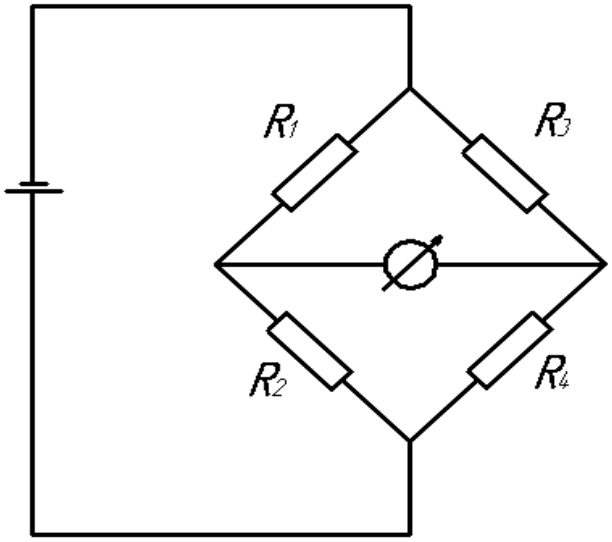


Рис.50. Мостовая схема для измерения силы P_2

.

Вывод: в мостовой измерительной схеме обеспечивается сложение тензоэффектов от рабочих датчиков, если они имеют одинаковое номинальное сопротивление, имеют одинаковый знак деформации и включены в противоположные плечи, или имеют разный знак деформации и включены в любые смежные плечи. Вычитание тензоэффектов обеспечивается, если датчики имеют разный знак деформации и включены в противоположные плечи или имеют одинаковый знак деформации и включены в смежные плечи.

5.4. Статические тензометры постоянного тока

Самым простым и исторически самым старым является статический тензометр постоянного тока без дополнительного усиления (рис. 51).

Предположим, что R_1 является активным датчиком, наклеенным на испытываемую деталь, а R_2 пассивным (компенсационным) датчиком (см. рис. 51, *а*). Резисторы R_3 и R_4 являются балластными. Резисторы перекрытия $R_п$ уменьшают пределы балансировки переменным балансировочным сопротивлением $R_б$. Измерительный гальванометр статического тензометра имеет всегда среднее нулевое положение указателя. Уравновешивающее сопротивление R тензометра снабжается указателем со шкалой, проградуированной в нужных величинах.

При измерении нулевым методом мост уравновешивается дважды: первый раз перед началом измерения сопротивлением $R_б$, когда испытываемая деталь не нагружена, после статического нагружения детали мост уравновешивается вторично с помощью реостата R, по шкале которого читается результат измерения. При снятии нагрузки мост вновь окажется разбалансированным, поэтому поставить указатель реостата снова в нулевое положение.

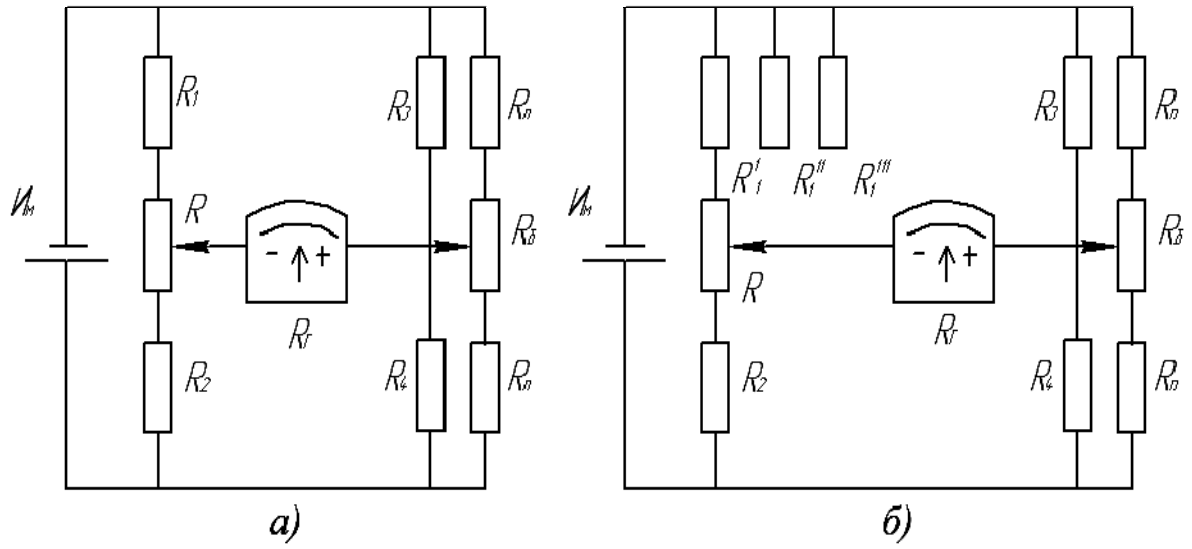


Рис. 51. Статические тензометры

В многоточечных тензометрах (см. рис. 51, *б*) гальванометр и реостат остаются общими, а рабочие датчики $R_1^1, R_1^{11}, R_1^{111}$ и т. д. подключаются в одно плечо измерительной схемы с помощью автоматического многопозиционного переключателя. Такие схемы измерения используются при исследованиях рам автомобилей, кузовов и кабин. В этих исследованиях обычно наклеивается 100 и более рабочих датчиков в различных местах испытываемого объекта. На каждый датчик предусматривается отдельное балансировочное сопротивление (обычно смонтированное в многопозиционном переключателе. Для исключения температурных погрешностей измерения все датчики должны находиться под напряжением.

Питание статических тензометров осуществляется от аккумуляторных батарей или от сетевых выпрямителей с фильтрацией выпрямленного напряжения. интересно отметить, что некоторое изменение питающего мост напряжения не оказывает влияния на точность измерений.

При сборке статического тензометра особое внимание следует уделять выбору измерительного гальванометра (нуль-индикатора). Лучше всего использовать стационарные оптические гальванометры с чувствительностью до $10^{-9}\,A$.

Перед началом измерений и сборкой статического тензометра проводится расчёт схемы на чувствительность.

Рассмотрим пример подобного расчёта.

Мост имеет активным датчиком сопротивление *R1*, компенсационным – *R2*, а второстепенными плечами − сопротивления *R3* и *R4*. Допустимый рабочий ток датчика *Jg* = 300мА. Коэффициент тензочувствительности датчиков *S* = 2. Максимальная измеряемая относительная деформация $\varepsilon = 10^{-3}$. В качестве нуль-индикатора используется стрелочный микроамперметр с внутренним сопротивлением *R* = 400 Ом и полным отклонением стрелки при токе в 50 мкА. Отклонение стрелки становится заметным при токе в 1 мкА.

Напряжение питания моста всегда равно удвоенному напряжению на датчике:

$$U_m = 2U_Д = 2JgRg = 12\ B, \quad Rg = R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 200\ Ом.$$

Ток, текущий через гальванометр при заданном разбалансе моста и при одном активном датчике, подсчитывается по выражению:

$$J_Г = \frac{U_m}{4} \cdot \frac{\Delta R_Д}{R_Д} \cdot \frac{1}{R_Д + R_Г} = \frac{U_m}{4} \cdot S \cdot \varepsilon \cdot \frac{1}{R_Д + R_Г}.$$

Тогда

$$J_Г = \frac{12}{4} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{200 + 400} 10^{-5}\ A = 10 мкА.$$

Итак, деформация $\varepsilon = 10^{-3}$ даст отклонение нуль-индикатора в 10 мкА.

Ошибка данного опыта может достигнуть 10 %, так как погрешность отсчёта по шкале составляет 1 мкА.

5.5. Мостовые схемы с несколькими тензодатчиками в плече

При проведении экспериментальных работ с использованием тензорезисторов иногда приходится собирать мостовые измерительные схемы с несколькими датчиками в плече моста. Для упрощения рассмотрим мостовые измерительные схемы с двумя датчиками в плече (рис.52).

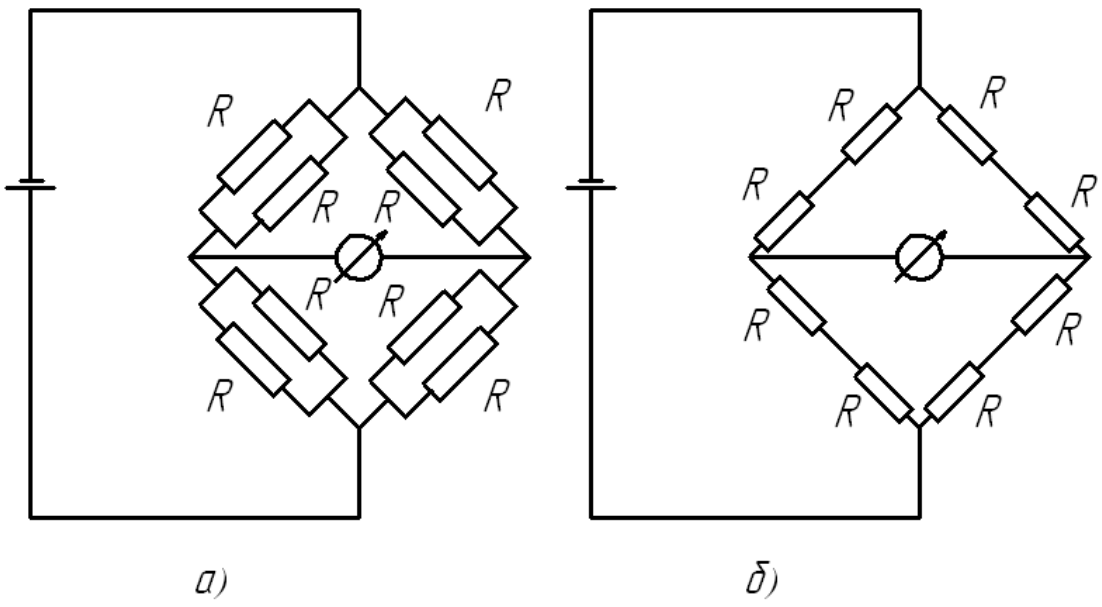


Рис. 52. Мостовые схемы двумя датчиками в плече

При одинаковых датчиках в плечах моста с их параллельным соединением (см. рис.52, *а*) общее сопротивление плеча $R_{общ} = R/2,$ а общее изменение сопротивления в плече $\Delta R_{общ} = \Delta R/2.$

Согласно выражению (5) получим:

$$U_{пр} = U \cdot \frac{\Delta R_{общ}}{4R_{общ}} = U \cdot \frac{\frac{\Delta R}{2}}{4 \cdot \frac{R}{2}} = U \cdot \frac{\Delta R}{4R}.$$

При последовательном соединении (см. рис. 52. *б*) $R_{общ} = 2R$ и $\Delta R_{общ} = 2\Delta R$.

В этом случае

$$U_{пр} = U \cdot \frac{\Delta R_{общ}}{4R_{общ}} = U \cdot \frac{2\Delta R}{4 \cdot 2R} = U \cdot \frac{\Delta R}{4R}.$$

Вывод: чувствительность мостовой измерительной схемы не зависит от количества датчиков в плече и способа их соединения.

5.6. Безусилительные схемы для измерения динамических процессов

Применение безусилительных схем на постоянном для измерения и записи динамических деформаций возможно при следующих условиях:

1) частота измеряемых деформаций не должна превышать 200 Гц;
2) измеряемые относительные деформации должны быть не ниже $0{,}5 \cdot 10^{-3}$ (при условии использования четырех активных датчиков);
3) деталь должна быть массивной для хорошего отвода тепла от датчиков;
4) источник питания моста должен иметь малое внутреннее сопротивление (лучше всего применять аккумуляторные батареи);
5) мост должен иметь тарировочное устройство;
6) при работе должны быть исключены обрыв или короткое замыкание моста;
7) регистрирующий прибор должен быть тщательно амортизирован;
8) для мостовой схемы должны использоваться только мощные датчики (лучше фольговые, допускающие больший рабочий ток).

Перед началом эксперимента производится предварительный расчёт схемы. Рассмотрим, например, такие исходные данные для расчёта схемы:

измеряемая деформация $\varepsilon = 10^{-3}$;

используемый гальванометр имеет внутреннее сопротивление R = 50 Ом и допускает ток $J_Г$ = 1.5 мА;

используе мые датчики ФКПА-20-100 допускают ток Jg = 300 мА и имеют коэффициент тензочувствительности S = 2.

Для безусилительных схем необходимо применять мощные датчики (сопротивлением 1,5...50 Ом) для снижения сопротивления плеч моста. Поэтому, если нет мощных датчиков, плечи рассчитываемого моста (рис. 53) будем собирать из двух параллельно соединенных датчиков ФКПА-20-100, чтобы иметь общее сопротивление плеча 50 Ом. Соответственно допустимый ток в плече для фольговых датчиков увеличится до 600 мА. Определим напряжение питания моста:

$$U_{Г} = 2U_{Г} = 2UgR_{плеча} = 2 \cdot 0,6 \cdot 50 = 60\ B.$$

Вычислим выходной ток гальванометра при условии четырех активных датчиков и относительной деформации деформаций ε = 10^{-3}:

$$J_{Г} = \frac{U_{m}}{4} \cdot S \cdot \varepsilon \cdot \frac{1}{R_{плеча} + R} = 4 \cdot \frac{60}{4} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{50 + 50} = 1,2\ мкА.$$

В схеме предусмотрены балансировочное устройство со шкалой (*Rб* = 1кОм) и тарировочный резистор R_T с переключателем *К*, включенный параллельно плечу. Тарировочный резистор создаёт разбаланс мостовой схемы заданной величины, что позволяет контролировать в любой момент масштаб измерения.

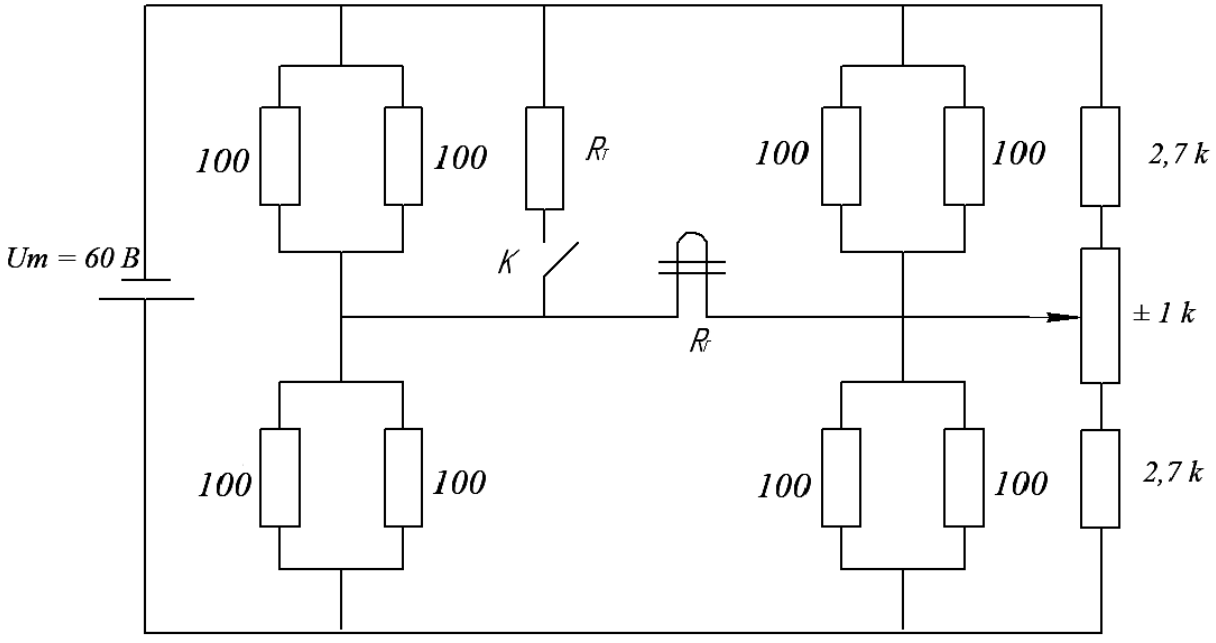


Рис. 53. Безусилительная схема постоянного тока

Для увеличения точности измеряемого процесса можно выбрать высокочувствительный гальванометр, но с учётом величины допустимого тока, которая не должна превышать 0,3 мА (при соответствующем расчёте схемы).

Как правило, безусилительные схемы на мощных (малоомных) фольговых датчиках выполняются при равенстве сопротивлений плеч моста. С точки зрения достижения максимальной чувствительности схемы в этом случае оптимальным будет соотношение

$$R_Г = R_{плеча}.$$

Для увеличения надёжности схемы следует стремиться собирать мост с одним датчиком в плече. Гальванометры и датчики следует подбирать для безусилительных схем с сопротивлением не более 30... 50 Ом.

Безусилительные схемы, использующие метод разбаланса, требуют стабилизированного напряжения источника питания. Кроме того, затраты энергии безусилительных схем значительно превышают экономические показатели схем с тензоусилителями. Так, в рассматриваемом примере

$$P = U_m J_m = 60 \cdot 1,2 = 72\ Вт,$$

где

$$J_m = \frac{U_m}{R_{плеча}} = \frac{60}{50} = 1,2\ А.$$

Безусилительные схемы легко собираются, удобны в использовании но их большим недостатком является выход из строя измерительного гальванометра при обрыве или при коротком замыкании цепи. Это негативно сказывается на всём процессе испытаний машины, так как в этом случае приходится производить полную переналадку всего измерительного комплекса.

Предположим, что в плече *R1* произошёл обрыв. Тогда, исключая промежуточные выкладки в выводе формулы, для данного случая ток, текущий через гальванометр, будет:

$$J_m = \frac{0,4U_m}{R_{плеча} + R_Г} = \frac{(0,4 \cdot 60) \cdot 4}{50 + 50} = 240\ мА.$$

В случае же короткого замыкания любого из датчиков или в коммутирующих цепях ток будет ещё больше.

В мостах переменного тока без усиления в качестве нуль-индикатора, как правило, используются оптические вибрационные гальванометры. Недостатком этих устройств является отсутствие возможности определить знак разбаланса.

Область использования безусилительных схем при исследованиях и испытаниях автомобилей довольно широка. Чаще всего они применяются при дорожных или полигонных испытаниях автомобилей, когда нет возможности применения портативных электростанций.

5.7. Измерительные мостовые схемы с тензоусилителем

В большинстве случаев сигнала, снимаемого непосредственно с измерительной диагонали моста, оказывается недостаточно для работы регистрирующей системы измерительного прибора. Иными словами мощность измеряемого сигнала не соответствует мощности, потребляемой измерительным прибором. Примерами могут служить приборы с автоматическим уравновешиванием моста и с записью магнитоэлектрическими осциллографами. Регистраторами динамических процессов в осциллографах служат петлевые или рамочные гальванометры.

Одной из основных характеристик гальванометров является полоса рабочих частот. Чем шире полоса рабочих частот, тем больший ток гальванометр требует для своего отклонения.

Например, гальванометр, имеющий рабочую полосу частот 0...200 Гц и внутреннее сопротивление $R_Г$ = 12 Ом, нуждается в рабочем токе $J_Г$ = 50 мА. Это соответствует напряжению на гальванометре

$$U_Г = J_Г R_Г = 0{,}05 \cdot 12 = 0{,}6 B = 600\ мВ .$$

Если использовать этот гальванометр непосредственно в измерительной диагонали мостовой измерительной схемы с одним рабочим датчиком, то через него потечет ток

$$J_Г = \frac{U_m}{4} \cdot S \cdot \varepsilon \cdot \frac{1}{R_Д + R_Г} = \frac{12}{4} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{12 + 200} = 28\ мкА.$$

Эта величина примерно в 2000 раз меньше потребной. Поэтому в данном случае необходимо использовать усилитель.

Если мостовые схемы без усиления характеризуются величиной тока $J_Г$ в гальванометре, то схемы с тензоусилителями, у которых входное сопротивление на несколько порядков выше, чем $R_Д$, оцениваются напряжением U в измерительной диагонали моста

$$U = \frac{U_m}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R} = \frac{U_m}{4} \cdot S \cdot \varepsilon = \frac{12}{4} \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 6\ мВ.$$

По напряжению для рассматриваемого примера требуется усиление сигнала в 100 раз, а по мощности в 200000 раз.

Существующие электронные тензоусилители имеют высокие рабочие характеристики, хорошую стабильность и удовлетворительную надёжность. Их недостатком следует считать низкую экономичность по потребляемой электроэнергии,

большие габариты, сильную подверженность вибрациям и воздействию влаги.

Компактные транзисторные усилители обладают высокой экономичностью по энергозатратам, питаются в основном постоянным током 24 В, что удобно для дорожных испытаний, имеют малые габариты и вес, удобны в эксплуатации.

Мостовая схема с усилителем принципиально не отличается от безусилительной. Надо только учитывать, что составлять следует выносной полумост, так как вторая “половинка” моста, балансировочные реохорды, тарировочные устройства и миллиамперметры (или милливольтметры) для визуального наблюдения за разбалансом моста монтируются обычно в усилителе.

При эксплуатации тензоусилительных схем много внимания приходится уделять входным цепям тензоусилителя. К входным цепям, кроме самих тензодатчиков, относятся соединительные кабели, балансировочные и масштабные устройства. Выходными цепями считаются устройства, согласующие выход усилителя с характеристиками регистрирующих приборов.

С целью уменьшения погрешностей при балансировке моста пределы регулировки не должны превышать ± 0,3…1,0 % номинального сопротивления тензодатчиков. Расширение пределов балансировки выше установленных паспортными данными на тензоусилитель ведёт к уменьшению точности сбалансированного состояния моста, так как одному и тому же углу поворота регулятора будет соответствовать большее перекрытие по сопротивлению.

Разберем пример. Пусть активный и компенсационный датчики имеют номинальное сопротивление 200 Ом. Предположим, что по каким-то причинам компенсационный датчик между опытами снизил свое сопротивление до 195 Ом. Если балансировочное устройство имеет широкие пределы, то мост сбалансируется. Но это будет означать, что и сопротивление активного датчика стало 195 Ом за счёт включения параллельно ему пассивного балансировочного устройства. Это приведет к снижению действительного коэффициента тензочувствительности примерно на 2,5 % и изменит масштаб измерений на ту же величину. Аналогичное положение возникает и при изменении номинального сопротивления активного (рабочего) датчика.

В практике тензометрирования иногда случаются ситуации, когда при исправных усилителе и измерительной схеме мост не балансируется. Наиболее вероятной причиной этого является разброс сопротивлений активного и компенсационного датчиков, превышающий пределы регулировки балансировочным устройством. В таком случае можно к активному или компенсационному датчикам подключить резистор параллельно с сопротивлением 30...100 кОм или последовательно с сопротивлением 0,5...2 Ом, после чего ввести поправку в масштаб измерений. Если резистор подключается к активному датчику, то снижение тензочувствительности можно определить из выражений

$$\Delta S = \frac{R_Д}{R_{пар}} \cdot 100; \qquad \Delta S = \frac{R_{посл}}{R_Д} \cdot 100.$$

Указанные условия баланса справедливы для мостов постоянного тока, а в усилительных схемах переменного тока необходимо дополнительно учитывать балансировку реактивных (ёмкостных и индуктивных) сопротивлений.

При установке внутри усилителя (рис. 54) полумоста из датчиков *Rз* и *R4* ёмкости $C_3 = C_4$ имеют незначительную и стабильную величину. Индуктивные сопротивления для несущих частот до 50 кГц тоже имеют малую величину, которой обычно пренебрегают. Ёмкости $C_1 = C_2$ определяются суммой ёмкостей тензодатчиков выносного полумоста, кабелей, дополнительных проводников и устройств. Они и являются источниками погрешностей.

Задавая несущую частоту $f_{нес}$ в кГц, ёмкость C в пикофарадах, а сопротивление в килоомах, можно подсчитать реактивное ёмкостное сопротивление по выражению

$$Z_c = \frac{10^6}{2\pi \cdot f_{нес} C}.$$

Следует иметь в виду, что ёмкость тензодатчиков может колебаться от 20 до 100 пФ, а ёмкость экранированного соединительного провода находится в пределах 10...300 пФ на метр длины.

Предположим, что один из проводов, соединяющих датчики с усилителем, длиннее другого на 1 метр. В этом случае он будет иметь ёмкость C_1 на 160 пФ больше.

Средняя величина несущей частоты усилителей может быть различной, но обычно она составляет около $f_{нес}$=10 кГц.

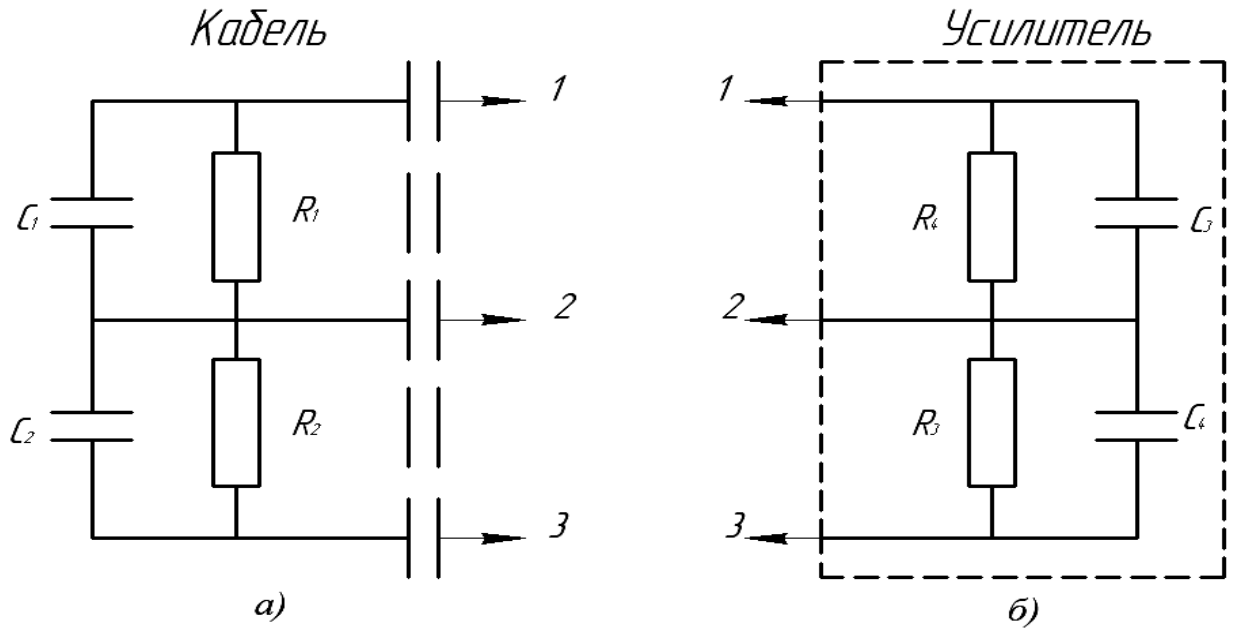


Рис. 54. Выносной и приборный полумосты

Тогда величина ёмкостного сопротивления Zc может быть подсчитана как

$$Z_c = \frac{10^6}{2\pi \cdot 10 \cdot 160} = 99{,}5 \ кОм.$$

Включение параллельно датчику такого сопротивления вызовет значительный разбаланс моста по ёмкости, что, в свою очередь, нарушает режим работы канала усилителя и уменьшает масштаб измерения. Поэтому необходимо тщательно балансировать усилительные мостовые схемы по реактивному сопротивлению, а при отсутствии в усилителе ёмкостной балансировки пользоваться только заводскими кабелями или дополнительными проводами малой длины.

Важную роль при записи динамических процессов с помощью усилительных схем играет правильное использование тарировочных устройств, подающих на вход усилителя при отключенных тендзодатчиках напряжение, строго соответствующее заданной деформации. Главное достоинство тарировочного сигнала заключается в обязательном соответствий заданного значения деформации току (или напряжению) контрольного отклонения, несмотря на изменение коэффициентов усиления в каждом канале усилителя, изменения величины питающего напряжения и влияния других факторов. Тарировочный сигнал позволяет осуществить шесть основных операций.

1. Если канал усилителя работает стабильно и линейно, масштаб измерений можно определять по, так называемой, «цене контрольного сигнала». Вначале проводят тарировку обычным способом и строят график, а затем включают контрольный сигнал и на тарировочном графике отмечают точку, соответствующую заданной деформации. Величина фактической деформации, равная этому сигналу, и будет «ценой контрольного сигнала». Например, при проведении тарировки на усилителе ТА-5 при установке масштабного переключателя в положение $0{,}5 \cdot 10^{-3}$ было установлено, что напряжению σ = 900 кг/см² соответствует отклонение гальванометра на 95 делений, а при установке переключателя в положение “К” – на 100 делений. Тогда «цена контрольного сигнала»

$$N = \sigma \cdot \frac{n_k}{n} = 900 \cdot \frac{100}{95} = 947 \ {кг}/{см^2},$$

где σ = 900 кг/см² – напряжение балки;

n – положение гальванометра, соответствующее напряжению σ;

$n_к$ – отклонение гальванометра при подаче контрольного сигнала.

2. Линейная работа усилителя гарантируется до выходного тока, равного контрольному сигналу. Если ток в процессе измерений стал превышать эту величину, то необходимо установить масштабный переключатель усилителя в следующее

положение. Для хорошо проверенного усилителя можно умножить прежнее значение N на коэффициент перехода переключателя, равный отношению масштабов последующего предела к предыдущему. Этим удается избегать повторения операций по определению “цены деления контрольного сигнала”.

3. При записи измеряемого процесса с помощью тарировочного сигнала необходимо в начале и в конце опыта записывать нулевые линии. Если они не совпадут, опыт следует повторить после устранения причин погрешностей. В ответственных экспериментах следует пользоваться устройством автоматической подачи тарировочного сигнала через равные промежутки времени. Как правило, в усилителях эти устройства в течение 0,1 секунды записывают нулевую линию и контрольный сигнал, а в последующие 0,9 секунд – исследуемый процесс. Подача такого сигнала идет последовательно по всем каналам, что облегчает обработку записанных процессов.

4. На практике может создаться положение, когда невозможно провести тарировку перед началом опытов, в этом случае масштабные переключатели устанавливаются на пределы, несколько превышающие ожидаемые деформации, и проводят эксперименты с записью тарировочных сигналов. Величину N определяют после окончания измерений. В крайних случаях можно вообще обойтись без тарировки, используя паспортные данные о величине коэффициента тензочувствительности и его разбросе. Точность результатов в этом случае снижается.

5. При коммутации измерительных схем с усилителем следует иметь в виду, что активный датчик нужно подключать к соответствующим выводам усилителя (как правило, номера 1 и 2), а компенсационный – к выводам 2 и 3, в этом случае деформация активного датчика от сжатия будет давать выходной ток, совпадающий по направление с тарировочным сигналом.

6. При использовании усилителя необходимо применять датчики с номинальным сопротивлением, указанным в инструкции на эксплуатацию. Несоблюдение этого условия ведёт к появлению погрешностей измерения. При пониженном сопротивлении уменьшается цена контрольного сигнала и возникает нестабильность усиления при колебаниях напряжения питания. При увеличении сопротивления появляются помехи в выходных цепях усилителя, что ведёт к искажению качества регистрации сигналов.

Выходные цепи усилителей также влияют на точность измерения. Линейность характеристики усилителя сохраняется только при условии правильного согласования выходного сопротивления усилителя с нагрузкой – гальванометром.
Замена гальванометра, изменения токовой нагрузки, подключение различных регистраторов не позволяют поддерживать постоянной выходную характеристику канала усилителя. Поэтому часто применяют согласующие (юстировочные) сопротивления или универсальные магазины сопротивлений.

Выходной сигнал усилителя можно подвергать электрическому интегрированию. Это удобно в тех случаях, когда требуется получить суммарный сигнал или среднюю величину за весь период измерений. Примером может служить запись тягового усилия на крюке автомобиля. Иногда сигнал на выходе подвергается

электрическому дифференцированию, что позволяет выделить скорость нарастания процесса. Двукратное дифференцирование позволяет записывать ускорение деформации. Интегрирующие и дифференцирующие *RC*-цепочки уменьшают полезный сигнал в сотни раз, поэтому необходимо применять дополнительное средства усиления.

При одновременном использования нескольких усилителей могут возникнуть помехи в виде наводок. Наводка обычно появляется на входе всех или нескольких каналов усилителя в виде сигнала с частотой в несколько десятков герц. Причина этой помехи состоит в некоторой разности несущих частот усилителей. Для борьбы с этим следует разделять выносные мосты и коммутационные цепи. Полностью наводка исключается только синхронизацией несущих частот различных усилителей путём соединения между собой экранированным проводом.

5.7.1. Тензометрические усилители

Усилителем мощности (или просто усилителем) называется устройство, в котором мощность выходного сигнала превышает мощность входного. Эффект усиления по мощности достигается в усилителях за счёт энергии некоторого вспомогательного источника (рис. 55), то есть входной сигнал усилителя X_1 лишь управляет передачей энергии от источника на выход усилителя. Поэтому усилители являются активными элементами измерительных схем.

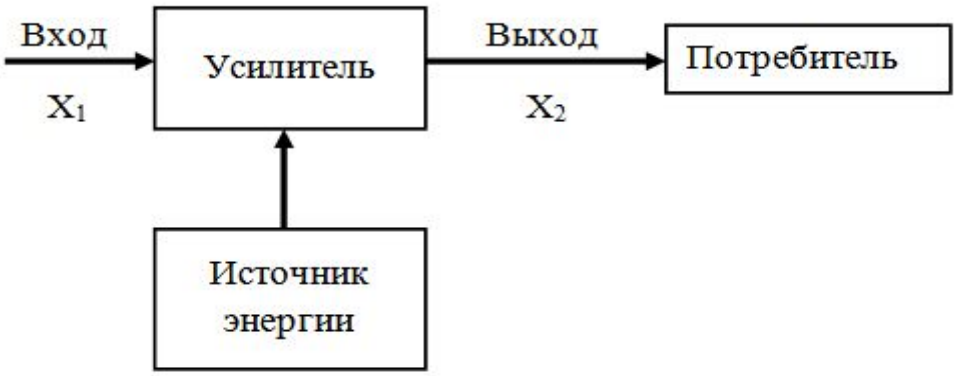


Рис. 55. Схема построения усилителя

В зависимости от характера вспомогательного источника энергии различаются механические, гидравлические, пневматические, электрические и комбинированные (электрогидравлические, электропневматические) усилители.

Электрические усилители сигналов, в свою очередь, можно разделить на две большие группы: усилители с подвижными частями (релейные, электромашинные) и усилители, не содержащие подвижных частей (электронные, ионные, полупроводниковые, магнитные, диэлектрические). В электрических усилителях входная и выходная величины имеют электрическую природу. В зависимости от характера входной величины эти приборы делятся на усилители переменных и

постоянных токов и напряжений. В зависимости от структуры электрические усилители делятся на однокаскадные и многокаскадные, а также на усилители с обратными связями и усилители без обратных связей.

Использование, обратных связей даёт возможность изменять характеристики усилителей в измерительных схемах. Например, положительная обратная связь позволяет увеличить коэффициент усиления, а отрицательная обратная связь − уменьшить инерционность усилителя и увеличить стабильность его статической характеристики. К основным характеристикам усилителей относятся:

1) выходная мощность усилителя;
2) мощность, потребляемая от источника энергии;
3) коэффициент полезного действия усилителя;
4) коэффициент усиления;
5) входное и выходное сопротивления усилителя;
6) собственные шумы усилителя (сигнал на выходе усилителя при равном нулю входном сигнале);
7) пороговая чувствительность усилителя (минимальное значение входного сигнала, при котором выходной сигнал надёжно отличается на фоне собственных шумов усилителя);
8) статическая характеристика усилителя;
9) инерционность усилителя.

Выходная мощность, потребляемая мощность и коэффициент полезного действия характеризуют энергетические свойства усилителя.

Коэффициент усиления по мощности для любого усилителя всегда должен быть больше единицы. Входное и выходное сопротивления характеризуют усилители только по электрическим сигналам. Их следует учитывать при решении вопроса о согласовании усилителя с предыдущим и последующим элементами измерительной схемы. Правильное согласование по входу и выходу имеет большое значение для высококачественной работы как самого усилителя, так и всей измерительной схемы. Например, усилители с низкоомным входом (полупроводниковые, магнитные, релейные) нельзя использовать для усиления сигналов с большим выходным сопротивлением (фотоэлементы, ёмкостные датчики и пр.).

В случае, когда статическая характеристика усилителя имеет плавные очертания, усилитель называют усилителем пропорционального действия. Часто в измерительных схемах используются усилители, выходная величина которых изменяется скачком при некоторых значениях входной величины. Статическая характеристика таких усилителей имеет разрывы первого рода. Усилители с разрывными статическими характеристиками называются усилителями релейного действия.

Оценка инерционности усилительных устройств производится по их динамическим характеристикам (временным или частотным).

Многие усилители (электромашинные, магнитные и др.) обладают заметной инерционностью, которая должна быть учтена при расчёте измерительной схемы в целом. Некоторые усилители приближенно могут считаться апериодическими звеньями первого порядка. Тогда динамические свойства таких усилителей

характеризуются постоянной времени и коэффициентом передачи. Если постоянная времени такого усилителя в десятки раз меньше постоянных времени других звеньев измерительной цепочки, то такой усилитель считается безынерционным звеном (как в автоматических системах).

5.7.2. Электромагнитные реле

Реле принято называть устройства, в которых при определенных значениях входного сигнала происходит скачкообразное изменение выходной величины.
Реле получили исключительно широкое распространение в автоматических системах измерений. Они используются для коммутации электрических цепей, усиления мощности, для генерации импульсов и т. д. Особенностью реле, как усилителя мощности, является резко нелинейный характер статической характеристики. Реле могут быть механические, гидравлические, пневматические, электрогидравлические и т. д. Наиболее широко применяющиеся электрические реле. Входной сигнал (электрический ток, напряжение, мощность, фазовый сдвиг двух переменных напряжений) воздействует на воспринимающую часть реле. Исполнительная часть реле непосредственно обеспечивает скачкообразное изменение выходной величины при достижении входным сигналом заданных значении

В зависимости от принципа действия исполнительной части все реле делятся на контактные и бесконтактные. В контактных реле скачкообразное изменение выходной величины (обычно тока или напряжения в управляемой цепи) обеспечивается замыканием, размыканием или переключением некоторой контактной группы. В бесконтактных реле скачкообразное изменение тока или напряжения достигается за счёт резкого изменения какого-либо параметра электрической цепи: активного сопротивления, ёмкости, индуктивности и т. д.

В зависимости от принципа действия воспринимающей части реле делятся на электромагнитные, магнитоэлектрические, электродинамические, индукционные и т. д. Наибольшее распространение получили электромагнитные контактные реле постоянного тока, принцип действия которых основан на взаимодействии ферромагнитного якоря с магнитным полем, создаваемым током, протекающим по обмотке реле.

В зависимости от величины коммутируемой мощности реле, как усилители, делятся на четыре группы:

1) реле для коммутирования цепей малой мощности (до 50 Вт постоянного тока или до 120 Вт переменного тока частотой 50…500 Гц);
2) реле для коммутирования цепей средней мощности (до 150 Вт постоянного тока или 500 Вт переменного тока);
3) реле для коммутирования цепей повышенной мощности (более 150 Вт постоянного тока или 500 Вт переменного тока);
4) контакторы (коммутируемая мощность более 500 Вт).

Нейтральные электромагнитные реле не реагируют на знак входного сигнала– их срабатывание происходит одинаково при любом направлении тока в обмотке.

Между тем во многих устройствах необходимы реле, реагирующие на знак вход направления тока в обмотке реле. Такие реле называются поляризованными. Основные свойства поляризованных реле обусловливаются наличием вспомогательного источника энергии (постоянного магнита или электромагнита), поляризующего (подмагничивающего) магнитную систему реле. Результирующее усилие или момент, приводящие в движение якорь поляризованного реле, образуются в результате взаимодействия двух магнитных потоков: потока, создаваемого током, протекающим по обмотке реле, и поляризующего потока, создаваемого вспомогательным источником энергии. Изменение направления тока в обмотке при таких условиях вызывает изменение направления сил, действующих на якорь. Работа по перемещению якоря частично производится за счёт энергии поляризующего источника, в результате чего чувствительность и быстродействие поляризованных реле значительно выше нейтральных. Недостатком поляризованных реле являются относительно большие габариты, непропорционально возрастающие при увеличении мощности выходного сигнала. Поэтому поляризованные реле обычно выполняются маломощными.

5.7.3. Магнитные усилители

Магнитные усилители, широко применяемые в системах автоматического регулирования, представляют собой выходные каскады усилителей, имеющих выходную мощность от единиц до сотен ватт. Магнитные усилители хорошо сопрягаются, в частности, с нагрузкой в виде двигателей переменного тока.

Каскады предварительного усиления при использовании в качестве выходного каскада магнитного усилителя выполняются на полупроводниковых элементах.

Магнитный усилитель представляет собой статическое устройство, действие которого основано на использовании существенной нелинейности кривой намагничивания ферромагнитного материала.

Статической характеристикой магнитного усилителя называется зависимость тока в сопротивлении нагрузки от тока управления усилителя при установившемся режиме работы.

В большинстве практических задач требуется, чтобы статическая характеристика магнитного усилителя являлась симметричной относительно начала координат, чтобы изменение полярности тока управления магнитного усилителя вызывало сдвиг фазы тока или напряжения на выходе усилителя на 180°. Такую статическую характеристику имеют двухтактные магнитные усилители. Большинство из них содержит два одинаковых однотактных магнитных усилителя, каждый из которых собран на двух сердечниках.

Для увеличения коэффициента усиления магнитного усилителя и уменьшения его постоянной времени применяют обратную связь. Обратная связь может быть отрицательной и положительной. Чаще всего в магнитных усилителях применяется положительная обратная связь, которая приводит к увеличению коэффициента усиления магнитного усилителя.

Магнитные усилители имеют ряд достоинств: отсутствие подвижных частей, высокая надёжность, высокий коэффициент усиления по мощности, простота суммирования нескольких сигналов, быстрая готовность после включения, высокий коэффициент полезного действия.

Основным недостатком магнитных усилителей является их высокая инерционность, которая частично устраняется применением специальных материалов и усложнением схем магнитных цепей.

5.7.4. Электронные усилители

В практике измерений применяются электронные усилители двух типов: усилители с непосредственной связью между каскадами (их часто называют усилителями постоянного тока) и усилители переменного тока.

Питание усилителей постоянного тока осуществляется от источников постоянного напряжения. Усилители переменного тока могут питаться как от источников постоянного тока, так и от источников переменного тока.

Выбор усилителя предопределяется сигналами от датчиков, измерительной электрической схемой и структурным построением ИИС.

В системах с обратной связью от усилителей требуется высокая чувствительность, тогда как амплитудные и частотные характеристики и строгое постоянство коэффициента усиления не имеют решающего значения. В системах прямого преобразования обязательна высокая стабильность работы усилителя и особенно коэффициента усиления, обязательна также линейная амплитудная характеристика и широкая полоса пропускания частот.

Поскольку подавляющее большинство методов испытаний автомобилей построены по принципу получения, преобразования и обработки электрических сигналов, усилители в составе ИИС тоже должны быть построены на этой основе.

Усилители постоянного тока имеют достаточно широкую полосу пропускания частот (до 200 кГц), но имеют невысокие показатели стабильности, так как на них оказывают влияние температура, колебания напряжения питания, влажность и изменение параметров с течением времени. В основном они применяются в лабораторно-стендовых условиях для усиления широкополосных сигналов с постоянной составляющей.

В усилителях постоянного тока 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 этих усилителей следует отнести повышенный дрейф нуля, то есть изменение сигнала на выходе усилителя при неизменном сигнале на входе, и слабую помехоустойчивость. Для уменьшения дрейфа нуля в усилителях применяются высококачественные детали и материалы, специальные схемы температурной компенсации и стабилизированные источники

питания. Но все это связано с увеличением их стоимости. Примером тензоусилителей постоянного тока являются такие отечественные приборы, как «Топаз-3», «Топаз-4», «ПА-1». Зарубежные тензоусилители в настоящее время, как правило, монтируются в соответствующих информационно-измерительных системах в комплекте со специализированным компьютером.

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.

Величина несущей частоты выбирается так, чтобы сигнал проходил в относительно узкой полосе частот. Это повышает качество работы усилителя и даёт 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. Но их нельзя располагать на большом расстоянии от исследуемого объекта, так как при большой длине соединительных кабелей появляются искажения и взаимное влияние между канала- ми.

Существуют схемы, в которых применяются 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 решаются вопросы использования радиотелеметрических схем для передачи измерительной информации по радио. При проведении измерений на подвижных деталях отпадает необходимость применения токосъёмных устройств. Импульсный характер получаемой информации особенно важен при подаче её 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 НМЛУ-440. По окончании испытаний информация из накопителя подаётся непосредственно в ЭЦВМ для обработки. Усилители переменного тока отличаются малыми габаритами, простотой управления, стабильностью работы, но полоса пропускания частот у них ограничена. Поэтому они используются для процессов с колебаниями низшей гармоники колебаний от 20 Гц и до частоты высших гармоник 8…10 кГц.

Усилители переменного тока на несущей частоте имеют улучшенные характеристики, значительно универсальнее и поэтому более распространены.

На рис. 56, *а* показана блок-схема одного канала усилителя, а на рис. 56. *б* − последовательность преобразования сигнала в процессе усиления.

Генератор несущей частоты ГНЧ выдает сигнал с частотой 0,5…50 кГц и питает канал усиления. Амплитудный модулятор АМ (в виде мостовой или дифференциальной схемы) модулирует сигнал и передает его в усилитель переменного тока. Усиленные сигналы модулируются в усилителе мощности УМ и передаются в фазовый детектор ФД, где производится демодуляция усиленного сигнала. Кроме того в фазочувствительном детекторе ФД происходит определение знака приращения сигнала от датчика. Фильтр Ф несущей частоты, отфильтровывает постоянную составляющую (несущую частоту) и передает усиленный сигнал на выходное звено указателя Ук и далее в промежуточные звенья ИИС. Эффективность работы этих усилителей предопределяется правильностью выбора характеристик прибора и его несущей частоты.

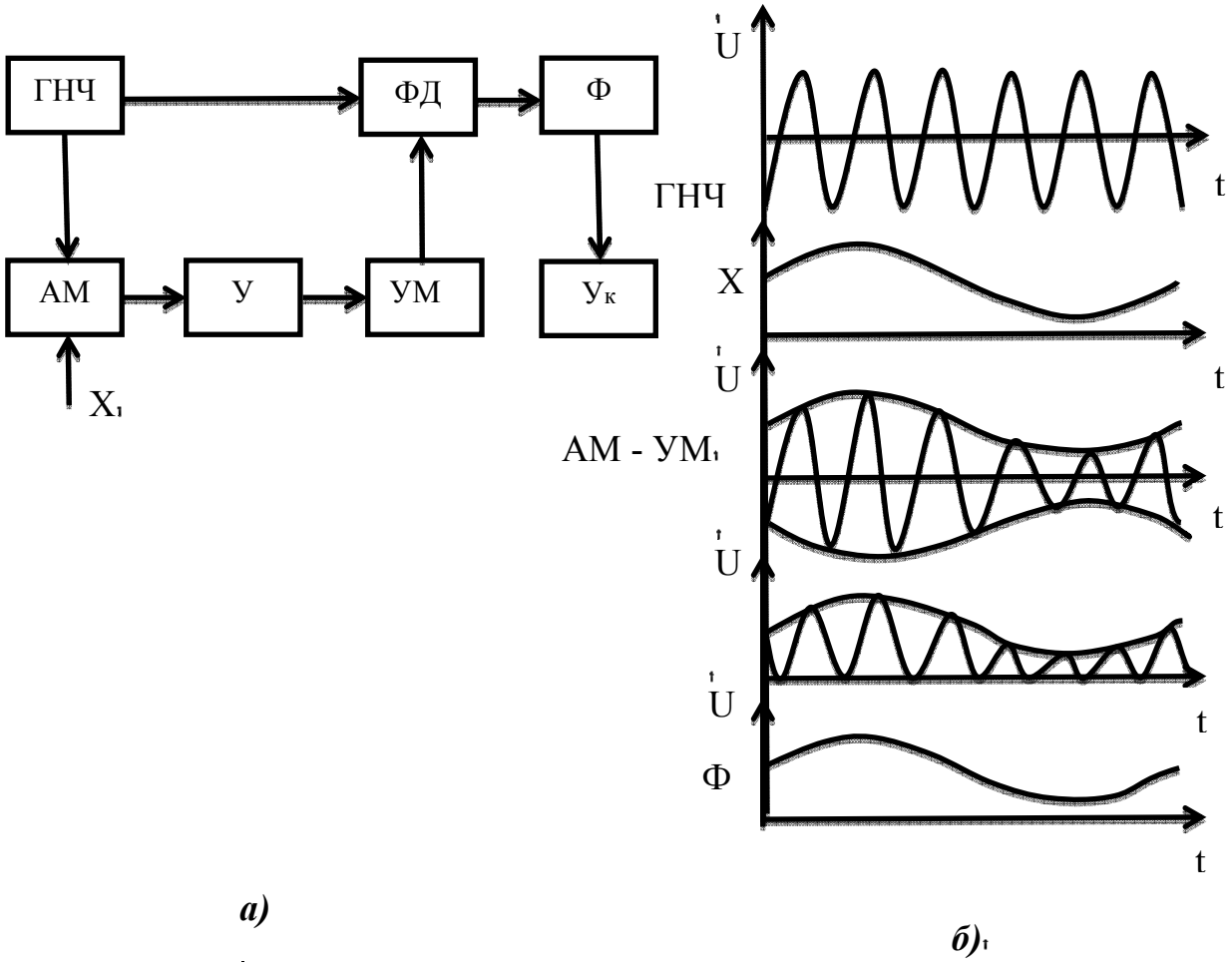


Рис. 56. Блок-схема (*а*) и последовательность преобразования сигналов (*б*) в усилителе на несущей частоте

Важно, чтобы несущая частота превышала наибольшее значение моделирующей круговой частоты не менее, чем в 10…15 раз.

Блок-схема и характеристики импульсного усилителя показаны на рис. 57.

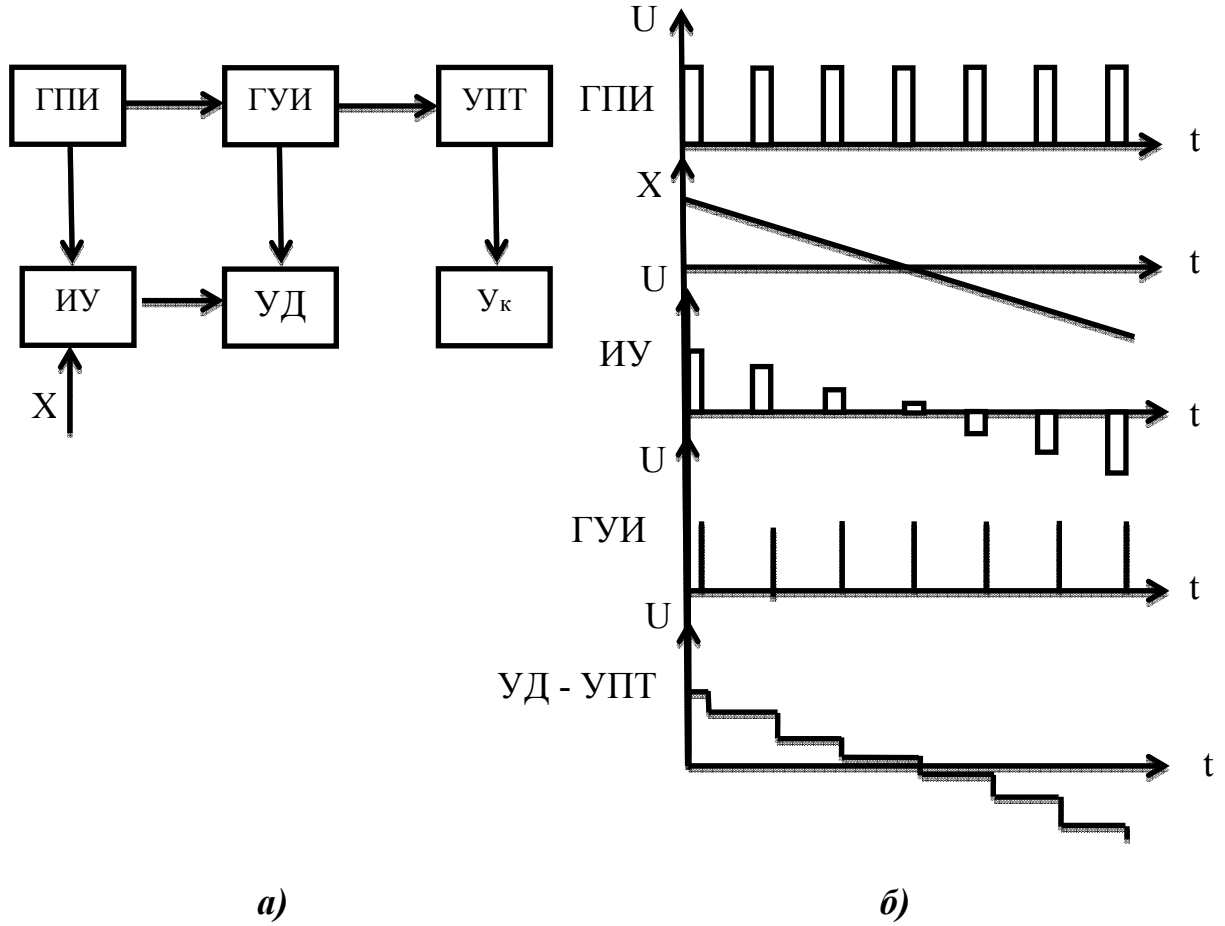


Рис. 57. Блок- схема (*а*) и последовательность преобразования импульсных сигналов (*б*) в импульсном усилителе

Питание такого усилителя производится от генератора прямоугольных импульсов *ГПИ*. Напряжение разбаланса мостовой схемы, вызванное воздействием измеряемой величины *X* модулируется импульсным усилителем *ИУ* и подаётся на управляемый детектор *УД*. Управление этим детектором производится короткими импульсами от генератора управляющих импульсов *ГУИ*.

Выходной сигнал ступенчато изменяется, усиливается в усилителе постоянного тока *УПТ* и выдается в выходное звено указателя *Ук* и далее в промежуточные звенья ИИС. Основными преимуществами импульсных усилителей являются повышенная чувствительность и небольшое потребление энергии. Это особенно важно в многоканальных ИИС, где необходимо временное разделение каналов, для уменьшения их взаимного влияния друг на друга. Все это повышает точность измерений, а также легкость совмещения с ЭВМ.

Следует учитывать, что коэффициент усиления зависит от конструкции усилителя, изменения напряжения питания, температуры окружающей среды и других внешних воздействий. Напряжение питания стабилизировать не составляет

труда, но при этом исключается только одна составляющая вредных воздействий.

Исключить другие воздействия, например, температуру, старение элементов усилителя, как правило, не удаётся.

В тоже время разработаны и успешно применяются несколько способов снижения суммарной погрешности усилителя. Во-первых, − это электрическая градуировка усилителя, то есть автоматическая проверка коэффициента усиления перед измерением и в процесс работы. Во-вторых, − это введение в усилитель глубокой отрицательной обратной связи *ООС*, которая стабилизирует отношение выходного сигнала ко входному.

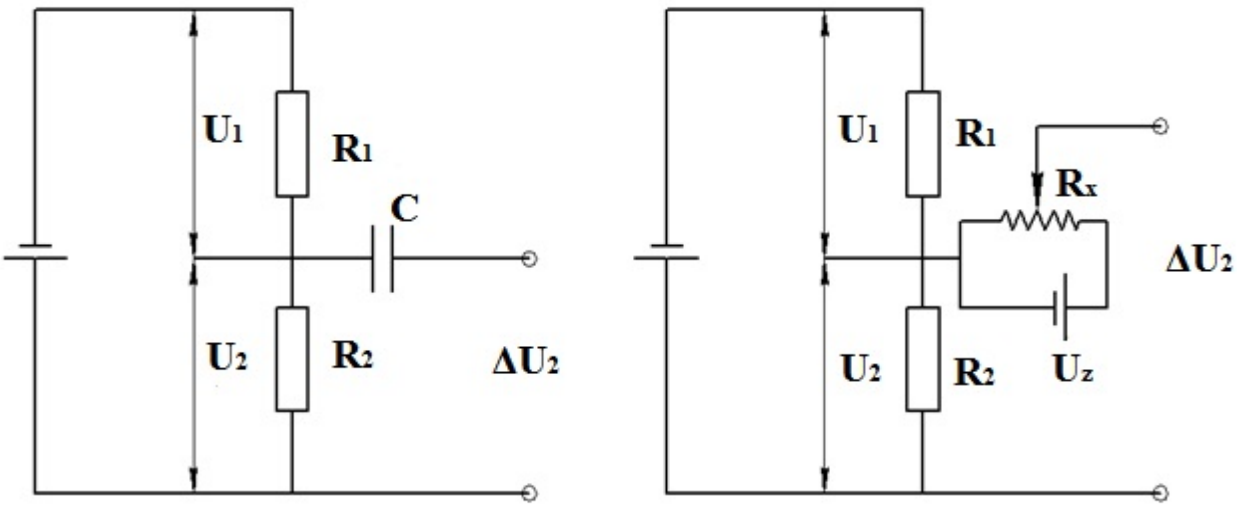
Развитие интегральной электроники привело к тому, что при построении электронных цепей ИИС проектировщики имеют дело не с отдельными элементами, а с готовыми функциональными узлами (микросхемами).

Операционными усилителями называются тензометрические усилители постоянного тока на интегральной основе, имеющие коэффициент усиления от нескольких тысяч до десятков тысяч единиц с согласованными уровнями постоянного напряжения на входе и выходе. Во всех случаях операционные усилители компактны, легко монтируются и имеют большой коэффициент усиления.

В настоящее время усилители, как отдельные блоки измерительных схем, применяются редко, так как они не требуются при применении компьютеров.

5.8. Потенциометрические измерительные схемы

Кроме мостовой схемы, для измерения разностей потенциалов, вызванных изменением сопротивления рабочего датчика при измерениях динамических процессов, могут использоваться специальные потенциометрические измерительные схемы (рис. 58).



а) *б)*

Рис. 58. Потенциометрические измерительные схемы

На схеме с блокировочным конденсатором *C* (см. рис. 58, *а*) рабочим служит датчик R_2. Его изменение сопротивления, равное ΔR_2, во много раз меньше номинала R_2. Поэтому разность потенциалов ΔU_2 во много раз меньше напряжения на датчике U_2. Для того, чтобы на выходе иметь только величину ΔU_2 напряжение U_2 на рабочем датчике блокируется конденсатором *C*.

На схеме с дополнительным источником питания Ux (см. рис. 58, *б*) компенсация напряжения U_2 производятся подбором величины напряжения Ux с помощью переменного сопротивления R_X. Напряжение на рабочем датчике R_2

$$U_2 = \frac{U \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$

Для получения значения ΔU_2 можно продифференцировать это выражение:

$$\Delta U_2 = U \cdot R_1 \cdot \frac{\Delta R_2}{(R_1 + R_2)^2}.$$

При равенстве номинальных сопротивлений датчика R_1 и балластного сопротивления R_2 будем иметь:

$$R_1 = R_2 = R; \qquad \Delta U_2 = U \cdot \frac{\Delta R}{4R}.$$

Следует отметить, что последнее выражение идентично выражению (5) для мостовой схемы, то есть чувствительность потенциометрических измерительных схем такая же, как и у мостовых. Поэтому потенциометрические схемы применяются для измерений различных динамических процессов и в некоторых случаях даже предпочтительнее мостовых.

5.9. Тензометрические узлы на базе мостовых измерительных схем

Для измерения деформации растяжения или сжатия активный датчик наклеивается вдоль оси действия растягивающей или сжимающей силы (рис. 59), а компенсационный – либо на недеформируемую площадку вблизи активного датчика, либо на исследуемую деформируемую деталь перпендикулярно активному.

При наклейке компенсационного датчика на деталь перпендикулярно активному (см. рис. 59. *а*) измерительной прибор покажет увеличенную деформацию на величину коэффициента поперечной деформации (из-за влияния коэффициента Пуассона μ):

$$\varepsilon = \varepsilon_{прод}(1 + \mu).$$

Если исследуемая деталь при этом может подвергнуться ещё и изгибу, то для замера только растяжения или сжатия датчики нужно наклеивать на противоположных сторонах детали (см. рис. 59, *б* и 59, *в*), соединив их последовательно или параллельно в одном плече моста. В этом случае от деформации изгиба в измерительную диагональ моста сигнал передаваться не будет, так как один датчик будет растягиваться, а другой – сжиматься, то есть у них сигналы будут разного знака.

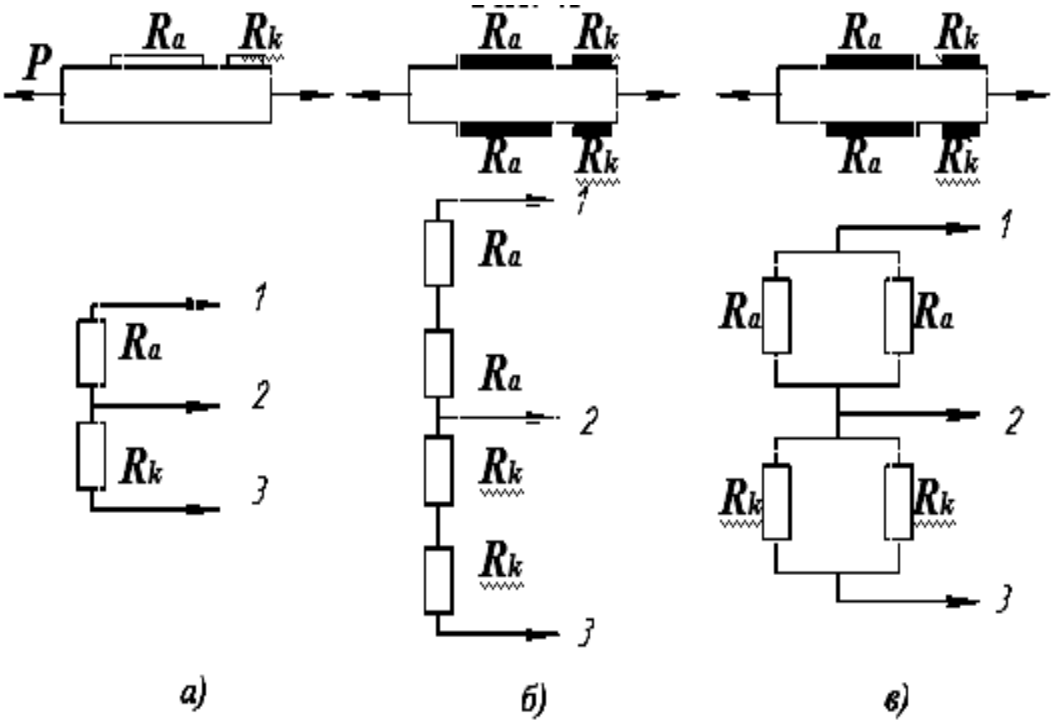


Рис. 59. Схемы расположения и соединения датчиков для измерения растягивающих и сжимающих деформаций

Для измерения деформации детали от изгиба активный датчик наклеивается на изгибаемую поверхность вдоль оси действия деформации изгиба (рис. 60, *а* и рис. 60, *б)*), а компенсационный клеится также, как и в предыдущем случае – либо перпендикулярно рабочему, либо рядом с рабочим, но так чтобы не воспринимать деформации детали.

Предпочтительнее при измерении деформации изгиба использовать схему с датчиками (рабочим и компенсационным), наклеенными на верхнюю и нижнюю поверхности детали (рис. 60, *в*), так как в этом случае оба датчика будут рабочими и, следовательно, вдвое повышается чувствительность моста (удвоенный сигнал в измерительной диагонали) из-за сложения тензоэффектов датчиков, находящихся в смежных плечах моста и испытывающих деформации разного знака – верхний растягивается, а нижний сжимается. От воздействия температуры сигнала в измерительной диагонали моста не будет, так как датчики включены в смежные плечи моста и испытывают деформацию от воздействия температуры одного знака (либо нагреваются, либо охлаждаются) – вычитание тензоэффектов.

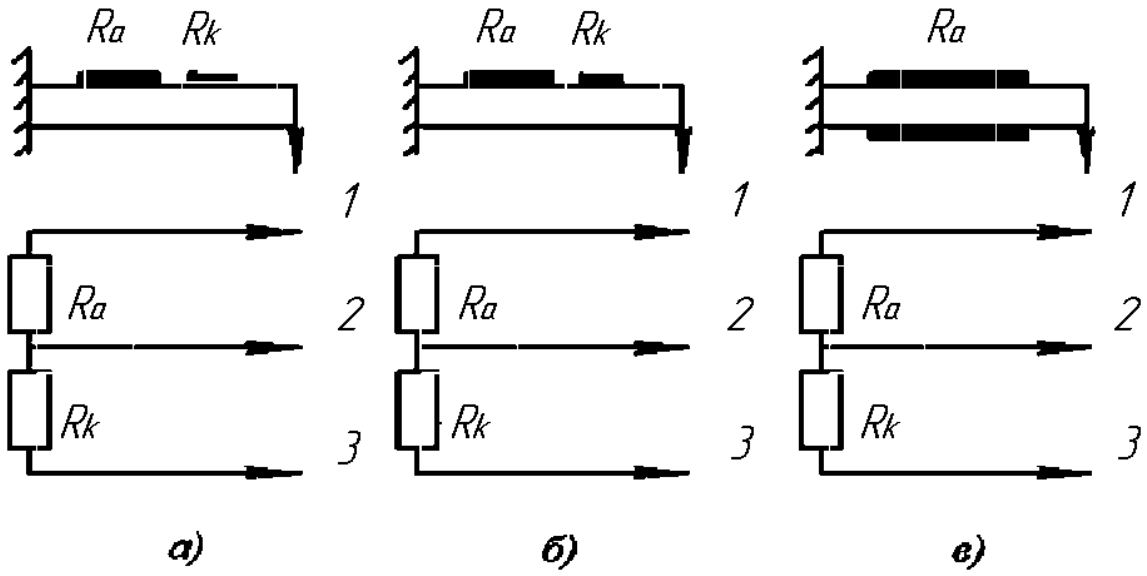


Рис. 60. Схемы расположения и соединения датчиков для измерения деформации изгиба

Для измерения деформации от кручения на круглых валах активный датчик наклеивается под углом 45° к образующей (рис. 61, *а*) в направления действия главного нормального напряжения (растяжения или сжатия), численно равного напряжению кручения. Компенсационный датчик клеится либо перпендикулярно к активному датчику (рис. 61, *б*), либо на недеформируемую поверхность

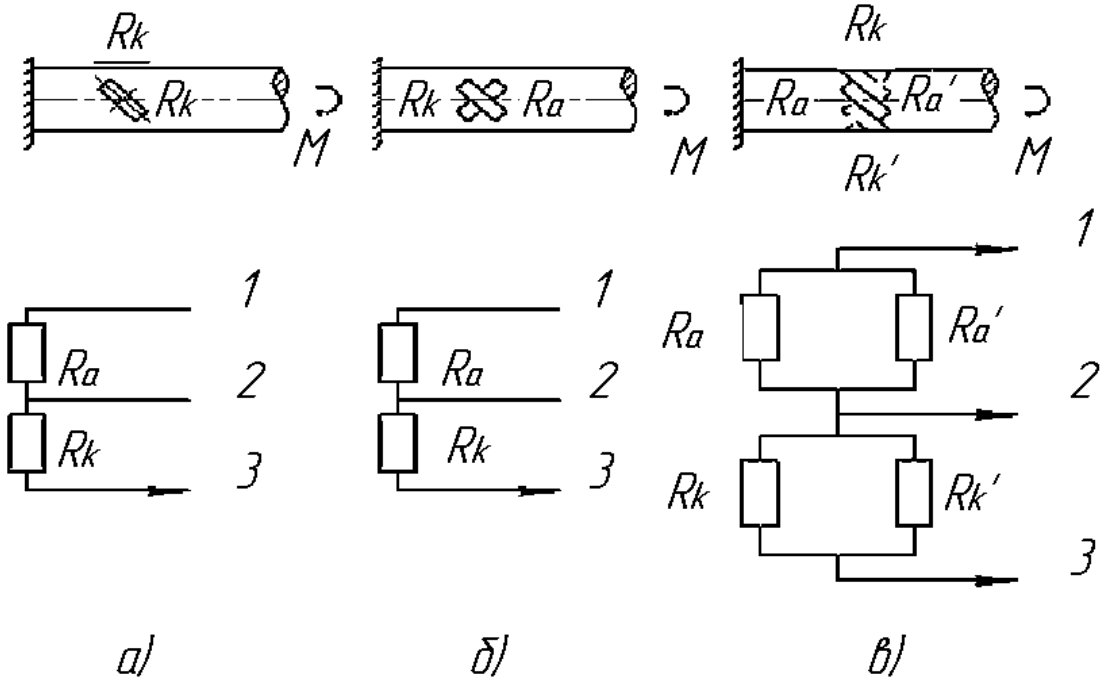


Рис. 61. Схемы расположения и соединения датчиков при измерении деформации от кручения

Схема, изображенная на рис. 61. *а*, применяется редко, так как она восприимчива к деформациям изгиба, растяжения или сжатия. Схема с двумя или более активными датчиками (см. рис. 61, *б* и рис. 61, *в*), расположенными под углами 45° и 135° к оси вала, имеет удвоенную чувствительность (сложение тензоэффектов) и не реагирует на воздействие температуры, так как оба датчика в этих случаях деформируются с одним знаком (вычитание тензоэффектов).

Для деталей, нагруженных различными по характеру силами, обычно выбирается схема, позволяющая наиболее просто и точно измерить требуемую деформацию. Например, необходимо измерить силу сжатия круглого вала, нагруженного, кроме того, изгибающим и крутящим моментами.

Для исключения влияния деформации изгиба и кручения составляется схема из восьми датчиков (рис. 62). Кручение в выбранной схеме исключается, потому что датчики R_1, R_2, R_3, R_4 расположены под углом 45° к оси вала и включены в одно плечо моста, а изгиб исключается с помощью "крестов" R_1-R_2 и R_3-R_4, расположенных противоположно друг другу и включенных в общее плечо моста. Датчики R_5, R_6, R_7, R_8 – вспомогательные (компенсационные).

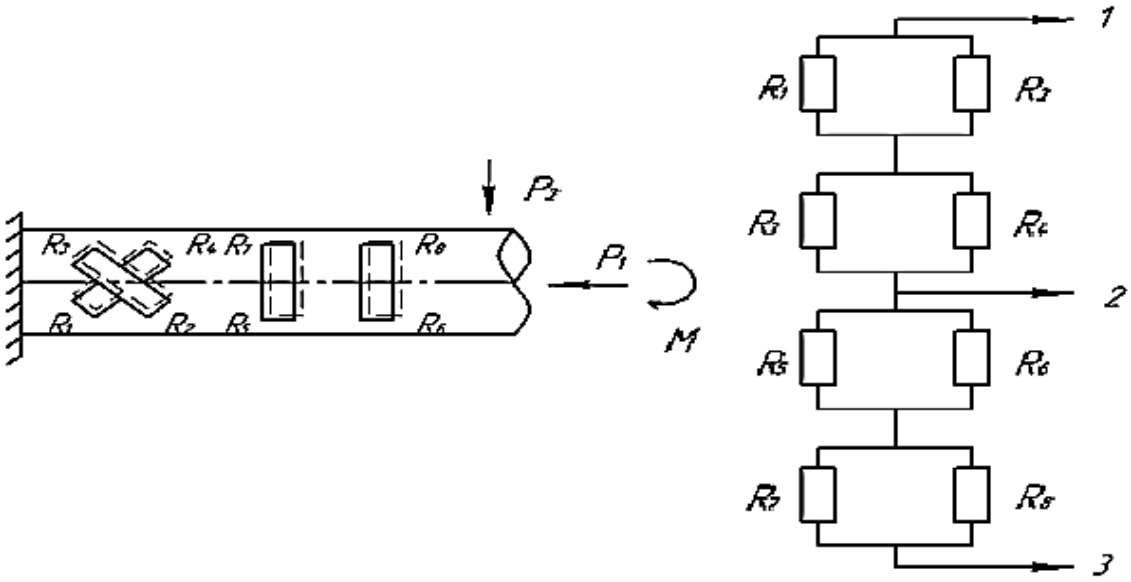


Рис. 62. Схема измерения сил сжатия при сложном нагружении вала

В заключение следует отметить, что любой датчик является входным элементом информационно-измерительной системы. Он преобразует сигнал измеряемой физической величины в сигнал электрической формы, удобный для дальнейшего преобразования. Ко всем датчикам предъявляются жёсткие требования, определяющие точность измерения. Если датчик не обладает необходимой чувствительностью, то какими бы совершенными не были последующие элементы измерительной системы, повысить точность измерения не представится возможным. Недостаточная чувствительность вызывает необходимость применения дополнительных устройств, что приводит к усложнению измерительных систем.

6. РЕГИСТРИРУЮЩАЯ АППАРАТУРА

Выбор измерительной и регистрирующей аппаратуры необходимо осуществлять с позиций современной информационной теории измерений, ибо измерительные устройства принято рассматривать как информационную систему. Знание основных положений информационной теории измерений позволяет наиболее эффективно использовать измерительную аппаратуру, находящуюся в распоряжении экспериментатора.

Существует довольно большое число различной измерительной и регистрирующей аппаратуры, и каждая из них имеет свои особенности и определенную область применения. Очень часто выбор того или иного принципа регистрации определяется скоростью и спецификой протекания измеряемого процесса.

Достоверность полученных в результате проведённого эксперимента результатов в значительной степени зависит от правильного выбора и настройки измерительной и регистрирующей аппаратуры. Первоначально следует установить, какой из её типов наилучшим образом удовлетворяет решению поставленной задачи. Несмотря на то, что выбор регистрирующей и измерительной аппаратуры довольно тесно связан с конкретной задачей и условиями проведения эксперимента, существует ряд признаков, позволяющих наметить некоторый общий подход к выбору такой аппаратуры. В частности, общими являются вопросы выбора носителя информации, построения измерительных схем, характеристик измерителей и регистраторов, входной и выходной мощностей приборов, параметров их точности, методов обработки данных и т. п.

В практике измерений большое признание получил метод применения реальной регулирующей аппаратуры в замкнутой схеме, в которой роль объекта испытаний выполняет его динамическая модель. При этом наиболее широкими возможностями обладают компьютерные динамические модели. Однако при их применении возникает проблема сопряжения модели с реальной обстановкой. Это сопряжение осуществляется с помощью специальных устройств, которые должны удовлетворять определенным требованиям для обеспечения соответствия характеристик модели характеристикам моделируемого объекта с заданной точностью.

В практике экспериментальных исследований и испытаний автомобилей, их агрегатов и систем наиболее часто встречаются следующие физические величины, подлежащие регистрации:

1) механические величины (угловые и линейные перемещения, угловые и линейные скорости и ускорения, усилия, давления и перепад давлений жидкости и газов. расход жидкостей и газов и др.);

2) электрические величины (напряжение, ток, частота и амплитуда периодических колебаний напряжения или тока, ёмкость, индуктивность, активное и реактивное сопротивление электрической цепи и др.)

3) теплофизические величины (температура жидкости, газов и твердых тел, теплоёмкость, теплопередача и др.).

Перечисленные физические величины измеряются при экспериментальных

исследованиях, как в статическом, так и в динамическом режиме работы объекта.

При экспериментальном определении динамических характеристик элементов систем объектов испытаний измерительные и регистрирующие устройства должны содержать в себе устройства, преобразующие сигналы различной физической природы в электрический сигнал, так как практически вся динамическая регистрирующая аппаратура фиксирует только электрические сигналы.

Другим требованием, предъявляемым к измерительной и регистрирующей аппаратуре, применяемой для исследования динамических свойств элементов объектов испытаний, является возможность измерения с необходимой точностью малых отклонений величин при их больших абсолютных значениях. Поэтому в практике таких измерений находит широкое применение компенсационный метод. Однако необходимо отметить, что до настоящего времени осуществление таких измерений в переходном режиме часто вызывает серьезные затруднения.

Большое разнообразие условий, при которых проводятся экспериментальные исследования и испытания автомобилей, способствует развитию и использованию различных типов регистрирующей аппаратуры. Аппаратура одного типа предназначена исключительно для лабораторных экспериментальных работ. Обычно такая аппаратура громоздка, плохо транспортируется, но позволяет осуществлять регистрацию с большой точностью. Другой тип регистрирующей аппаратуры предназначен для экспериментальных работ вне лабораторий, например в дорожных условиях, что требует портативного её исполнения и соответственно малого потребления энергии от источников питания. Кроме того, такая аппаратура должна нормально функционировать при изменении условий её работы в довольно широком диапазоне (при изменении окружающей температуры, атмосферного давления, при вибрациях и т. д.).

Уменьшению габаритов регистрирующей аппаратуры способствовали появление полупроводниковых устройств, миниатюризация отдельных элементов измерительных устройств (микросхемы) и разработка новых методов измерения.

Современная регистрирующая аппаратура достаточно универсальна, но в некоторых случаях возможно применение только специализированных приборов. Применение универсальных регистрирующих приборов расширяет диапазон их использования, их можно применять для различных конкретных измерений.

К регистрирующей аппаратуре предъявляется ряд основных требований:

- сигнал, проходящий через измерительную систему, должен сохранять необходимую информацию, не искажаться и отделяться от ненужной информации;
- входные устройства измерительной системы (датчики) должны потреблять минимальную энергию от объекта измерения, и их подключение не должно нарушать нормальной его работы:
- носитель информации должен иметь достаточный объём для регистрации всех необходимых сведений;
- регистрирующая аппаратура должна обеспечивать получение необходимой информации в наиболее короткие сроки;
- настройка регистрирующей аппаратуры должна быть лёгкой и удобной.

6.1. Магнитоэлектрические осциллографы

Преобразованная в электрический сигнал и подлежащая регистрации измеряемая величина претерпевает в измерительной системе еще одно преобразование с целью её записи на носитель информации. Преобразование и запись информации осуществляется с помощью специальных регистрирующих устройств или, как их иногда называют, конечных преобразователей, различных как по своему принципу действия, так и по возможностям.

До сих пор весьма распространенным регистрирующим устройством является магнитоэлектрический (светолучевой) осциллограф, в котором электрический сигнал преобразуется в параметрическое изображение, полученное в результате изображения информации в виде кривой на ленте (осциллограмме), характеризующей изменение исследуемого процесса во времени.

Принцип осциллографирования заключается в том, что поступающий на вход осциллографа электрический сигнал преобразуется в угловое перемещение миниатюрного зеркальца, на которое падает проходящий через специальную оптическую систему световой пучок от источника света достаточно большой яркости. Этот световой пучок, отражаясь от зеркала и проходя ещё через одну оптическую систему, падает на движущуюся с некоторой постоянной скоростью ленту, имеющую светочувствительный слой. Угловое отклонение зеркальца приводит к перемещению светового пятна на ленте в направлении, перпендикулярном к движению последней, и вызывает соответствующие изменения в светочувствительном слое. Схематически принцип действия осциллографа показан на рис. 63.

.

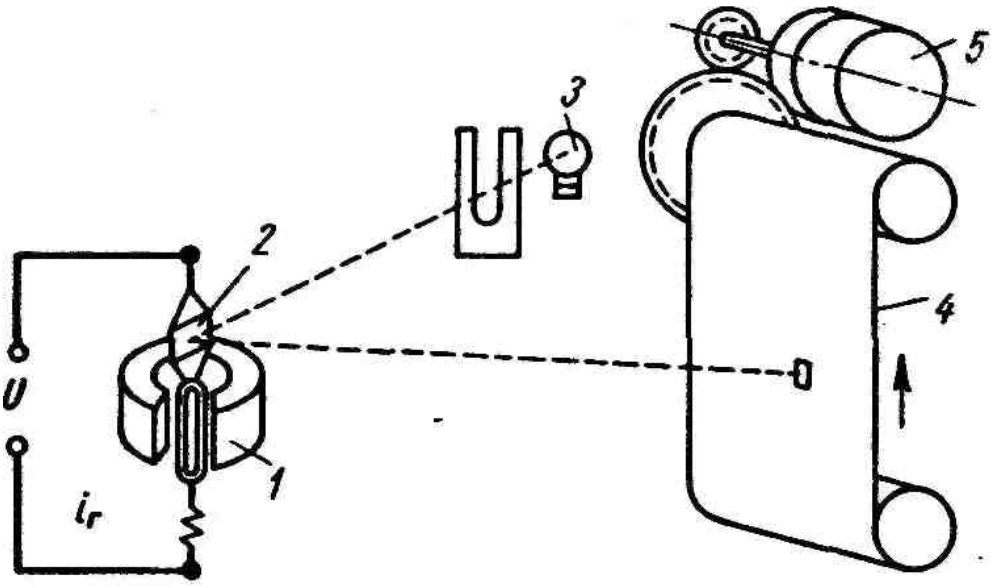


Рис. 63. Схема построения магнитоэлектрического осциллографа

Осциллограф состоит из следующих основных частей: преобразователя *1* электрического сигнала в угловое отклонение зеркальца *2,* источника света *3*, оптической системы и механизма *5* перемещения ленты *4* со светочувствительным слоем. Кроме того, практически все осциллографы снабжаются устройством для нанесения на ленту отметок времени.

Роль преобразователя электрического сигнала в угловое перемещение зеркальца выполняет магнитоэлектрический гальванометр, на подвижную часть которого и наклеивается зеркальце . В осциллографах применяются два вида гальванометров: петлевой и рамочный. Петлевой гальванометр (рис. 64, *а*) представляет собой две металлические параллельные друг другу струны, скрепленные посередине зеркальцем *4*. Струны имеют форму продолговатой петли, концы которой жёстко закреплены и связаны с токоподводящими контактами *5*, а середина петли оттягивается с помощью пружины *1* так, чтобы струны имели необходимое натяжение. На небольшом расстоянии от места крепления струны опираются на трехгранные призмы *2*, чем обеспечивается строго определенное положение петли в пространстве. Участок петли, находящийся между опорными призмами, помещается в магнитное поле (постоянный магнит *6*), направление силовых линий которого совпадает с плоскостью петли.

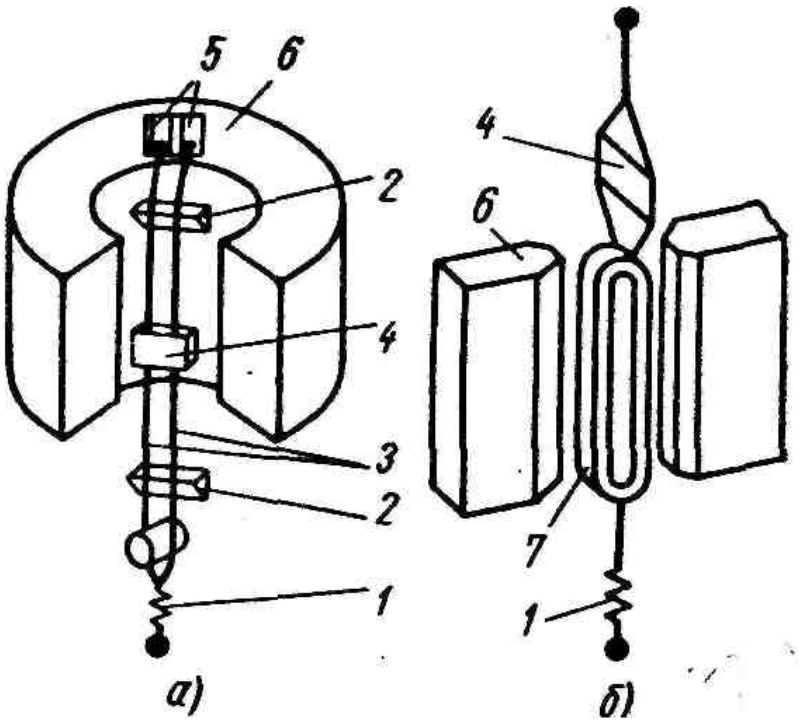


Рис. 64. Схемы построения гальванометров

При протекании тока в струнах петлевого гальванометра возникают электродинамические силы, выталкивающие из магнитного поля струны гальванометра в противоположных направлениях и вызывающие их отклонение, что приводит к повороту зеркальца вокруг оси, параллельной струнам. Величина отклонения

струн ограничена противодействующими силами, обусловленными жёсткостью струн. Электрическое сопротивление этого гальванометра единицы Ом.

Рамочный гальванометр (рис.64, *б*) имеет тот же принцип действия, что и петлевой, но несколько отличается от него конструктивно. Подвижная система такого гальванометра представляет собой рамку *7* − продолговатую бескаркасную катушку, закрепленную на упругих растяжках, создающих противодействующий момент при вращении рамки. Рамка помещается в магнитное поле так, чтобы силовые линии последнего были направлены параллельно её плоскости (при отсутствии в ней тока). Зеркальце приклеивается непосредственно на рамку или недалеко от неё на растяжке. Сопротивление рамочного гальванометра больше, чем у петлевого, и составляет десятки Ом.

Петлевой и рамочные гальванометры значительно разнятся по своим характеристикам. Благодаря малой инерционности подвижной системы и сравнительно большой жёсткости струн петлевой гальванометр способен реагировать на изменения тока с весьма большой частотой. Однако, из-за небольшой величины электродинамического момента такие гальванометры имеют относительно небольшую чувствительность. Наоборот, рамочный гальванометр обладает довольно высокой чувствительностью, но из-за большей инерционности подвижной системы и меньшей жёсткости растяжек полоса пропускаемых ими частот меньше.

Магнитное поле гальванометра создаётся, как правило, постоянным магнитом, который конструктивно может быть выполнен как одно целое с гальванометром (индивидуальная магнитная система) или представлять собой отдельный магнитный блок, имеющий гнёзда для установки гальванометров, состоящих в этом случае только из подвижной системы, снабженной необходимой арматурой и заключенной в кожух.

Коэффициент демпфирования гальванометров в общем случае зависит от свойств среды, в которой находится его подвижная система (демпфирование за счёт вязкого трения), величины тока, протекающего в его отклоняющей системе, и индукции в воздушном зазоре (электродинамическое демпфирование).

Средой, в которую помещается подвижная часть гальванометра, может быть воздух или жидкость. Применяемая для заполнения гальванометров жидкость не должна быть токопроводной, должна быть прозрачной и иметь стабильный коэффициент вязкости, не зависящий от температуры. Электрическое демпфирование основано на противо-э.д.с. возникающей при движении проводника в магнитном поле. Её величина зависит как от параметров гальванометра, гак и от сопротивления внешней цепи.

Чувствительность гальванометров осциллографа определяется в единицах пути перемещения светового пятна на ленте в миллиметрах, отнесённого к величине протекающего в отклоняющей системе гальванометра тока, выраженного в миллиамперах. Гальванометры разделяются на несколько типов по показателям чувствительности и по диапазонам рабочих частот. Эти показатели практически постоянны для любых типов осциллографов.

В качестве источника света в осциллографах применяются лампы накалива-

ния, ртутные и дуговые лампы. В портативных осциллографах применяются, как правило, электрические лампы накаливания с прямой тонкой спиралью.

Иногда осциллографы снабжаются специальными устройствами, позволяющими наблюдать визуально периодические процессы развернутыми во времени. При наличии такого устройства пучок света после его отражения от зеркальца гальванометра разделяется с помощью призмы на два пучка, один из которых направлен, а другой − на вращающийся многогранный барабан 3 с зеркальными гранями, от которых этот световой пучок отражается на матовый экран.

Лента изготовляется из бумаги или пленки, на одну из поверхностей которой наносится светочувствительный слой. Лента помещается в светонепроницаемую ленточную кассету ленты имеют по периферии перфорацию, и тогда ведущий валик снабжается зубьями с соответствующим шагом, которые входят в зацепление с перфорацией.

Если применяется бумажная лента марки *УФ* (ультрафиолетовая – с бромородоновым покрытием), то записываемый процесс можно сразу считывать при дневном освещении, к которому покрытие не чувствительно. В этом случае в качестве источника света применяется ртутная лампа, выдающая ультрафиолетовое излучение, которое попадает на гальванометр и затем на ленту.

К осциллографам обычно придаются дополнительные устройства, предназначенные для согласования цепей гальванометров с остальной измерительной системой. Эти устройства состоят из регулируемых шунтов и сопротивлений.

Все осциллографы являются многоканальными регистрирующими устройствами. Число записываемых переменных может быть до нескольких десятков.

6.2. Автоматические электронные потенциометры

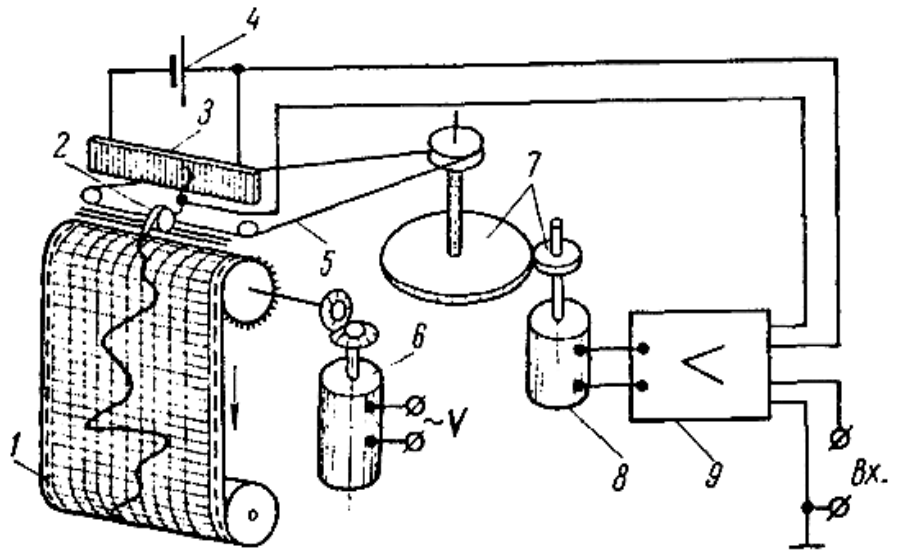
Для регистрации медленно меняющихся процессов (с частотой не более нескольких десятых долей герца) нередко применяются автоматические электронные потенциометры, в которых запись производится на градуированную бумажную ленту или диск (диаграмму) с помощью пера, наполненного чернилами. Перо укрепляется на каретке, перемещаемой следящей системой. Следящая система состоит из электронного усилителя, двухфазного асинхронного двигателя и потенциометра обратной связи.

Такие регистрирующие устройства работают по принципу компенсации входного сигнала, что является их преимуществом перед разомкнутыми измерительными устройствами, работающими по принципу измерения отклонения.

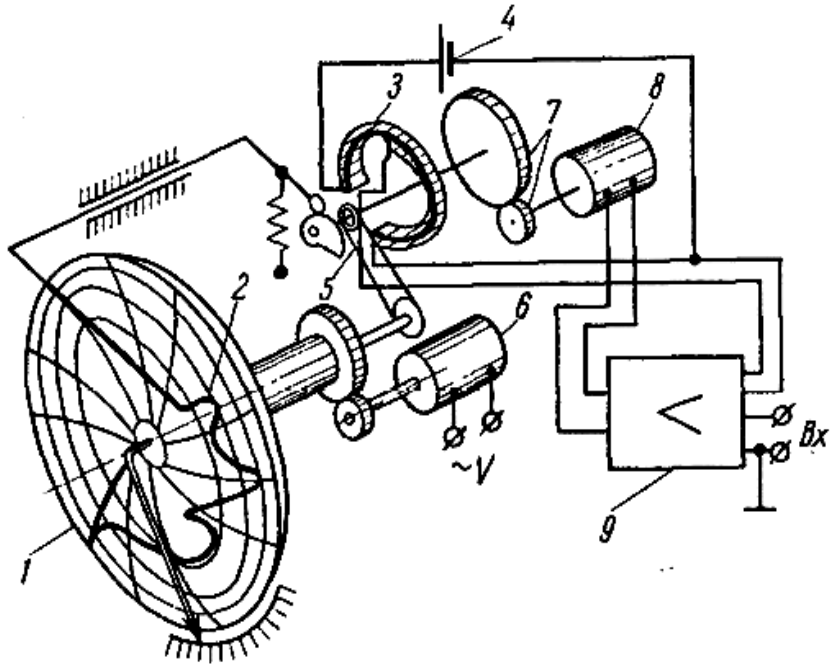
Входным сигналом следящей системы является напряжение, которое после усиления электронным усилителем поступает на управляющую обмотку электродвигателя, перемещающего каретку с пером. С кареткой связана щетка обратной связи, и при её движении происходит компенсация входного сигнала.

Так как усилитель работает в режиме нуль-индикатора, то нестабильность его коэффициента усиления влияет только на значение порога чувствительности и на величину динамической ошибки.

На рис. 65 показаны схемы автоматических электронных потенциометров с ленточной *а)* и дисковой *б)* диаграммами.



а)



б)

Рис. 65. Схема построения автоматического электронного потенциометра:
1− диаграмма; 2 – перо; 3 − потенциометр обратной связи; 4 − эталонный источник э. д. с; 5 − приводной тросик; 6 − электродвигатель диаграммы; 7 − редуктор; 8 − электродвигатель механизма перемещения пера; 9 – усилитель

Автоматический электронный потенциометр имеет механизм для перемещения диаграммы. Этот механизм состоит из синхронного электродвигателя, редуктора и устройства перемещения непосредственно диаграммы. Некоторые типы электронных мостов имеют устройства для изменения скорости движения диаграммы в зависимости от записываемого процесса.

Автоматические потенциометры в основном используются для регистрации различных медленнотекущих процессов.

Благодаря применению компенсационного метода измерения, осуществляемого с помощью следящей системы, электронные потенциометры работают в самых различных диапазонах изменения входного сигнала. Так, например, автоматические электронные потенциометры широко используются для регистрации температуры, когда её изменение производится с помощью термопары, максимальный сигнал на выходе которой составляет десятки милливольт. При этом порог нечувствительности составляет величину около 10 мкВ. В других случаях входной сигнал может составлять десятки и сотни вольт.

Для одновременной регистрации нескольких процессов в схему электронного потенциометра вводится коммутатор, подключающий ко входу следящей системы датчики в определенной последовательности. На время переключения и установки каретки в положение, соответствующее сигналу вновь подключенного датчика, перо снимается с ленты специальным устройством. Последовательность работы этого устройства и коммутатора должна быть строго согласована во времени, и поэтому они приводятся, как правило, от одного электродвигателя.

Максимальная скорость изменения измеряемой величины, которая может быть записана с помощью многоканального электронного потенциометра, зависит от минимального времени прохождения кареткой всего диапазона (времени прохождения кареткой всей шкалы) и от числа регистрируемых величин. Для точного измерения и записи исследуемых процессов число регистрируемых величин ограничивается техническими характеристиками потенциометра.

Поскольку электронные потенциометры предназначены для оценки медленно изменяющихся процессов, они преимущественно применяются в лабораторных условиях. Кроме того, они при эксплуатации требуют исключения резко меняющихся входных сигналов, вибрации и скачков напряжения питания.

6.3. Цифровые тензометрические мосты

Цифровые тензометрические мосты применяются, как правило, для оценки напряжённого состояния конструкций одновременно во многих точках (например, рам автомобилей или их кузовов).

Цифровые тензомосты целесообразно использовать в комплекте с автоматическим переключающим устройством (многопозиционный переключатель), которое в короткое время поочерёдно опрашивает все наклеенные тензорезисторы и выдаёт информацию в реальном времени. В режиме ручного управления можно записывать показания отдельных точек, а в режиме автоматической работы − после-

довательно всех подключённых датчиков, но при их статическом нагружении.

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 пределах до $\pm 5 \cdot 10^{-3}$ относительных единиц без предварительной балансировки мостовой измерительной схемы.

К переключающим устройствам предъявляются 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 напряжений в стали с помощью тензорезисторов с сопротивлением R = 100 Ом. Такую величину погрешности можно считать приемлемой для большинства измерений.

Высокую стабильность переходного сопротивления имеют герметизированные магнитоуправляемые герконы – ферромагнитные пружины в стеклянном баллоне с инертным газом. Под действием магнитного поля контакты притягиваются и замыкают цепь. Существует несколько типов герконов, 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 будет большой расход энергии.

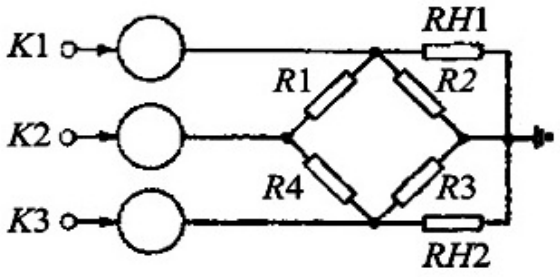
6.4. Токосъёмные устройства

Токосъёмные устройства применяются при измерении напряжений на вращающихся деталях. Эти устройства можно разделить на контактные и бесконтактные, а по способу крепления – на проходные и концевые.

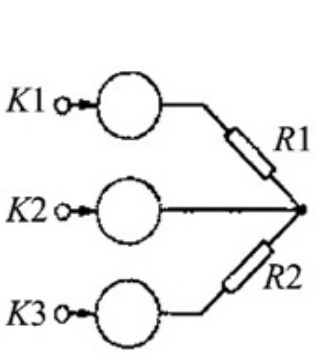
Наиболее просты по конструкции токосъёмные устройства с сухими контактами. Кольца закрепляются на вращающихся деталях, а щётки или струны устанавливаются на неподвижной детали. Основной недостаток этих токосъёмных устройств – значительное изменение переходного сопротивления в зависимости от наличия окислов на поверхности контактов, запыленности и влажности воздуха, давления и температуры в зоне контакта и ряда других внешних факторов.

Для лучшей работы контактных токосъёмных устройств при их изготовлении используются высококачественные и даже драгоценные материалы с высокой точностью изготовления деталей и их сборки. Для большей долговечности работы применяются приспособления, позволяющие отводить щётки от колец после окончания измерений, а зона контакта герметизируется. Влияние изменения переходного сопротивления можно в значительной степени ослабить, устанавливая на вращающейся детали полный мост соединения тензорезисторов (рис. 66, *а*), а не

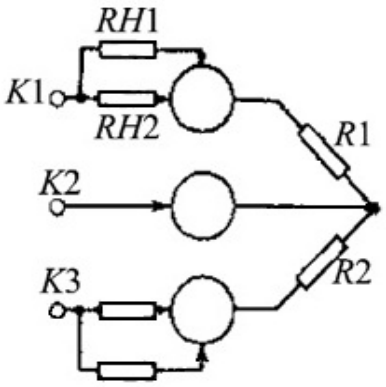
полумост (рис. 66, *б)*. В этом случае переходное сопротивление контактов не влияет на баланс моста, но схема должна быть сбалансирована до начала измерений. С этой же целью иногда применяется полумостовая схема включения токосъёмников (рис. 66, *в*), но с дополнительными щётками, каждая из которых соединяется через резистор с сопротивлением, значительно большим переходного.



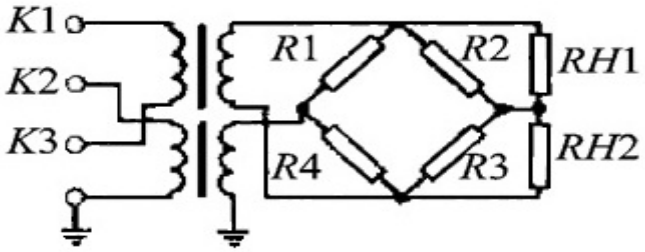
а)



б)



в)



г)

Рис. 66. Схемы подключения токосъёмников:
а) – мостовая; *б)* – полумостовая; *в)* – полумостовая с дополнительными щетками;
г) – трансформаторная; R1, R2, R3, R4 − тензорезисторы;
RH1и RH2 – настроечные резисторы; К1, К2, К3 – контакты токосъёмника

Повысить качество передачи сигнала в контактных токосъёмниках можно с помощью применения жидкостного контакта между вращающимися и невращающимися кольцами (ртуть, редко галлий). Переходное сопротивление в этих случаях очень мало (не более 0,009 Ом) и значительно стабильнее. Поэтому они допускают передачу сигнала при работе до 7000 оборотов в минуту, что вполне достаточно при испытаниях автомобилей. Однако, в этих токосъёмниках необходимо периодически обновлять амальгаму ртути. Кроме того, малая вибростойкость и повышенная токсичность ртути несколько ограничивают их применение.

Большее распространение получили трансформаторные устройства (рис. 67). В этом токопередающем 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. 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 регулируются с помощью сменных прокладок 12. Это устройство имеет небольшую циклическую погрешность, связанную с неточностью изготовления и сборки. За счёт регулировки зазора погрешность измерения можно значительно снизить и довести до 0,0002 Ом.

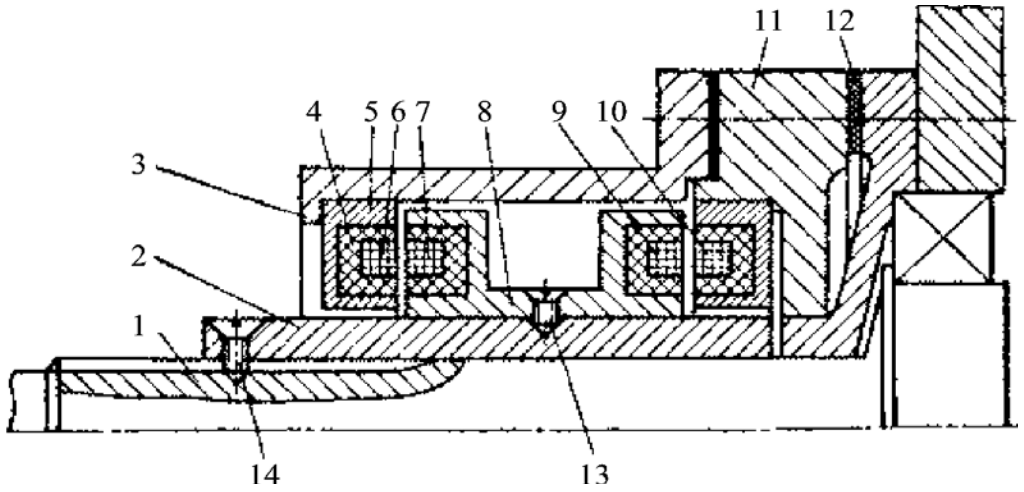


Рис. 67. Трансформаторный токосъёмник

Проводить различные измерения на вращающихся валах можно с помощью миниатюрного радиопередатчика. Сигналы от тензорезисторов, измеряющих деформацию исследуемой детали и включённых в мостовую измерительную схему воздействуют на полупроводниковый конденсатор – варикап, который изменяет свою ёмкость. Таким образом, сигнал моста модулирует частоту передатчика, который собран на одном транзисторе и установлен на вращающейся детали.

6.5. Многоканальный измерительно-вычислительный комплекс MIC-400D

В настоящее время при испытаниях наземных транспортно-технологических средств среди наиболее современных информационно-измерительных систем получил распространение многоканальный мобильный регистрирующий комплекс MIC-400D (рис. 68).



Рис. 68. Многоканальный мобильный регистрирующий комплекс MIC-400D

MIC-400D − это универсальный комплекс на базе защищенного персонального компьютера (ПК) с программным обеспечением для регистрации и анализа динамических процессов, тензометрических, электрических, гидравлических, тепловых и других видов измерений в дорожных и стационарных условиях в системах двигателей и моторно-трансмиссионных установок (МТУ). Он имеет собственный ЖК-дисплей 10.4", измерительный крейт на 16 модулей, блок питания на 24 В, ОС − Windows'XP Pro, программу управления комплексом − MIC «Recorder», пакет обработки − WinПОС «Expert». Количество каналов модулей: 16 каналов измерения напряжения, 16 каналов измерения силы тока, 4 канала для измерения напряжения в диапазоне частот до 28 кГц, 4 канала для измерения относительного напряжения тензодатчиков, 8 каналов для измерения частоты сигнала произвольной формы в диапазоне до 400 кГц, 8 каналов для измерения электрического сопротивления постоянному току, 16 каналов для измерения напряжения в милливольтовом диапазоне, 1 канал усилителя заряда пьезоэлектрического датчика, 15 каналов коммутации в защитном корпусе при измерении ЭДС термопар, компенсации температуры «холодного спая», 16 каналов коммутации источников сигналов ко входам измерительных модулей.

Комплекс предназначен для измерений, обработки, различных вычислени й и регистрации физических процессов в системах мобильных машин, их двигателей, МТУ, испытательных стендов (статических, статико-динамических, динамических тензоизмерений – усилий; деформаций; температуры; давления; числа оборотов; линейных и угловых перемещений и ускорений; вибраций). Получаемые результаты могут быть интерпретированы в различную форму.

Конструктивные особенности комплекса

1. Измерительный крейт интегрирован в корпусе, в котором установлены компьютер, выполняющий роль станции сбора данных и измерительный крейт-шасси модульного типа с возможностью установки до 16 измерительных модулей.

2. Конфигурация процессорного блока компьютера: не ниже Intel core duo 1,8ГГц / RAM 3Gb/ HDD 500 Gb/ DVD-RW/, ОС Windows'XP Professional.

3. Встроенный в корпус комплекса ЖК-дисплей 10,4" 800×600.

4. Клавиатура (в крышке корпуса), "мышь".

5. Внешний блок питания от сети ~ 220 В.

6. Возможность питания постоянным током 24 В (от бортовой сети трактора, автомобиля и других машин).

7. Возможность подключения стандартной компьютерной периферии через USB (монитор, принтер и т. д.).

8. Виброзащищенная подвеска накопителей HDD.

9. Конфигурация и количество измерительных модулей:

9.1. Модуль измерения напряжения (универсальный измерительный модуль (в том числе для измерения сигналов с датчиков давления потенциометрических и универсальных); диапазон измерений ± 0,02 В…± 10 В; групповая гальваническая развязка каналов; частота опроса 2…4800 Гц/канал; имеет не менее 16 каналов.

9.2. Модуль измерения силы тока (в том числе с датчиков давления). $R_{ВН}$ = 500 Ом; диапазоны измерения 0…20 мА; имеет не менее 6 каналов.

9.3. Модуль для измерения напряжения в диапазоне частот до 28 кГц (для измерения динамических, импульсных, переходных процессов, вибрации); частота опроса по каждому измерительному каналу 333…64000 Гц; амплитуда сигнала ± 8,5 В; имеет не менее 4 каналов.

9.4. Модуль для измерения относительного напряжения тензодатчиков (работа с мостовыми, 1/2-мостовыми, 1/4-мостовыми схемами); частота опроса по каждому измерительному каналу 30…1536 Гц; разрядность АЦП 16 бит (поканальные); фильтры ВЧ и НЧ (поканальные); предел основной приведенной погрешности ± 0,05 %; диапазон измерений: от 0…2 мВ/В до 0…32 мВ/В; напряжение питания тензодатчиков 2,5 В; 5 В; функция питания датчика в знакопеременном режиме; имеет не менее 4 каналов.

9.5. Модуль для измерения частоты сигнала произвольной формы в диапазоне до 400 кГц (работа с датчиками оборотов); диапазон измерения частоты: 0,01…400000 Гц − для импульсов и 0,01…50000 Гц − для сигналов произвольной формы; имеет не менее 4 каналов.

9.6. Модуль для измерения электрического сопротивления постоянному току; (работа с термометрами сопротивления); диапазон измерений 0…200 Ом; индивидуальная гальваническая развязка каналов; частота опроса 10…100 Гц/канал; имеет не менее 8 каналов.

9.7. Модуль для измерения напряжения (работа с термопарами, токовыми шунтами); диапазон измерений до 68 мВ; индивидуальная гальваническая развязка каналов; частота опроса 10…100 Гц/канал; имеет не менее 16 каналов.

9.8. Усилитель заряда пьезоэлектрического датчика (работа с акселерометрами); имеет не менее 1 канала.

9.9. Модуль коммутации в защитном корпусе; кросс-колодка с датчиком компенсации температуры "холодного спая" для термопар ХК, ХА (используется при измерении ЭДС термопар, компенсации. температуры "холодного спая"); подключение источников сигналов ко входам измерительных модулей; пружинные клеммы WAGO; имеет не менее 15 каналов.

9.10. Модуль коммутации (кросс-колодка); подключение источников сигналов ко входам измерительных модулей; пружинные клеммы WAGO 3-х уровневые и разъем DRB-37; имеет не менее 16 каналов.

10. Программное отключение незадействованных измерительных каналов;

11. Многочасовая запись измерительных данных.

12. Пропускная способность крейт-контроллера (суммарная частота опроса по всем задействованным измерительным каналам) до 690 000 Гц.

13. Погрешность синхронизации данных не более 200нс.

14. Габариты (Ш×Г×В) – не более 465×435×200мм.

15. Масса – не более 15кг.

16. Наработка на отказ – не менее 10000 часов.

17. Срок службы – не менее 7 лет.

18. Номинальная потребляемая мощность – не более 230 ВА.

Опциональные элементы

19. Кабель сигнальный − длина 1,5 м (5 шт.).

20. Кабель SFTR, категории 5, бухта (300 м).

21. Транспортировочный кейс для комплекса.

Сведения о внесении в реестр СИ

22. Комплекс должен серийно выпускаться, иметь сертификат об утверждении типа средств измерений, быть внесен в Госреестр СИ и иметь действующее свидетельство о поверке.

Функциональные характеристики программного обеспечения

Программное обеспечение для управления комплексом должно обеспечивать:

- автоматическое определение конфигурации измерительного комплекса (идентификация установленных измерительных модулей;
- диагностику работы измерительных модулей;
- градуировку, калибровку измерительных каналов, как комплекса, так и всей

измерительной цепочки: датчик – модуль − усилитель − измерительный модуль;
- автоматизацию всей процедуры поверки измерительных каналов прибора;
- задание (настройку) режимов работы измерительного оборудования (диапазон измерения, частота опроса и т. д.);
- просмотр измеряемого сигнала в реальном масштабе времени в графическом (график, осциллограмма, гистограмма) и цифровом (табличном) представлениях;
- регистрацию измерительной информации;
- статистическую обработку результатов измерений;
- создание мнемосхем;
- получение данных из других систем (OPC клиент);
- возможность создания нескольких страниц формуляров;
- поддержка мнемосхем;
- стандартное отображение данных в виде осциллограмм, таблиц, трендов;
- печать отчёта о настройке измерительной системы;
- воспроизведение в режиме симуляции записанной ранее информации;
- расчёт параметров и управление ими;
- аварийный контроль параметров;
- выполнение функций высокоуровневого интеллектуального драйвера для SCADA систем (OPC сервер);

Программное обеспечение для обработки измерительной информации должно обеспечивать:
- работу с трехмерными сигналами, построение трехмерных спектров;
- редактирование сигналов;
- средства оформления графиков для документирования и вывода на печать;
- поддержку различных форматов измерительных файлов: пакетные, двоичные файлы, мастер чтения и записи текстовых форматов, возможность добавления пользовательских форматов;
- встроенный редактор сценариев;
- интерфейсы, с помощью которых можно создавать пользовательские подключаемые модули или приложения, работающие с данными и алгоритмами.
- развёрнутую справочную систему;
- систему диалоговых окон для всех алгоритмов обработки.

Алгоритмы обработки:
- автоспектр: амплитудный спектр, спектр мощности, спектр плотности мощности, спектр плотности энергии, модуль и фаза, октавный, третьоктавный, 1/12 и 1/24-октавный; весовые окна Ханнинга, Блэкмана-Хэрриса, FLAT-TOP, прямоугольное и треугольное; размер порции БПФ — от 32 до 1048576 точек;
- взаимный и комплексный спектр;
- передаточная функция; функция когерентности преобразования спектра;
- рекурсивная и нерекурсивная фильтрация; медианная фильтрация;
- логарифмирование; интегрирование и дифференцирование; огибающая; нормирование и центрирование; арифметические операции; автокорреляция; вероятностные характеристики; диаграмм Кэмпбелла; порядковый анализ.

7. СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

В процессе создания, доводки и текущего производства автомобилей, их модернизации, улучшения конструктивных и эксплуатационных характеристик, постоянного контроля работоспособности и повышения качества полнокомплектные машины, их агрегаты и системы подвергаются разнообразным испытаниям. Во время этих испытаний, которые подразделяются на два основных типа – дорожные (полигонные) и стендовые, определяются различные конструктивные и эксплуатационные параметры и характеристики автотранспортной техники.

Стендовые испытания автомобилей, их агрегатов и систем, узлов и деталей получают всё большее развитие и применение, а во многих экспериментальных работах постепенно заменяют натурные испытания в естественных эксплуатационных условиях при решении ряда сложных вопросов повышения технического уровня машин.

При проведении натурных испытаний машин из-за большого количества неучитываемых внешних воздействий и побочных явлений часто невозможно получить точные количественные оценки – основу для выработки мероприятий по улучшению конструкций автомобилей.

Обычно во время работы сложных агрегатов и систем машин их технические характеристики (конструктивные и эксплуатационные параметры, прочностные свойства, изнашивание и усталость отдельных элементов, шумность работы, вибрации и др.) определяются наличием взаимосвязей между ними, поэтому только комплексные совместные испытания агрегатов в стендовых условиях дают достаточно полное представление о природе эксплуатационных недостатков и путях их устранения.

Современные стендовые испытания позволяют получать в необходимом объёме достоверные результаты при меньших финансовых, трудовых и временных затратах в оценке самых различных параметров и характеристик испытываемых объектов. Поэтому в настоящее время заметно возросла роль стендовых испытаний автомобилей, их агрегатов и систем как на стадии проектирования новых конструкций, так и при модернизации выпускаемых моделей.

Испытания на стендах отличаются от других видов испытаний высокой стабильностью задаваемых и поддерживаемых условий нагружения, температурных воздействий, влажности, запыленности и других внешних факторов, влияющих на функционирование конструкций. Помимо этого в стендовых условиях обеспечивается высокая точность регулирования различных параметров и воздействий, а также возможность углубленных и длительных наблюдений за рабочими процессами в одинаковых условиях, в том числе в труднодоступных местах. Только стендовые испытания позволяют полностью автоматизировать весь цикл экспериментов. Кроме того, эти испытания позволяют обеспечивать повышенную точность не только измерения, но и обработки опытных данных с последующим их документированием и хранением.

Для получения достоверных результатов стендовых испытаний, сопоставимых

по основным показателям с результатами испытаний в реальных условиях эксплуатации, должны соблюдаться два главных принципа. Во-первых, при стендовых испытаниях должны учитываться все наиболее существенные связи и силы взаимодействия машины с внешней средой, поэтому объект испытаний должен рассматриваться как обязательная составная часть взаимосвязанной динамической системы «машина – окружающая среда». Во-вторых, при стендовых испытаниях отдельных сборочных единиц должны учитываться, с одной стороны, их наиболее существенные связи с машиной, как системой более высокого иерархического уровня, а с другой – со сборочными единицами такого же уровня (например, коробки перемены передач – с муфтой сцепления и ведущим мостом, где выходные параметры муфты сцепления являются входными для испытываемой коробки передач, а выходные данные последней – входными для ведущего моста).

В тоже время отдельные виды, программы и условия стендовых испытаний и исследований часто лимитируются некоторыми довольно существенными технико-экономическими ограничениями. Например, имитационные стенды для испытаний полнокомплектных машин с высоким значением ресурса сами должны располагать надёжностью во много раз превышающей надёжность объектов испытаний (с учётом всех элементов машины). Кроме того, проведение стендовых испытаний не должно оказывать разрушающего воздействия на капитальные строения и не вызывать вредного влияния на окружающую среду и обслуживающий персонал, в том числе не вызывать профессиональных заболеваний работников. Это всегда требует значительных затрат на создание специальных помещений, на изготовление и установку стендов с применением высокопрочных материалов, использования больших энергетических установок и эффективных амортизирующих устройств.

Кроме того, нельзя забывать, что стенды, даже при наличии большого количества и разнообразия их типов, не могут конкурировать с дорожными испытаниями машин по объёму получаемой реальной информации особенно, когда в дорожных испытаниях могут одновременно участвовать десятки машин. Помимо этого, воспроизводство внешних воздействий имитируется на стендах приближённо, в ограниченных пределах и диапазонах. Следует учитывать и большие затраты на периодическое обслуживание стендов, на необходимость их постоянной модернизации. Поэтому стендовые испытания, как правило, сочетаются с полигонными и дорожными, но превалируют на стадии доводки конструкций и используются для контроля номинальных характеристик агрегатов и систем, а также качества комплектующих изделий.

В общем случае стендовые испытания классифицируются по видам и номенклатуре выполняемых работ, по этапам проведения, по целевому назначению, по условиям и объёмам экспериментальных работ, по нагрузочным режимам и делятся на группы:

– испытания отдельных деталей;

– испытания отдельных узлов, агрегатов и систем;

– испытания полнокомплектных машин;

– испытания доводочные, функциональные, приёмочные, технологические, контрольные, сравнительные, аттестационные, приёмо-сдаточные, ресурсные, усталостные, научно-исследовательские, климатические, специальные и различные определительные.
– испытания статические и динамические;
– испытания на эксплуатационных режимах и ускоренные;
– испытания на универсальных установках и на специализированных стендах;
– испытания с разрушением и без разрушения;

Как правило, стендовые испытания применяются в следующих случаях:
1) при невозможности воспроизведения статического или квазистатического нагружения в других видах испытаний;
2) при необходимости создания и длительного поддержания внешних условий, идентичных реальным эксплуатационным условиям (температуры, влажности, запылённости, уровня вибраций и др.);
3) при необходимости имитации нагрузочных процессов работы машины или её агрегатов и систем, близких к реальным эксплуатационным режимам в различных дорожно-эксплуатационных условиях;
4) при необходимости повторного и многократного воспроизведения исследуемых режимов работы с учётом реально возможных износов элементов агрегатов и всех сборочных единиц;
5) при исключении неучитываемых внешних воздействий;
6) при проведении ускоренных испытаний;
7) при возможно полной автоматизации испытаний;
8) при необходимости обеспечения соответствующей точности измерений и регистрации отдельных параметров;
9) при испытаниях узлов, агрегатов и систем по специальным программам и методикам или в специальных условиях;
10) при длительных испытаниях с повторяемыми характерами нагрузок в одинаковых условиях;
11) при поддержании постоянными амплитудно-частотных нагружений;
12) при расчленении нагрузок по величине и характеру воздействия на объект испытаний в соответствии с программой их поэтапных изменений.

В любой конструкции эксплуатационная надёжность часто ограничивается отдельными узлами или деталями.

Как было указано выше, повышение прочности и долговечности слабого звена ведёт к повышению надёжности всего узла, агрегата или системы. В этом случае эксплуатационную нагруженность отдельной детали или узла легче воспроизвести на стенде, причём более точно, чем при стендовых испытаниях целого агрегата или системы. Это позволяет довольно просто решать многие вопросы, связанные с повышением качества изделий, разработкой более совершенной технологии их изготовления, оценкой конструктивных характеристик, имитируя эксплуатационные режимы работы машины в целом. В этом проявляется несомненное преимущество стендовых испытаний.

7.1. Стендовые испытания агрегатов и систем автомобилей

Характеристики агрегатов и систем автомобилей определяются в основном режимами их работы и внешними воздействиями, главными из которых являются параметры рабочих процессов, нагрузки от двигателя, от макро- и микропрофиля дорог, от внешних условий, скоростные режимы движения, вибрационные факторы, взаимодействие со смежными механизмами др. Поэтому очевидно, что имитация на стендах такого разнообразия воздействий – задача весьма сложная.

К испытательным агрегатным стендам предъявляется целый комплекс требований, определяющих их функциональные возможности:

1) точное выполнение заданной программы испытаний;
2) обеспечение стабильности условий и режимов испытаний;
3) выдача результатов с заданными точностью и быстродействием;
4) обеспечение полноты получаемой экспериментальной информации;
5) обеспечение возможности ручного и автоматического управления;
6) обеспечение длительности работы, превышающей долговечность самого объекта испытаний;
7) имитация реальных эксплуатационных режимов работы с максимально возможной достоверностью;
8) обеспечение безопасности жизнедеятельности в процессе испытаний;
9) возможность работы при различных температурных режимах.

Стенды, применяемые в настоящее время для испытаний агрегатов и систем автомобилей, обычно выполняются по схеме с прямым потоком мощности или по схеме с замкнутым контуром мощности.

На стендах с прямым потоком мощности объект испытаний устанавливается, как правило, между балансирным электродвигателем и тормозным устройством (например, генератором). Для создания и поддержания в процессе испытаний условий, соответствующих реально действующим в эксплуатации, мощностные возможности электродвигателя и тормозного устройства должны быть больше максимальной мощности, которой может нагружаться испытываемое изделие. Именно поэтому такие стенды в большинстве случаев громоздки, требуют больших площадей для размещения и обладают высокой стоимостью.

Для повышения экономичности подобных стендовых установок часто используется явление рекуперации мощности. Установки такого типа для испытаний различных агрегатов трансмиссии (коробок передач, раздаточных коробок, коробок отбора мощности, главных передач и т.п.) широко применяются в практике мирового автомобилестроения в связи с тем, что при указанной схеме можно автоматизировать процесс испытаний путём установки довольно простых электронных программирующих устройств, позволяющих создавать различные сочетания крутящих моментов и угловой скорости при любой последовательности их чередования. В этом случае режимы стендовых испытаний максимально приближаются к реальным эксплуатационным, что даёт возможность более полно и объективно исследовать и анализировать параметры и характеристики не только

отдельных деталей, но и узлов, агрегатов, систем, а также машин в целом.

Для испытаний агрегатов машин наиболее часто применяются стенды с замкнутым контуром мощности. При этом может быть использован двигатель значительно меньшей мощности, чем на стенде с прямым потоком мощности, и, кроме того, отпадает необходимость в тормозных устройствах.

К недостаткам таких стендов следует отнести использование нагрузочных устройств с громоздкой дополнительной механической системой, которая подвержена износу и усталостному разрушению при длительных испытаниях. Кроме того, эта система затрудняет программирование испытаний и не позволяет реализовывать чередование нагрузок с таким быстродействием, какое получают на стендах с прямым потоком мощности.

В современных стендах, применяемых для упрощенных испытаний на постоянных режимах, нагружение осуществляется более простым механическим устройством, а возникающий в контуре крутящий момент контролируется специальными приборами. В качестве такого контрольного прибора иногда используются специальные весы с циферблатом, показывающим реактивный момент на испытываемом агрегате.

В тех случаях, когда стенд оборудован системой, автоматически поддерживающей в заданных пределах циркулирующий в контуре крутящий момент, в качестве силоизмерителя можно использовать торсиометр, который выдаёт электрический сигнал, пропорциональный действующему крутящему моменту. Такие стенды чаще всего оборудуются электродвигателем, который перед пуском разобщается с установкой посредством фрикционной муфты типа автомобильного сцепления. После достижения электродвигателем номинальной угловой скорости сцепление плавно включает стенд. Маховые массы сглаживают колебания угловой скорости валов стенда, что позволяет устанавливать электродвигатель небольшой мощности и поэтому с небольшими габаритами и весом.

Нагрузка на испытываемый агрегат выбирается обычно близкой к максимально возможной в условиях эксплуатации (например, равной максимальному крутящему моменту двигателя) и регистрируется суммарное число оборотов, которое испытываемый агрегат выдерживает до разрушения. При такой методике испытаний режим нагружения значительно отличается от реального эксплуатационного в сторону ужесточения. Поэтому при таких испытаниях нет строгого соответствия между характеристиками рабочих процессов в стендовых условиях и в условиях эксплуатации, что несомненно является недостатком подобных стендов.

Включение в конструкцию стенда с замкнутым контуром устройства со вспомогательным нагружающим электродвигателем и фрикционной муфтой позволяет широко менять режимы работы замкнутого контура и проводить эксперименты по заданной программе изменения нагрузок на объект испытаний. Одновременно можно по заданной программе изменять угловую скорость вращения и параметры амплитудно-частотных воздействий, что значительно расширяет возможности стенда с точки зрения диапазона его эксплуатационных характеристик. Это особенно важно при автоматизации процесса испытаний на стенде.

7.1.1. Стендовые испытания двигателей внутреннего сгорания

Испытания двигателей внутреннего сгорания (ДВС) регламентируются специальными правилами (1585-82 и 2534-74), разработанными международной организацией по стандартизации (ISO). В нашей стране испытания ДВС проводятся для автомобильных двигателей в соответствии с ГОСТ 14846-81.

Испытания ДВС проводятся на стендах со специальными тормозными установками − гидравлическими, электрическими и индукторными**.** При этом испытания на стендах с электрическими приводами реверсионого действия выгодно отличаются тем, что позволяют оценить работу двигателя в режимах принудительного холостого хода, определить механические потери в нём, осуществить пуск без стартера, провести холодную обкатку после сборки.

Для проведения всех видов испытаний двигателей стенды должны быть оснащены не только тормозными установками с динамометрами, но и топливной, воздухопитающей, газовыводящей, смазочной, охлаждающей, пусковой, противопожарной и другими системами. В зависимости от программы испытаний стенды оснащаются специальным оборудованием и приборами, позволяющими имитировать различные условия работы двигателей и измерять необходимые параметры и показатели объектов испытаний. Воздухопитающая система должна быть оборудована устройствами и приборами, обеспечивающими определение расхода воздуха, его подогрева или охлаждения, влажности и запылённости. Топливная система стендов оснащается устройствами для определения расхода топлива на различных режимах работы ДВС, а системы охлаждения и смазки − устройствами для оценки теплоотвода в охлаждающую жидкость и масло. Для определения индикаторных показателей стенды оснащаются соответствующими индикаторами и записывающими приборами.

В стендовых испытаниях ДВС в основном определяются:

1) рабочие показатели и характеристики двигателя при регулировках и комплектации, указанных заводом-изготовителем. Испытания проводятся как при полной подаче топлива, так и при частичных подачах топлива; дополнительно испытания проводятся без подачи топлива на режимах принудительного холостого хода. По результатам испытаний строятся характеристики индикаторной мощности, внешняя скоростная характеристика, (в том числе с регуляторной ветвью), частичные характеристики, характеристики холостого хода, нагрузочные характеристики мощности и расхода топлива при постоянных частотах вращения коленчатого вала, частичные характеристики при фиксированной подаче топлива, а также при заданных законах изменений частоты и нагрузки;
2) детонационные характеристики;
3) надёжность, включая безотказность и износостойкость;
4) предельные показатели мощности и крутящего момента ДВС при исключении влияния параметров несовершенства технологии изготовления, заводских допусков на изготовление, регулировок приборов систем питания и зажигания.

Такие показатели получаются при изменении только одной характеристики

(например, параметров опережения зажигания) в области устойчивой работы двигателя с полной нагрузкой, за пределами которой, как правило, происходит падение мощности и увеличение расхода топлива;

5) шумность работы и вибрации двигателя;

6) токсичность, включая пробы на разных режимах работы, а также дымность.

Последний вид испытаний двигателей в настоящее время становится всё более актуальным и законодательно обозначенным для выполнения при диагностических мероприятиях. Эти испытания базируются на оценке составных компонентов выхлопных газов.

Возникающие при сгорании топлива в двигателях автомобилей компоненты выхлопных газов делятся на вредные и безвредные. Окись углерода (CO), углеводороды (HC), окислы азота (NO_x), свинец (Рб) и его соединения, двуокись серы (SO_2), твёрдые частицы (например, сажа) – это вредные составляющие. В тоже время азот (N_2), кислород (O_2), двуокись углерода – углекислый газ (CO_2) и водяной пар (H_2O) – это безвредные вещества. Соотношение этих составляющих определяется эксплуатационным состоянием двигателя и качеством сгорания смеси, которая в свою очередь зависит от процесса смесеобразования, зажигания, параметров камеры сгорания и систем впуска и выпуска газов. Поэтому этот вид стендовых испытаний двигателей внутреннего сгорания требует избирательно и с высокой точностью определять содержание всех компонентов выхлопных газов. Это производится с помощью приборов, работающих по методу инфракрасного излучения. Метод основан на способности указанных выше компонентов выхлопных газов абсорбировать инфракрасное излучение, а именно излучение строго определённой, характерной для каждого газа в отдельности, длины волны.

Азот является наиболее существенной составной частью воздуха, его доля равна 70 %. Он поступает в двигатель вместе с всасываемым воздухом и большей частью снова выходит из него, не участвуя в процессе сгорания.

Кислород имеется в выхлопных газах в том случае, если из-за слишком бедной смеси или плохого перемешивания в камере сгорания не весь кислород, содержащийся в воздухе, используется в процессе сгорания для окисления топлива.

Водяной пар и углекислый газ являются, как уже указывалось выше, собственно конечными продуктами сгорания.

Окись углерода − это вредное вещество возникает, если из-за недостатка кислорода (O_2) в смеси невозможно полное окисление углерода (C) с преобразованием его в углекислый газ (CO). Поскольку окись углерода уже в малых концентрациях воздействует на компоненты крови (она соединяется с красными кровяными тельцами (эритроцитами) и тем самым уменьшает их способность к поглощению кислорода), то она в первую очередь привлекла внимание законодательных органов. Окись углерода стала той составной частью выхлопных газов, которая первой была включена в качестве компонента выхлопных газов, подлежащего обязательному контролю на автомобилях. Наибольшая концентрация CO создается в цилиндрах во время сгорания топлива, в атмосфере окись углерода сравнительно быстро окисляется, превращаясь в безвредный углекислый газ.

Как и в случае образования окиси углерода, недостаточное количество воздуха приводит к неполному сгоранию и вследствие этого к эмиссии несгоревших ил частично сгоревших углеводородов. В выхлопных газах находятся поэтому не только углеводород, но и различные углеводородные соединения, в том числе ароматические углеводородные соединения, имеющие резкий запах и частично относящиеся к веществам, вызывающим раковые заболевания, каковыми считаются, например, бензопирины или ненасыщенные углеводороды, которые под воздействием солнечного излучения в комбинации с окислами азота участвуют в образовании смога. Насыщенные углеводороды практически не имеют запаха, но имеют, однако, наркотическое действие и раздражают слизистые оболочки, правда, в легкой форме. Таким образом, высокие концентрации несгоревших углеводородов могут быть вредными для здоровья, кроме того, с ними связывают также гибель лесных насаждений.

Азот, который является главной составной частью воздуха, при нормальных температурах не соединяется с кислородом. Только при особенно большом подводе энергии, что имеет место в процессе сгорания топлива в двигателе при большом давлении и высокой температуре, происходит химическая реакция, в результате которой образуется окись азота (NO). После выхода из цилиндров окись азота продолжает соединяться с кислородом, образуя двуокись азота (NO_2). NO и NO_2 считаются стабильными газами и обычно их объединяют под общим названием окислы азота и обозначают NO_x. Высокая концентрация NO_x вызывает раздражение органов дыхания и присущие отравлениям признаки. Длительное вдыхание окислов азота может привести к разрушению ткани легких.

Соединения свинца обычно используются в качестве антидетонационных средств. Именно поэтому они и оказываются в выхлопных газах двигателя. Кроме того, свинцовые добавки являются своеобразным смазочным средством для впускных и выпускных клапанов, поскольку отложения свинца на них уменьшает их износ. Соединения свинца действуют как клеточный яд на кровь, костный мозг и нервную систему.

Двуокись серы возникает за счёт окисления серы, содержащейся в топливе. Поскольку содержание серы в бензине весьма мало (< 0,1 %), то эмиссии двуокиси серы (SO_2) особого значения не придается.

Сажа появляется только при экстремальной нехватке воздуха. Обычно таких условий на правильно отрегулированных бензиновых двигателях не возникает.

Большое влияние на возникновение трех важнейших вредных веществ − окиси углерода (CO), несгоревших углеводородов (HC) и окислов азота (NO_x) оказывает соотношение в смеси бензина и воздуха.

В среднем для полного сгорания 1 кг топлива требуется 14,7 кг воздуха. При такой так называемой стехиометрической смеси коэффициент состава смеси (или коэффициент избытка воздуха) лямбда равен 1 ($\lambda = 1$).

По величине коэффициента состава смеси (коэффициента избытка воздуха) можно непосредственно судить о том, является ли смесь бедной или богатой. Например, если $\lambda = 0{,}8$, что соответствует соотношению веса расходуемого воздуха

к весу расходуемого топлива 0,8x14,4:1 = 11,76:1, то смесь является экстремально и излишне богатой. Минимальные значения окиси углерода достигаются при коэффициентах состава смеси λ, превышающих 1,1. С этого значения доля окиси углерода в выхлопных газах практически не зависит от соотношения воздуха и топлива. В этом диапазоне двигатели работают с небольшим избытком воздуха. Система смесеобразования подает в двигатель воздуха больше, чем е му собственно необходимо для процесса сгорания. Предпосылкой для безукоризненного функционирования моторов с бедной смесью является наличие мощной системы зажигания − особо бедные смеси, а также особо богатые, требуют энергии зажигания, которая до 15 раз превышает значение этой энергии при λ = 1. При значении коэффициента состава смеси λ = 1,25 у двигателей обычной конструкции достигается предел воспламенения смеси, сверх этого значения смесь без использования специальных мер воспламенить невозможно.

В диапазоне богатых смесей, то есть при значениях коэффициента состава смеси, меньшем 1, доля окиси углерода CO в выхлопных газах изменяется в зависимости от величины соотношения воздуха и топлива практически линейно.

Исходя из ужесточения требований закона к эмиссии выхлопных газов, изготовители двигателей усиленно стремятся сохранить значение коэффициента состава смеси в благоприятном с точки зрения выброса вредных веществ диапазоне вблизи 1. Точное согласование процесса образования смеси и системы зажигания на соответствующем двигателе привели к тому, что выброс окиси углерода современными двигателями резко уменьшился. Значения от 0,5 до 1,5 % по объему стали в настоящее время правилом. Таким образом, слишком высокое содержание CO всегда является признаком образования богатой смеси, например, как следствие неправильной регулировки карбюратора или нарушений в работе системы впрыска. Причинами могут стать также неправильный уровень поплавка, слишком высокое давление топлива, загрязненный воздушный фильтр, неисправная вентиляция картера коленчатого вала или некорректно работающее устройство прогрева двигателя.

Для несгоревших углеводородов (HC) также можно получить минимальное значение, а именно при значениях λ, приблизительно равных от 1,1 до 1,2.

Точно также, как и содержание CO, доля углеводородов из-за неполного сгорания возрастает по мере увеличения количества топлива в смеси (то есть по мере того, как смесь становится все богаче).

Но и в диапазоне бедных смесей эмиссия углеводородов HC снова возрастает. Слишком низкие температуры во всасывающем коллекторе и камере сгорания, неравномерное распределение смеси, преждевременное прекращение горения смеси из-за воздействия холодных стенок цилиндров, замедление процесса сгорания при очень бедной смеси, включая также перебои зажигания - все это ведет к резкому увеличению содержания HC в выхлопных газах. Нагрузка двигателя также изменяет эмиссию углеводородов. С повышением нагрузки уровень температуры в камере сгорания увеличивается. Поэтому площадь зоны стенок цилиндров, на которой гасится пламя, по мере роста нагрузки уменьшается. Кроме того, более

высокие температуры выхлопных газов вызывают реакции доокисления в фазах расширения и выпуска. Этот эффект вызывает снижение эмиссии несгоревших углеводородов по мере роста нагрузки двигателя. То же самое относится и к эмиссии окиси углерода CO. Прежде всего на абсолютное значение эмиссии HC в очень сильной степени влияют регулировка и работа системы, а также механическое состояние мотора. Неправильная регулировка зажигания, нагар на свечах зажигания, дефектные кабели зажигания, тотальные перебои зажигания, негерметичная система всасывания, неплотности в цилиндрах или неисправные клапаны впрыска являются причинами слишком большого содержания несгоревших углеводородов в выхлопных газах. Поэтому определение содержания в выхлопных газах углеводородов, наряду с содержанием CO является важнейшей мерой для всесторонней диагностики двигателя.

Зависимость эмиссии окислов азота (NO_x) от значения коэффициента состава смеси λ протекает прямо противоположно тому, как она протекает в случае углеводородов. Хотя благодаря обеднению смеси углеводороды в значительной степени сгорают, но остающийся свободный кислород вступает в реакцию с азотом, прежде всего из-за увеличивающейся температуры и повышения давления в камере сгорания. Предпосылкой для имеющих практический смысл измерений является наличие стенда для проверки двигателя под нагрузкой (стенд проверки мощностных характеристик двигателя).

Причиной того, что при дальнейшем обеднении смеси содержание окислов азота снова снижается, является снижение температур в камере сгорания, которое снова наступает по мере увеличения коэффициента состава смеси, то есть по мере «разжижения» смеси, количество топлива в которой уменьшается. Тем самым снова устраняется предпосылка образования окислов азота.

С увеличением опережения зажигания, то есть всё большим смещением его в направлении раннего зажигания и связанное с этим повышение температур в камере сгорания приводят к увеличению эмиссии окислов азота во всем диапазоне соотношений воздуха и топлива.

Двуокись углерода или углекислый газ CO_2 не является так называемым вредным веществом; как конечный продукт сгорания он достигает максимума в так называемой стехиометрической точке при коэффициенте $\lambda = 1$. Поэтому содержание CO_2 в выхлопных газах можно взять за меру, показывающую степень более или менее полного сгорания. Максимально возможное значение при коэффициенте $\lambda = 1$ и идеальном полном сгорании составляло бы примерно 14 % по объёму.
Чем больше содержание CO_2 в выхлопных газах приближается к этому значению, тем полнее происходит сгорание и тем меньше доля окиси углерода CO и несгоревших углеводородов HC. С другой стороны, при небольшом содержании вредных веществ в выхлопных газах слишком низкое значение уровня $C0_2$ является признаком недопустимого разбавления выхлопных газов из-за наличия негерметичности или прогаров (дыр) в выхлопной системе.

Свободный кислород (O_2) появляется в выхлопных газах при избытке воздуха в смеси. Как только значение коэффициента λ начинает превышать 1, происходит

четкое увеличение содержания O_2. Вместе с максимальной величиной уровня углекислого газа содержание кислорода является однозначным показателем перехода от диапазона богатых смесей к бедным смесям, а также признаком негерметичности в системе всасывания и в выхлопной системе.

При температурах, превышающих 600° С, в выхлопной системе происходит дальнейшее окисление CO и HC кислородом до H_20 и $C0_2$, причем для повышения эффективности этого процесса возможно подведение вторичного воздуха вблизи выпускных клапанов. Верхом достижения в этой области является так называемый термореактор. Он сконструирован таким образом, что при работе на богатых смесях, когда в выхлопных газах повышается содержание CO и HC, в газ добавляется воздух и эта смесь воспламеняется при высоких температурах, в результате чего вредные вещества сгорают. Из-за повышенных расходов топлива при использовании термического дожигания эту технологию на большинстве современных автомобилей заменила катализаторная система. Впрочем, на некоторых автомобилях с катализаторами также производится подвод дополнительного воздуха, например, с целью более быстрого нагревания катализатора в фазе прогрева и достижения более лучшего дожигания при работе на холостом ходу.

В зависимости от применяемой концепции обработки выхлопных газов различают три вида систем катализаторов:

1) окисляющие катализаторы;
2) двухконтурные (или двухступенчатые) катализаторы;
3) 3-х компонентные катализаторы выхлопных газов, воздействующие на такие компоненты выхлопа, как NO_x, HC, CO (они могут быть регулируемыми и нерегулируемыми катализаторами).

Только 3-компонентные катализаторы обладают способностью одновременно снизить содержание всех трех вредных компонентов выхлопных газов CO, HC и NO_x, причем в очень значительном размере. В сочетании с регулировкой коэффициента состава смеси 3-компонентный катализатор в настоящее время представляет собой наиболее эффективную систему очистки выхлопных газов и поэтому его применяют для выполнения самых строгих предписаний по содержанию вредных веществ в выхлопе автомобилей.

Катализатор состоит из собственно активного каталитического слоя, основы (носителя) для этого слоя и корпуса из стального листа. В качестве носителя каталитического слоя используются три системы:

1) насыпная основа (европейскими изготовителями автомобилей практически не применяется);
2) керамические монолиты (наиболее распространены в настоящее время);
3) металлические монолиты.

Керамические монолиты представляют собой керамическое тело, через которое проходит несколько тысяч маленьких каналов. По этим каналам протекает выхлопной газ. Керамика состоит из устойчивого к высоким температурам материала на основе магния, алюминия и кремния. Чувствительный к ударам монолит

эластично закрепляется в листовом корпусе. Для этого между стенками корпуса и носителем находится металлическая сетка из высоколегированной стальной проволоки диаметром примерно 0,25 мм. Эта сетка должна быть эластичной, чтобы предотвратить повреждения монолита вследствие допусков при изготовлении, различных коэффициентов расширения материалов корпуса и основы, механических нагрузок при движении и действующих на керамическое тело газовых сил.

Металлические монолиты пока применяются редко. В большинстве случаев их устанавливают вблизи двигателей в качестве так называемых предварительных или пусковых катализаторов в дополнение к главному катализатору, чтобы при пуске холодного двигателя быстрее достичь эффективности каталитического преобразования.

Керамические и металлические монолиты нуждаются в слое носителя из окиси алюминия («wash-coat» − «промывочное покрытие»), который увеличивает эффективную поверхность катализатора с коэффициентом 7000. Нанесенный на этот слой активное каталитическое покрытие у окисляющих катализаторов состоит их благородных металлов платины и палладия, у трехкомпонентных катализаторов − из платины и родия. Платина ускоряет процесс окисления углеводородов и окиси углерода, родий способствует редукции (уменьшению) окислов азота. Количество благородных металлов в одном катализаторе составляет примерно 2…3 грамма.

Требование, избирательно и с большой точностью определять содержание всех компонентов выхлопных газов привели к тому, что из всех известных методов измерений в практике остался только метод измерений с помощью инфракрасного излучения. На этом принципе работает прибор фирмы Бош ETT 008.14.

Прибор ETT 008.14 для измерения содержания CO также, как и все другие приборы для исследования выхлопных газов, относящиеся к системе проверочного оборудования Bosch-Compac-Test-System, управляется микропроцессором и в основном работает автоматически. Тем самым в значительной степени исключаются влияние на ход проверки окружающей среды и обслуживающего персонала.

После включения прибора осуществляется его самопроверка и цикл прогрева. После истечения времени прогрева, равного примерно 3 минутам, производится всасывание так называемого «нулевого» газа, то есть воздуха, а также продувка газового тракта. После этого прибор готов к работе.

Измерение начинается с включения насоса. Также и в этом случае вначале примерно в течение 10 секунд снова всасывается чистый воздух и производится автоматическая установка нуля. Полученная в результате измерения величина запоминается микропроцессором прибора как действующее значение нуля. Только после этого магнитный клапан переключает газовый тракт на прохождение выхлопных газов.

Зависимость метода измерений от температуры учтена в вычислительной программе микропроцессора, который проводит с этой целью контроль приёмной камеры. Учитывается также барометрическая высота и частота сети.

В остальном процессор следит за всеми функциями прибора в плане соблюдения предписанных граничных величин. О недопустимых отклонениях сообщается

пользователю и процесс проведения проверок немедленно прекращается. Измерения проводятся в процентах от общего объема (в % по объёму). Наименьшее разрешение составляет 0,01 % по объёму. В процессе измерений сообщается о следующих дефектах:

− неправильная регулировка карбюратора;
− неисправная система смесеобразования, образуется слишком богатая или слишком бедная смесь;
− неправильный уровень поплавка карбюратора;
− неисправность устройства обогащения смеси при ускорениях;
− неправильное число оборотов холостого хода;
− неправильная работа устройства обогащения смеси при прогреве двигателя;
− неисправная вентиляция картера коленчатого вала;
− прогар уплотнительной прокладки головки цилиндров;
− загрязнение воздушного фильтра
− о функции катализатора, включая HC, если есть возможность проведения измерений до и после катализатора.

Оценка углеводородов (HC) производятся в частицах на миллион (ppm). 1 000 000 ppm = 100 % по объёму. Наименьшее разрешение 2 ppm.

Выводится информация о следующих дефектах:

– неполное сгорание;
– неисправная система смесеобразования, перебои процесса сгорания из-за слишком бедной смеси;
– неисправная система зажигания, перебои зажигания, например, из-за отложения нагара на свечах, дефектных кабелей, неправильной установки зажигания;
– негерметичность в системе всасывания, неплотности в карбюраторе, в системе впрыска, в клапанах впрыска, негерметичность впускных или выпускных клапанов;
– о функции катализатора, включая CO, если есть возможность проведения измерений до и после катализатора.

Измерения двуокиси углерода (CO_2) проводятся в процентах от общего объёма (в % по объёму). Наименьшее разрешение составляет 0,1 % по объёму. Выводится информация о следующих дефектах:

− неполное сгорание (в связи с CO и HC);
− неточная регулировка системы смесеобразования, коэффициента состава смеси λ (в связи с CO и O_2).

Измерения кислород (O_2) проводятся в процентах от общего объема (в % по объёму). Наименьшее разрешение составляет 0,1 % по объёму. Выводится информация о следующих дефектах:

− неточная регулировка системы смесеобразования в связи с CO и CO_2.

Измерения окислов азота производятся в частицах на миллион (ppm). Наименьшее разрешение 5 ppm.

Выводится информация о следующих дефектах (только в сочетании с испытаниями на стенде по определению мощностных характеристик двигателя):

− о качестве функционирования системы очистки выхлопных газов от ядовитых (вредных) веществ в их связи с CO и HC;
− о работе системы обратного подвода выхлопных газов.

Измерение прироста HC (Δ HC) является методом, при котором можно избирательно оценить процесс смесеобразования и качество процесса сгорания в каждом отдельном цилиндре. Предпосылкой для проведения таких измерений служит наличие наряду с измерительным прибором, имеющим возможность определения доли HC в выхлопных газах, также и моторного тестера с приспособлением для короткого замыкания цилиндров, разработанным специально для проведения измерений дельты HC (Δ HC). Такие приспособления имеются у моторных тестеров Бош MOT 301 и MOT 501.

При работе двигателя на холостом ходу в выхлопных газах создаётся вполне определенное содержание углеводородов HC.

Если замкнуть накоротко зажигание одного из цилиндров, то этот цилиндр полностью выбросит всю смесь, которая смешается с остальными выхлопными газами. Соответственно этому увеличится замеренное содержание HC в выхлопных газах. Увеличение доли HC является масштабом для оценки состава смеси в данном цилиндре.

Богатая смесь вызывает большое увеличение содержания HC, небольшое повышение означает бедную смесь. Сравнение результатов измерений отдельных цилиндров между собой показывает равномерность образования смеси для каждого цилиндра или, соответственно, о присущих данному цилиндру дефектах, являющихся причиной увеличения содержания HC.

Чтобы создать равные условия измерений для всех цилиндров, необходимо осуществлять короткое замыкание цилиндров и измерение HC в соответствии с точно определенной программой проведения этой операции, что в полной мере обеспечивается в случае использования моторных тестеров Бош MOT 301 и MOT 501. Только в этом случае можно гарантировать однозначные результаты измерений. Разумеется, что измерение прироста доли HC, то есть Δ HC следует производить только перед катализатором, поскольку преобразование углеводородов в катализаторе сведет на нет эффект возрастания содержания HC.

Измерение прироста доли углеводородов в выхлопных газах Δ HC обычно проводится на незагруженном двигателе при оборотах холостого хода.

Как было указано, правила и методы испытаний двигателей определяются соответствующими отечественными и международными стандартами и специальными нормативными документами, но в некоторых странах используются национальные стандарты, несколько отличающиеся предусматриваемой комплектностью двигателя и его систем, формулами приведения результатов к стандартным (нормальным) условиям.

В международных каталогах встречаются результаты стендовых испытаний двигателей с показателями, определёнными по методикам стандартов DIN (Германия), SAI (США) и по другим методикам, на что необходимо обращать внимание при сопоставительных оценках.

7.1.2. Стендовые испытания трансмиссий

Стендовые испытания трансмиссий имеют целью определение параметров прочности, усталости, жёсткости, надёжности, внутренних энергетических потерь, температурных характеристик, специальных показателей работы отдельных элементов и других характеристик. В большинстве случаев испытания трансмиссий автомобилей проводятся на универсальных стендах для оценки одновременно исследуемых многих показателей рабочих процессов.

Для испытаний отдельных узлов и агрегатов трансмиссии в настоящее время используются стенды как прямого нагружения с разомкнутым потоком мощности, так и стенды с замкнутым контуром и с динамическим нагружением от маховых масс или от специальных нагрузочных устройств.

С целью повышения экономичности стендовых испытаний трансмиссий часто используются установки, использующие явление рекуперации мощности. При такой схеме нагружения можно автоматизировать процесс испытаний путём установки простых электронных программирующих устройств, позволяющих создавать различные сочетания крутящих моментов и угловой скорости при любой последовательности их чередования. В этом случае режимы стендовых испытаний приближаются к эксплуатационным, что даёт возможность более объективно оценивать характеристики объектов испытаний.

Испытания муфт сцеплений включают определение коэффициента запаса, величины и стабильности момента трения, упругих деформаций элементов нажимного механизма, надёжности при повышенных частотах вращения, термостойкости фрикционных элементов, исследование параметров балансировки, характеристик демпфера крутильных колебаний, износостойкости фрикционных накладок, их намокаемости в воде и масле, коэффициента полезного действия (КПД) привода и некоторых других свойств.

Перед испытаниями механизм сцепления в сборе, сборочные единицы его привода, а также отдельные элементы, например ведомый диск, подвергаются всем необходимым контрольным измерениям и взвешиваниям, а вращающиеся детали, кроме того, – балансировке. Упругие деформации элементов нажимного механизма определяются при полном включении сцепления. Они измеряются индикаторами при установке сцепления на специальную плиту. Эти деформации не должны вызывать изменения хода нажимного диска более 10 % от теоретически просчитанного.

Программы комплексных испытаний муфт сцеплений предусматривают циклическую повторяемость процессов включения и выключения с имитацией различных режимов работы.

Для испытаний сцеплений применяются стенды, снабжённые механизмами нагружения крутящим моментом и осевым усилием, а также устройствами измерения момента, осевого усилия, перемещения и угла закручивания.

Характеристика коэффициента запаса сцепления определяется по результатам

измерения крутящего момента, при котором начинается проскальзывание ведомого диска относительно ведущих частей сцепления, закрепленных неподвижно. Перед снятием этой характеристики поверхность фрикционных накладок ведомого диска прирабатывается с рабочими поверхностями маховика и нажимного диска. Крутящий момент измеряется при полном включении сцепления и вращении ведомого диска в двух направлениях с частотой вращения 2 об/мин. В некоторых случаях вследствие влияния центробежных сил на передаваемый крутящий момент коэффициент запаса сцепления определяется при вращении сцепления с различной частотой вплоть до максимальной. При этом начало проскальзывания определяется по результатам сравнения показаний двух тахометров, установленных на ведущей и ведомой частях сцепления.

Для снятия характеристик нажимного механизма устанавливается зависимость усилия на рычагах от их перемещения. Усилие может создаваться механическим или пневматическим устройством. Оно определяется динамометром, а перемещение рычагов – индикатором часового типа.

Характеристики гасителя крутильных колебаний определяются при закреплении ступицы ведомого диска на шлицах неподвижного вала. При этом к диску прикладывается крутящий момент и замеряется угол его перемещения при постепенном увеличении момента (для построения петли гистерезиса). Кроме того, ведомый диск испытывается на центрифуге, где оцениваются его прочностные параметры от воздействия центробежных сил. В этом случае испытания проводятся при частоте вращения, в два раза превышающей максимальные обороты коленчатого вала двигателя. Перед началом испытаний сцепление нагревается примерно до 250^{o} С.

Основными характеристиками привода, которые получают в лабораторных условиях, являются КПД привода и зависимость перемещения нажимного диска от хода педали сцепления. КПД привода оценивается по отношению работы, требуемой на перемещение нажимного диска, ко всей затраченной работе в процессе выключения сцепления.

После снятия перечисленных выше характеристик механизм сцепления в сборе и наиболее ответственную его часть – ведомый диск с фрикционной обшивкой – испытывают на центрифуге. В процессе испытаний определяется надёжность деталей при воздействии центробежных сил. Ведомые диски и сцепление в сборе легковых автомобилей проверяют при частоте вращения, превышающей в 2 раза, а грузовых автомобилей в 1,5 раза максимальную частоту вращения коленчатого вала двигателя. Испытания проводятся обычно в течение 15 мин. Перед началом испытаний сцепление или отдельно ведомый диск с накладками нагревается до температуры 250° С. По окончании испытаний детали тщательно осматриваются с целью обнаружения возможных повреждений.

Испытания на надёжность, включая испытания на долговечность и износостойкость механизма сцепления в сборе и отдельных эго элементов, проводятся, как правило, на стендах, снабженных ведущей массой, момент инерции которой соответствует моменту инерции вращающихся и поступательно движущихся масс

автомобиля. При этом ведущая масса, соединённая с электродвигателем стенда, обычно значительно превышает ведомую массу. Ведомая (нагрузочная) масса подбирается по суммарной массе вращающихся частей трансмиссии с учётом её общего передаточного числа. Ведомая масса, как правило, состоит из набора дисков, позволяющих регулировать режимы нагружения сцепления. Испытания заключаются в периодическом включении сцепления и свободном ускорении ведомой массы до частоты вращения равной частоте вращения ведущей массы, после чего сцепление выключается и осуществляется торможение ведомой массы. Затем цикл повторяется. Надёжность сцепления лимитируется стойкостью фрикционных накладок и других деталей, подверженных износу и усталостным разрушениям. Поэтому большой объём составляют испытания отдельно взятых фрикционных накладок, шарниров и рычагов нажимного диска, пружин и выжимных подшипников, в процессе которых обязательно определяются сопротивление усталостным разрушениям, термостойкость, износостойкость, а для накладок ещё и стабильность коэффициента трения.

Испытания механических коробок передач, раздаточных коробок и коробок отбора мощности в основном регламентируются соответствующими отраслевыми стандартами (ОСТ) для автомобилей и включают: определение надёжности, статистической прочности (по нагрузкам, разрушающим наиболее слабое звено), жёсткости конструкции, изгибного и контактного сопротивления, усталости зубчатых зацеплений, величины и положения пятен контактов зубьев шестерен всех передач под нагрузкой, долговечности подшипников, коэффициента полезного действия, построение температурной характеристики (по времени непрерывной работы в режиме максимальной мощности двигателя), определение качества уплотнений, оценки уровня вибраций и шума, лёгкости переключения передач, качества работы синхронизаторов, муфт переключения и механизмов управления. При испытаниях на надёжность определяется долговечность шестерён (по изгибной и контактной усталости зубьев), подшипников качения (по контактной усталости и износу), подшипников скольжения, муфт переключения передач, синхронизаторов, торцевых поверхностей шестерён, сальников, картера и опор агрегатов. Кроме того, исследуется влияние различных конструктивных и технологических факторов на работу этих редукторов.

Стенды, применяемые для испытаний механических редукторов автомобилей, должны создавать требуемые нагрузочные и скоростные режимы, дозировать и контролировать их во всём рабочем интервале, а также обеспечивать регулировки температурных условий работы агрегатов. Для этих испытаний применяются как стенды разомкнутого типа (стенды с прямым потоком мощности), в которых нагружение осуществляется тормозными устройствами, так и стенды замкнутого типа (с замкнутым потоком мощности) с нагружением внутренними силами, возникающими в результате предварительного и принудительного закручивания валов кинематического контура.

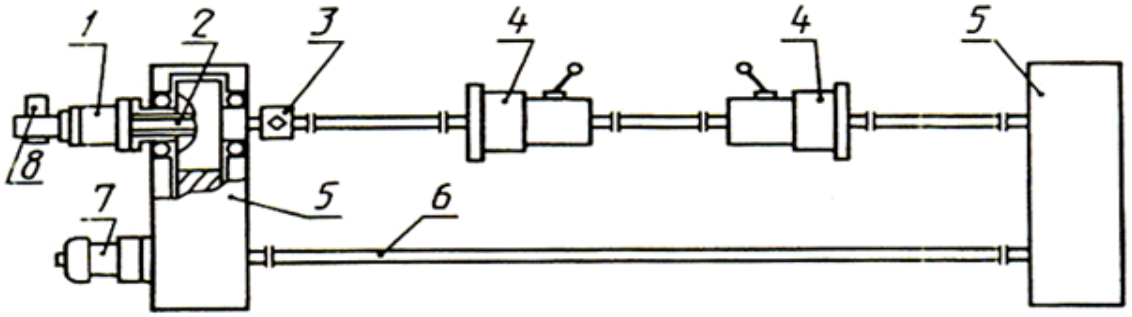
На стендах первого типа обычно проводятся кратковременные несложные ис-

пытания, тогда как стенды второго типа, как более экономичные, нашли применение для длительных испытаний.

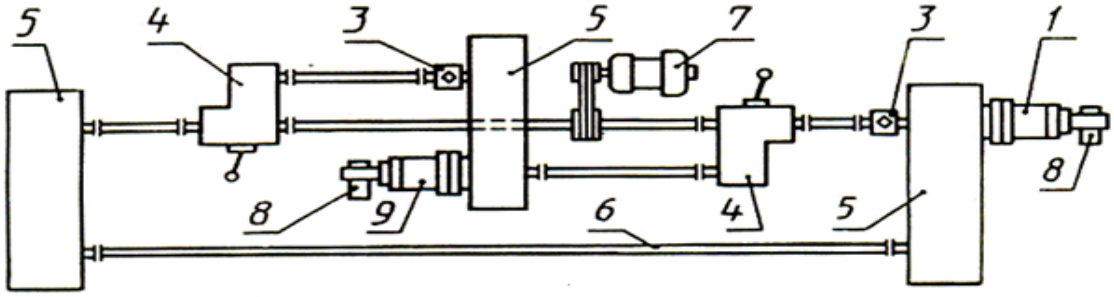
Испытания редукторов в основном проводятся при нагрузках, близких к максимальным крутящим моментам двигателя на каждой передаче, либо по специальным программам, разработанным на основе изучения нагрузочных режимов в условиях реальной эксплуатации. Однако, следует учитывать, что максимальный крутящий момент двигателя используется у автомобилей не часто – около 10 % от общего времени эксплуатации. Вместе с тем иногда на трансмиссию передаётся крутящий момент выше максимального расчётного по двигателю.

Простые одноступенчатые испытания деталей коробок перемены передач и других редукторов в гармоническом режиме нагружения проводятся на стендах любых схем построения. Однако, по экономическим соображениям предпочтительнее выбирать стенды с резонансным приводом, позволяющим при небольших затратах энергии реализовывать высокую частоту и величину нагрузок.

На рис. 69 показаны схемы таких стендов, разработанных фирмой «Шенк».



а)



б)

Рис. 69. Схемы установок фирмы «Шенк» для испытаний коробок передач: а) – без отбора мощности, б) – с отбором мощности; 1 и 2 – статор и вал ротора поворотного цилиндра; 3 – крутильный измерительный динамометр; 4 – испытываемые коробки передач; 5 – замыкающие зубчатые передачи нагружающего момента; 6 – вал затяжки контура; 7 – электродвигатель привода валов; 8 – основной электродроссельный усилитель поворотного гидроцилиндра закрутки кинематической цепи стенда; 9 – гидроцилиндр нагружения валов отбора мощности

Для нагрузок до 600 кН предпочтительнее использовать механические резонансные стенды, при нагрузках свыше 600 кН следует использовать гидрорезонансные стенды. К недостаткам резонансных стендов следует отнести ограничения по демпфирующим свойствам и деформациям испытываемого объекта, а также недостаток свободы выбора частотных параметров нагружения.

Механизмы переключения передач испытываются по специальным программам на стендах с электрическим или пневматическим приводом включения и выключения. Испытания состоят в последовательном включении и выключении передач на частоте вращения, составляющей 75 % от максимальных оборотов каждой передачи. Испытания проводятся до тех пор, пока не станет прослушиваться характерный шум, создаваемый зубчатыми колёсами, свидетельствующий об износе механизмов переключения передач.

Испытания автоматических коробок передач, входящих в состав автоматических автомобильных или тракторных трансмиссий, дополнительно включают исследования зависимости момента переключения от скорости движения машины и нагрузки ведомом валу, а также характеристики управляющих систем и моменты трения в тормозах и фрикционах коробки.

Гидромеханические передачи (ГМП) подвергаются испытаниям на специальных стендах. Их методика регламентирована ГОСТ 12118-75. В этих испытаниях определяется безразмерная характеристика гидротрансформатора, включая зависимости коэффициента трансформации крутящего момента, коэффициента полезного действия и входного момента от передаточного числа механизма.

Испытания проводятся на режиме постоянного крутящего момента на ведущем валу в пределах от 0,5 до 0,9 максимального крутящего момента двигателя.

Статическая прочность гидропередачи определяется при передаточном числе, равном нулю, и моменте на входе, большем максимального значения момента двигателя.

Кроме того, на стендах определяется герметичность, прочность и долговечность уплотнений, а также долговечность муфт свободного хода.

Испытания на работоспособность предусматривают определение возможностей гидропередачи выполнять заданные функции, сохраняя значения основных параметров в пределах, установленных соответствующей технической документацией. Поэлементно в гидродинамических передачах испытываются все основные узлы: гидротрансформатор, насосы, фрикционные механизмы, муфты свободного хода, зубчатые передачи и механизмы блокировки выходного вала.

При испытаниях на долговечность автоматических коробок передач и ГМП в сборе определяется время работы (число циклов), в течение которого объект испытаний сохраняет работоспособность. Нагрузка при этих испытаниях создаётся или такой же, как при работе ГМП на автомобиле в условиях эксплуатации, или увеличенной для ускорения испытаний.

Превышение числа циклов до наступления предельного состояния, которое возникает за время реальной эксплуатации, характеризует, так называемый, «за-

пас» потенциальных свойств объекта испытаний. Однако чрезмерное увеличение циклов нагружения и форсирование режимов испытаний может привести к искажённым и даже неправильным результатам. Поэтому временные параметры и режимы ускоренных испытаний выбираются после тщательного анализа нескольких пробных экспериментов, чтобы характер разрушений или предельного износа деталей был эквивалентен эксплуатационному.

Стендовые испытания карданных передач проводятся в соответствии с ГОСТ 14023-81 и включают измерение всех линейных и угловых размеров, зазоров в соединениях, определение усилия осевого перемещения шлицевого вала в шлицевой втулке, радиального биения трубы карданного вала, контроль качества сварных швов и плавность работы карданных шарниров.

Испытания начинаются с определения прочности под статической нагрузкой крутящим моментом до разрушения слабого звена. Затем исследуется вибрация и производится балансировка. При динамических испытаниях на специальных стендах, оценивается критическая частота вращения до появления изгибных колебаний, а также КПД передачи. Критическая частота вращения устанавливается при постепенном увеличении оборотов до расчётного значения, которое должно превышать на 30 % частоту вращения карданной передачи, соответствующую максимальной скорости движения машины.

При испытаниях по оценке долговечности карданной передачи программируются изменения нагружения по четырём исследуемым параметрам: крутящему моменту, частоте вращения, углу между валами и осевому перемещению в шлицевом соединении.

Карданные передачи в условиях эксплуатации работают как при постоянных режимах нагружения (например, во время движения автомобиля с постоянной скоростью), так и при переменных нагрузках (например, при трогании машины с места или при движении по пересечённой местности). Поэтому испытания карданных передач на стендах проводятся как при фиксированном значении крутящего момента, обычно близкого к максимальному, так и при переменных крутящих моментах в соответствии с заданной программой экспериментов.

Безотказность карданных передач в специфических условиях эксплуатации проверяется на специально оборудованных установках, например, на стендах с грязевой или водяной ваннами, в пылевой или климатической камерах.

В основном испытания карданных передач проводятся на крутильных машинах и инерционных стендах с изменением действующего крутящего момента во времени и по величине. Динамические нагрузки создаются в соответствии с реально действующими в эксплуатации по специальным программам.

Стендовые испытания ведущих мостов проводятся как в сборе, так и поэлементно в соответствии с действующими нормативными документами. Испытываются основные узлы и детали ведущих мостов: главная передача, дифференциал, полуоси, балка моста, поворотные кулаки (управляемых ведущих мостов

полноприводных автомобилей). Методически процесс испытаний главных передач схож с испытаниями коробок передач. При определении статистической прочности и жёсткости ведущих мостов обязательно соблюдается схема нагружения балок мостов, соответствующая приложению вертикальных нагрузок от подвески или несущей системы.

В сварных конструкциях картер ведущего моста доводится до разрушения скручивающей нагрузкой с целью определения качества сварных швов.

При динамических испытаниях определяется КПД ведущего моста, коэффициент блокировки дифференциала, долговечность зубьев шестерён главной передачи, подшипников, деталей дифференциала, сальников и других уплотнений, полуосей и балки моста.

Основной причиной отказов ведущих мостов являются повреждения шестерён главной передачи, режим работы которых в трансмиссии наиболее тяжелый вследствие высокой нагрузки и частого её изменения, причём в широких пределах приложенного крутящего момента и скорости вращения. При составлении программ испытаний учитывается, что питтинговые разрушения происходят при лёгких и средних нагружениях, отслоение цементированного слоя – при средних и тяжёлых, усталостные поломки зубьев шестерён – при крайне тяжёлых режимах нагружения. Режимы нагружения составляются на основании изучения и обобщения опытных наблюдений, сравнительного анализа рабочих процессов в конструкции аналогов и прототипов, фактических данных эксплуатации.

Долговечность полуосей определяется на стендах циклического знакопеременного нагружения крутящим моментом по программам, включающим блоки низкочастотных и высокочастотных нагрузок со ступенчатым изменением амплитуды колебательных процессов.

Сопротивление усталости балок мостов оценивается путём испытаний на специальных стендах-пульсаторах, создающих длительную переменную нагрузку.

Для испытаний ведущих мостов в основном используются стенды с замкнутым потоком мощности.

Ускоренным стендовым испытаниям наиболее часто подвергаются трансмиссии в сборе, включающие в общем случае коробку передач, раздаточную коробку, ведущий мост и конечную передачу. Такое сочетание агрегатов обусловлено тем, что и коробка передач, и раздаточная коробка, и ведущий мост, и конечная передача содержат зубчатые зацепления, подшипники, валы, а подход к их испытаниям в основном – идентичен.

На стендах могут имитироваться как обычные эксплуатационные нагрузки, так и повышенные динамические различного характера для создания условий ускоренных испытаний.

В основу методики ускоренных испытаний положена качественная идентичность повреждений деталей по виду и характеру промежуточных и предельных состояний, полученных в стендовых условиях и при реальной эксплуатации машины. Ускорение испытаний достигается за счёт сокращений перерывов в работе,

увеличения числа циклов и повышения уровня нагружения узла или агрегата по сравнению с эксплуатационными режимами, усиления воздействия факторов, связанных с влиянием окружающей среды и различных внешних воздействий.

Для оценки достоверности результатов стендовых испытаний применяется коэффициент сопоставимости отказов и износов на стенде и в условиях рядовой эксплуатации. Критерием разрушения обычно служит полная потеря деталью несущей способности. Иногда за критерий разрушения принимается начало образования макротрещин, определяемых визуально или с помощью дефектоскопа. Факт разрушения детали или узла иногда устанавливается по резкому изменению режима работы испытательного стенда: падению нагрузки, изменению её амплитуды и частоты, росту деформаций в объекте испытаний, появлению дополнительных шумов и вибраций и др.

Методической основой ускоренных испытаний элементов трансмиссии является использование степенной зависимости между количеством циклов нагружения и напряжениями, вызывающими их разрушение или предельный износ

$$N_{и\ ст.}\sigma^{x} = N_{и.э}\sigma_{э}^{\ x} = const,$$

откуда

$$N_{и.ст} = N_{и.э}(\sigma_{э}/\sigma_{ст})^{x},$$

где $N_{и.ст}$ и $N_{и.э}$ – число циклов нагружения детали при испытаниях на стенде и в условиях реальной эксплуатации;

$\sigma_{ст}$ и $\sigma_{э}$ – напряжения в детали, соответствующие указанным условиям;

x – показатель степени, зависящий от вида детали и её напряжения.

При одинаковой частоте вращения на стенде и в условиях реальной эксплуатации ($n_{ст} = n_{э}$), исходя из зависимостей

$$N_{и.ст} = n_{и.ст}T_{и.ст}; \quad N_{и.э} = n_{и.э}T_{и.э},$$

можно определить продолжительность ускоренных стендовых испытаний:

$$T_{ст} = T_{э}(\sigma_{э}/\sigma_{ст})^{x}.$$

Для исключения искажений результатов стендовых испытаний и их сопоставимости с результатами испытаний в условиях эксплуатации при выборе режимов экспериментов вводится ряд ограничений: напряжения должны быть не ниже $0{,}7\sigma_{-1}$ для проявления усталостного характера работы деталей и не превышать предела пропорциональности. Кроме того, фактические нагрузки не должны вызывать перекосов и деформаций, нарушающих качество сопряжений деталей, а также повышения температуры испытываемой сборочной единицы, приводящего к ухудшению свойств смазочных материалов.

При стендовых испытаниях элементов фрикционных сборочных единиц воспроизводится суммарная работа трения, которая имеет место при работе машины в условиях эксплуатации и определяется статистическими методами по результатам эксплуатационных испытаний. Для фрикционных элементов обязательно ограничивается работа трения – удельные работа и мощность трения не должны превышать предельных значений. Кроме того, интервал времени между циклами должен быть достаточным для обеспечения охлаждения поверхностей трения.

Ускорения ресурсных испытаний трансмиссий автомобилей можно достичь главным образом на стендах с замкнутым силовым контуром, так как на них проще воспроизводится необходимое увеличение всех режимов.

Наиболее простая схема стенда ускоренных испытаний показана на рис.70.

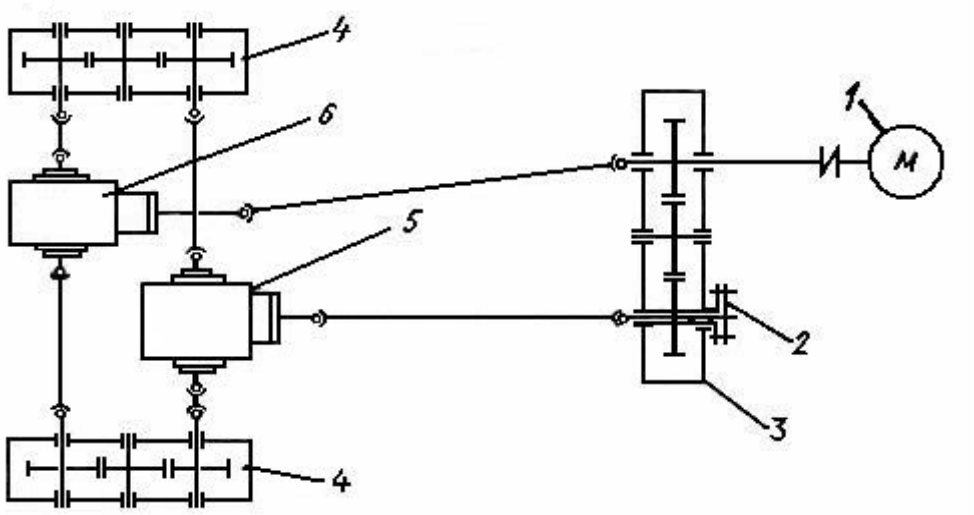


Рис. 70. Схема стенда с замкнутым контуром мощности

На стенде устанавливаются две трансмиссии 5 и 6 с раздаточным редуктором 3, двумя боковыми редукторами 4 и карданными валами, образующими замкнутый контур, который нагружается статическим крутящим моментом за счёт предварительного закручивания упругих элементов стенда и трансмиссий с помощью механизма нагружения 2. Вращение от приводного двигателя 1 передается через редуктор 3 к испытываемым трансмиссиям. При этом мощность двигателя затрачивается только на преодоление сил трения в контуре, а эффект ускорения испытаний по времени достигается предварительным нагружением контура крутящим моментом, превышающим эксплуатационный. Значение крутящего момента, нагружающего контур, выбирается либо по мощности двигателя испытываемой машины, либо из условий реализации крутящего момента по сцеплению её движителя с опорной поверхностью.

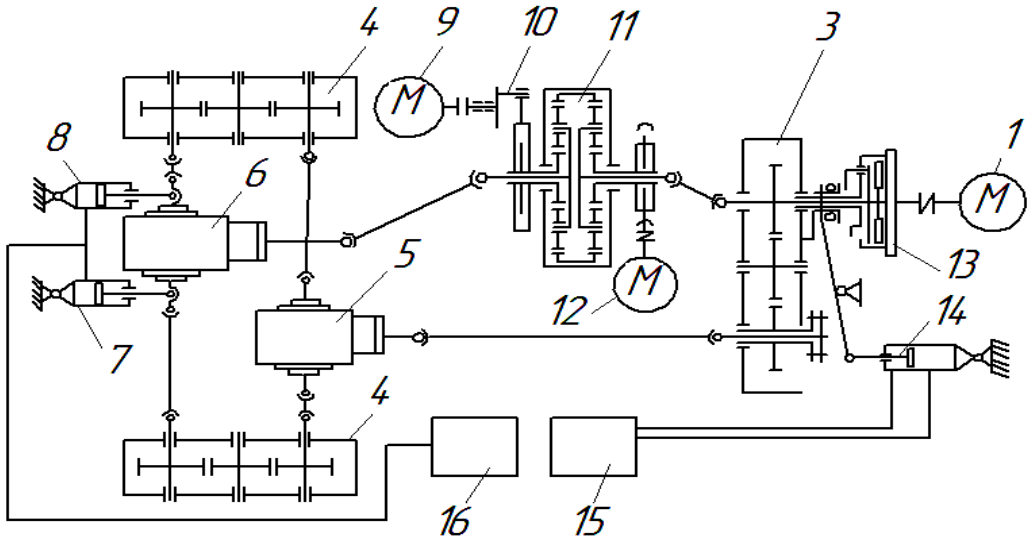
Ускорение испытаний достигается также за счёт увеличения крутящего момента, передаваемого трансмиссией на каждой передаче. Этот стенд не позволяет

воспроизводить в испытываемых трансмиссиях переменный крутящий момент.

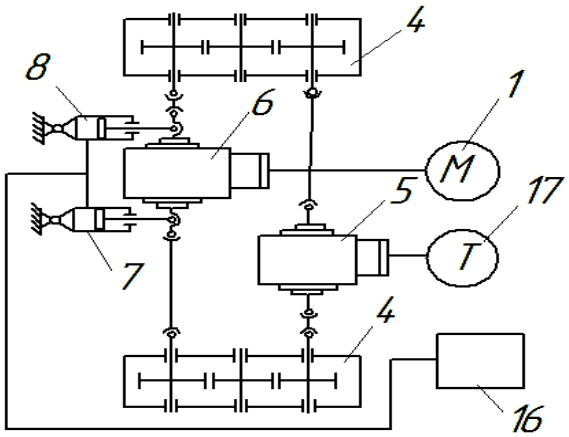
В реальных условиях эксплуатации при установившемся режиме движения машины крутящий момент меняется как по частоте, так и по амплитуде, характерными для определённой модели автомобиля и дорожного покрытия, по которому движется автомобиль.

При разгоне машины момент в трансмиссии значительно превышает момент, передаваемый при установившемся движении.

Схема, приведенная на рис.71, иллюстрирует дальнейшее развитие стенда, представленного на рис.70.



а)



б)

Рис. 71. Схемы стендов для ускоренных испытаний трансмиссий:
а) – с замкнутым контуром мощности и изменением крутящего момента;
б)– с открытым контуром мощности

Такой стенд обеспечивает периодическое изменение крутящего момента в замкнутом контуре трансмиссии (см. рис. 71, *а*). Это достигается за счёт обеспечения различных углов закручивания валов с помощью планетарного нагружателя 11, расположенного между раздаточным редуктором 3 и испытываемыми трансмиссиями 5 и 6. Двигатель 9 нагружателя приводит в движение кривошипно-шатунный механизм 10 с переменным радиусом кривошипа, воздействующий через зубчато-реечный механизм на солнечную шестерню планетарного нагружателя 11. Частота вращения двигателя 9 обусловливает частоту изменения момента в контуре, а радиус кривошипного механизма – амплитуду его колебаний. Загрузка замкнутого контура статическим крутящим моментом осуществляется нагружателем 11 при вращении электродвигателя 12. Особенность стенда состоит также в том, что на нём обеспечивается пульсация изгибающих нагрузок на полуосях и корпусных деталях трансмиссии с помощью гидропульсаторов 7 и 8, управляемых механизмом 16. На таком стенде обеспечиваются также периодически повторяющиеся пускоостановочные режимы работы испытываемых трансмиссий путём последовательного включения и выключения фрикционной муфты 13 при помощи механизмов 14 и 15. Этот режим работы стенда обеспечивает повышенную загрузку элементов трансмиссии.

Наряду со стендами с замкнутым силовым контуром для ускоренных ресурсных испытаний используются также стенды с открытым контуром или с рекуперацией мощности. Такие стенды проще по конструкции, потребляют меньше энергии, занимают меньшие площади и поэтому достаточно распространены в практике испытаний. В качестве примера такой установки на рис. 71, *б* приведена схема стенда с открытым нагружающим контуром для испытаний трансмиссионных редукторных механизмов. Здесь в качестве приводного устройства используется электродвигатель 1 постоянного тока, а нагружение всего контура осуществляется электротормозом 17.

Отдельные зубчатые передачи в коробках перемены передач, в раздаточных коробках, в коробках отбора мощности и в бортовых передачах испытываются в ускоренном режиме, как правило, в тех же картерах, в которых они изначально собраны и работают на машине, в целях воспроизведения реальных условий их работы (режима смазывания, идентичности жёсткости валов, опор и корпусных деталей, температурного режима и др.). Если же целью испытаний является оценка влияния на долговечность зубчатых передач, их конструктивных особенностей или технологии изготовления (геометрии зацепления зубчатых колёс, материала, из которого они изготовлены, вида термообработки, чистоты поверхности и др.), то при прочих равных условиях испытаний их целесообразнее проводить в специальных универсальных корпусах. Такие стендовые установки меньше по габаритам, дешевле в изготовлении и эксплуатации, потребляют меньше энергии, но менее точны, так как не воспроизводят полностью реальные нагрузки.

В тоже время обязательно следует учитывать, что исследование различных характеристик, в том числе прочностных свойств и долговечности, отдельных деталей и простейших узлов позволяет существенно уменьшить стоимость испытаний

агрегатов и систем в целом, изготовить больше опытных образцов и изучить развитие повреждений при однотипных режимах, так как в этом случае эксплуатационную нагруженность отдельной детали или отдельного элемента всегда можно воспроизвести проще и более точно, чем при стендовых испытаниях агрегата.

Это очень важно, так как такая методика позволяет заранее определить слабое звено, модернизировать его и решать многие вопросы повышения технического уровня агрегатов, систем и полнокомплектных автомобилей.

7.1.3. Стендовые испытания рам, кузовов и кабин

Эти испытания проводятся на стендах статического и динамического нагружения раздельно от шасси или совместно в различной комплектации. Программы и методики этих испытаний, как правило, определяются заводом-изготовителем, либо научно-исследовательской организацией, проводящей эксперименты. Цель статических испытаний – проверка прочности и жёсткости при действии нагрузок, вызывающих изгиб и кручение несущих систем. При этом выявляются ослабленные и перегруженные элементы и соединения, оцениваются деформации конструкций под действием устанавливаемых агрегатов и грузов, а также от различных видов внешнего нагружения.

При этих испытаниях преимущественно реализуются два вида нагружения:
– изгиб в вертикальном направлении под действием сил и реакций, приложенных в местах реального воздействия (опоры рессор, двигателя, кабины, кузова и других агрегатов) с перегрузкой (например, для легковых автомобилей в – 2 раза, для грузовых автомобилей – в 3 раза);
– закручивание моментом, соответствующим предельному перекосу в реальных условиях эксплуатации при преодолении экстремальных препятствий.

Напряжения в любом сечении элементов конструкции при этих испытаниях не должны превышать предела текучести материала, а любые деформации в сечениях – допустимых величин для сохранения зазоров между элементами конструкций в дверных и оконных проёмах, в сочленениях с различными панелями, не нарушать иных показателей форм и допусков на геометрические размеры, предусмотренные конструкторско-технологической документацией на изготовление и сборку кузовных сборочных единиц.

Важной задачей стендовых испытаний является изучение напряженного состояния всех элементов несущей системы под нагрузкой.

Статические стендовые испытания применяются во многих программах экспериментальных исследований, например, при тензометрировании рам или кузовов во многих точках. Результаты этих испытаний служат основанием существенного сокращения объёмов измерений в последующих динамических испытаниях. Эффективным в этом плане следует считать и информативный метод хрупких лаковрасплавов, который используется перед тензометрическими измерениями. Статические стендовые испытания используются и при оценке пассивной безопасности

различных машин, например, вертикальное нагружение кабины грузового автомобиля, соответствующее двойному весу снаряжённого автомобиля служит нормативом стойкости при опрокидывании.

Стендовые испытания с динамическими нагружениями выполняются по тем же схемам установки несущих систем, кабин и кузовов, что и при статических испытаниях. На современных стендах с гидропульсаторами динамическое нагружение регулируется в широких пределах изменения амплитуд и диапазонов частот, причём одновременно на изгиб и кручение, что приближает условия испытаний на стендах к условиям работы в реальной эксплуатации. Применяется также динамическое локальное нагружение на отдельных участках конструкции с помощью различных вибраторов направленного действия для оценки прочности отдельных деталей и сочленений, определения частот собственных колебаний крупных элементов (например, панелей капота, багажника, крыши, дверей), выявления зон и форм опасных резонансных колебаний для выработки мероприятий по их уменьшению или полному устранению.

На стендах с динамическим нагружением прежде всего оценивается долговечность конструкции в целом (в сборе рам, кузовов, кабин), их сборочных единиц (например, лонжеронов с траверсами и кронштейнами, отдельных панелей в сборе) и отдельных узлов (например, петель и замков дверей, держателей, подъёмников и очистителей стёкол, буксирных устройств и др.).

Динамические стендовые испытания кузовов и кабин являются обязательным атрибутом оценки прочностных свойств этих конструкций и, в тоже время, эффективным способом оценки многих параметров пассивной безопасности машины в целом. При этом имитируются условия опрокидывания, фронтального или бокового столкновения, наезды сзади, наезды с заданной скоростью на массивное препятствие под различными углами (стенды-катапульты), удары в различные места конструкции (копровые стенды). Например, удар спереди по верхнему углу кабины имитирует падение машины с откоса, а прямой удар по задней стенке имитирует воздействие незакреплённого груза при резкой остановке. Схожими методами, но с определённой спецификой, испытываются разные съёмные элементы кузовов и кабин (например, капот, крышка багажника, двери и др.).

Современные методики краш-тестов строго регламентированы и применяются различными организациями в соответствии с действующими международными требованиями и стандартами.

7.1.4. Стендовые испытания подвесок

Испытания подвесок проводятся в соответствии с действующими нормативными документами и включают определение характеристик упругости при вертикальных и поперечно-угловых деформациях, демпфирующих свойств и кинематики. Испытания подвесок в целом, а также отдельных их элементов и деталей проводятся с целью оценки их надёжности (в основном безотказности, долговечности и ремонтопригодности).

Исследования упругости подвески с торсионами, листовыми рессорами и пружинами ограничиваются статической тарировкой. Пневматические и гидропневматические подвески испытываются на специальных стендах как при квазистатическом (медленном) сжатии при разных начальных давлениях упругой среды, так и в режиме динамического нагружения по гармоническому закону с различными амплитудами и частотами.

Амортизаторы испытываются на стендах для определения зависимости развиваемой силы сопротивления от скорости перемещения поршня (в зависимости от параметров неподрессоренных частей). При контрольных и приёмочных испытаниях амортизаторов определяются герметичность, а также шумность и плавность их работы. Кроме того, проверяется стабильность рабочей диаграммы и оценивается зависимость поглощаемой энергии за цикл сжатия и отбоя от температуры заполняющей рабочей жидкости.

Стендовые испытания на долговечность проводятся поэлементно для упругих элементов, деталей направляющих устройств и для амортизаторов при динамических нагружениях по соответствующим программам. Испытываются также комплекты сопряжённых узлов (например, листовые рессоры совместно с шарнирами и кронштейнами крепления к раме). В последнее время получают распространение стендовые испытания подвесок с одновременным нагружением на сжатие, изгиб и кручение при циклическом воздействии.

7.1.5. Стендовые испытания шин

Работа шин во многом определяется их упругими характеристиками, в частности, коэффициентами нормальной, боковой, крутильной и угловой жёсткостей, представляющих собой отношение соответственно нормального и бокового усилий, а также крутящего и поворачивающего моментов в месте контакта шин с дорогой к вызываемым ими деформациями шин в соответствующих направлениях.

Испытания шин на стендах проводятся для определения геометрических параметров (радиусов: свободного, статического, динамического и качения, площади контакта с опорной поверхностью по выступам рисунка протектора, по контуру отпечатка), силовых параметров (характеристик упругости и демпфирования при нагружении нормальной, боковой и окружной силами, характеристик бокового увода, сцепных свойств, долговечности по износу протектора и расслоению каркаса), а также характеристик, определяющих взаимодействие шин с опорной поверхностью.

Перед испытаниями шины взвешиваются, обмеряются, включая глубину протектора, и тщательно балансируются.

Характеристики упругости и демпфирования определяются на стендах в режимах квазистатического и динамического нагружения. В последнем случае испытания проводятся при возбуждении и регистрации свободных колебаний опирающейся на шину массы на невращающемся колесе или при вынужденных колебаниях массы на катящемся колесе. Искомые характеристики получаются после

обработки зарегистрированных колебаний диссипативной системы, эквивалентной стендовой установке, с учётом заранее известных её параметров.

Силовые показатели взаимодействия колеса с опорной поверхностью определяются на стендах как в ведущем, так и тормозном режимах, включая буксование и полное скольжение. Преобладающими при стендовых испытаниях шин являются режимы качения по внешним поверхностям вращающихся опорных барабанов или перемещающихся опорных поверхностей ленточного типа. В большинстве случаев такие испытания шин проводятся на шинообкатных станках, на которых замеряются все необходимые параметры и характеристики и, кроме того, значительно ускоряются наступления предельных состояний.

Испытания шин на долговечность, включая долговечность каркаса и износостойкость протектора, проводятся на универсальных шинообкатных станках, на которых в процессе обкатки по барабану со стальной рифлёной поверхностью на шину действует постепенно увеличивающийся по заданной программе переменный крутящий момент.

Исследуются на стендах также температурные состояния, эпюры давлений, снос реакций и другие показатели рабочих процессов шин.

Характеристики сопротивления качению колеса с шиной при различных вертикальных нагрузках определяются на специальных стендах с вращающимся в горизонтальной плоскости диском.

7.1.6. Стендовые испытания колёс

Колёса и ступицы испытываются в стендовых условиях, когда необходимо оценить их прочность под действием статических и динамических вертикальных и боковых сил. Тангенциальные нагрузки и крутящие моменты, как правило, не учитываются, так как их влияние на прочность обода и диска колеса незначительны. Поэтому окружная сила обычно не прикладывается.

На стендах для испытаний колёс обод колеса с шиной, находящейся под давлением, устанавливается неподвижно и подвергается нагружению. При этом часто применяется метод хрупких лаков-расплавов, позволяющий выявлять наиболее нагруженные участки, что в последующем определяет места наклейки тензорезисторов для количественной оценки прочностных качеств колёс. Лаки наносятся на поверхность колёс и при испытаниях трескаются. По величине и густоте трещин определяются наиболее нагруженные участки, куда в последующем клеятся тензодатчики (трещины всегда располагаются поперёк растягивающих – сжимающих деформаций).

На таких стендах испытываются колёса и на усталостную прочность. Нагрузки при этом носят знакопеременный циклический характер.

Шины в сборе с ободьями испытываются на прочность в броневой камере. Постепенным повышением давления шина или обод доводятся до разрушения. Для обеспечения безопасности испытаний и предотвращения взрыва вместо воздуха в шину нагнетается вода.

7.1.7. Стендовые испытания рулевых управлений

Испытания рулевых управлений регламентируются двумя нормативными документами: РД 37.001.005-86 и ОСТ 37.001.471-88. Согласно этим документам в процессе стендовых испытаний определяются передаточное отношение рулевого управления, равное сумме передаточных чисел рулевого механизма и рулевого привода, параметры стабилизации – углы развала и схождения колёс, продольные углы наклона шкворней, жёсткость привода, усилие на рулевом колесе, его свободный ход и КПД рулевого механизма. Кроме того, на стендах испытываются на надёжность рулевые механизмы, насосы, гидроусилители, силовые цилиндры, а на износостойкость – шарниры тяг и рычагов.

При стендовых испытаниях рулевых механизмов внешняя нагрузка прикладывается к сошке и к рулевому валу при его возвратно-вращательном движении. Режимы переменного нагружения устанавливаются по моменту, равному 50 % его значения для поворота управляемых колёс на месте и по частоте примерно 3 об/с. Помимо этого определяются разные характеристики рулевых приводов – силовое (зависимость момента на валу сошки от момента на рулевом колесе) и угловое (зависимость давления в гидроусилителе от угла поворота рулевого колеса) передаточные числа, износ деталей, максимальное усилие на рулевом колесе, герметичность гидравлического привода. Все эти параметры определяются на специальных или универсальных стационарных стендах. Определённую специфику имеют испытания рулевых управлений с электроусилителями.

Передаточное число рулевого механизма определяется по отношению угла поворота рулевого колеса к углу поворота вала сошки. Общее передаточное число рулевого управления (отношение угла поворота рулевого колеса к углу поворота управляемых колёс) определяется на специальных оптических стендах, оборудованных электронными угломерами.

Измерение углов установки управляемых колёс и шкворней проводятся на статических и динамических специализированных установках. К статическим относятся стенды, на которых не требуется вращения колёс. Эти стенды не обладают высокой точностью, но просты по конструкции и удобны в эксплуатации.. Динамические устройства применяются для точной проверки и регулировки углов установки управляемых колёс и шкворней, причём обеспечивают точное выполнение всех работ с минимальными затратами времени.

Важное значение с точки зрения кинематики рулевого управления, возникновения колебаний, износа шин и устойчивости движения имеет жёсткость рулевого привода. Поэтому испытания по оценке жёсткости рулевого привода выполняются при различных усилиях на рулевом колесе вплоть до максимального значения, которое соответствует повороту колёс на неподвижной машине (иногда при повороте колёс, находящихся в глубокой колее). В этих испытаниях определяется деформация каждого элемента рулевого привода с помощью специальных индикаторов, а усилие на рулевом колесе – с помощью самопишущих динамометрических устройств.

7.1.8. Стендовые испытания тормозных систем

Испытания тормозных систем различных автотранспортных средств регламентированы «Правилами № 13. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении торможения. E/ECE/505/5,TRANS, 1973 г.».

В стендовых испытаниях определяются суммарная тормозная сила, тормозные силы на каждом колесе, усилие на тормозной педали, время срабатывания тормозного привода, надёжность тормозных систем, износ тормозных накладок, характеристики колёсных тормозов в различных температурных условиях, герметичность гидро- и пневмоприводов, параметры стояночных тормозов.

Поэлементно в тормозных системах с гидроприводом определяются параметры и характеристики главного тормозного цилиндра, колёсных тормозных цилиндров, регуляторов давления, трубопроводов и шлангов, а в тормозах с пневмоприводом – в основном тормозных кранов, пневмокамер, регуляторов давления, клапанных механизмов, ресиверов, компрессоров и трубопроводов.

По отдельным программам и методикам испытываются тормозные приводы с антиблокировочными системами (АБС). Эти испытания регламентированы «Приложением к правилам № 13. Предписания, касающиеся испытаний тормозных систем, оборудованных различными антиблокировочными устройствами. TRANS/Sc1/P/29/CRF/3». Оценка влияния АБС на тормозную эффективность автотранспортных средств осуществляется определением различных параметров процесса торможения с учётом коэффициента использования сил сцепления.

Эффективность действия тормозных систем определяется на стендах, которые по конструктивному исполнению можно разделить на три группы: роликовые, с инерционными массами и платформенные.

По характеру воздействий стенды разделяются на статические и динамические, а по способу передачи тормозного момента – на стенды с использованием сил сцепления и передачей тормозного момента через опорную поверхность колёс и на стенды без использования сил сцепления колеса и с передачей тормозного момента непосредственно через ступицу колеса.

Наибольшее распространение в настоящее время получили роликовые стенды с использованием сил сцепления, как наиболее простые и удобные в испытаниях. Следует отметить, что при малой частоте вращения роликов тормозные силы на этих стендах воспроизводятся с несколько большими значениями, чем в дорожных условиях при реальных скоростях движения. Увеличение частоты вращения колеса машины на стенде влечёт увеличение мощности, затрачиваемой на привод, что, в свою очередь, влияет на измеряемые параметры и стоимость стендовых испытаний. Поэтому для реализации реальных тормозных сил на стендах не используются скорости ниже 10 км/ч (для легковых автомобилей) и – 5 км/ч (для грузовых автомобилей).

Обычно роликовые стенды включают опорно-приводное и измерительное устройства. Опорно-приводное устройство состоит из рамы, нескольких пар роликов,

на которые устанавливаются колёса осей машины и приводных электродвигателей, вращающих ролики. Для реализации полного тормозного момента при помощи сил сцепления ролики соединяются цепью, а их поверхность делается рифлёной или покрытой фрикционным материалом. Для этой же цели диаметр роликов выполняется небольшим, а вот расстояние между роликами обычно увеличивается и регулируется таким образом, чтобы обеспечивалось хорошее сцепление и не было возможности самопроизвольного выезда машины при измерении максимального тормозного момента. Один из каждой пары роликов соединён через редуктор с приводным балансирно подвешенным электродвигателем. Статор этого электродвигателя при помощи рычага соединяется с датчиком измерительного устройства.

Методика испытаний предусматривает запись всех параметров процесса торможения, их автоматический анализ и выработку рекомендаций по устранению выявленных недостатков.

Инерционные тормозные стенды по принципу действия делятся на барабанные и платформенные. Барабанные стенды предназначены для общих и поэлементных испытаний тормозных систем. Как правило, эти стенды оборудуются измерительным комплексом, позволяющим определять все необходимые параметры и характеристики тормозных систем автомобилей.

Барабанные стенды аналогичны роликовым, но опорно-приводное устройство у них может иметь привод от ведущих колёс машины. Маховые массы инерционных стендов объединяют массы беговых барабанов и присоединяемых к ним маховиков. Величины маховых масс определяются из условия равенства кинетической энергии, поглощаемой тормозами автомобиля на полноопорном стенде, и кинетической энергии поступательно и вращательно движущихся масс автомобиля на дороге.

После установки автомобиля на инерционный стенд окружная скорость колёс доводится до имитации движения со скоростью около 70 км/ч и затем резко тормозится. Одновременно разобщаются все каретки стенда путём выключения электромагнитных муфт. Заданная сила нажатия на тормозную педаль обеспечивается автоматическим устройством в соответствии с заложенной программой.

Тормозной путь определяется по числу оборотов барабанов стенда, фиксируемому счётчиком, а замедление – угловым деселерометром. На инерционном стенде возможно и прямое измерение тормозного момента по величине реактивного крутящего момента между маховиком и барабаном.

Платформенные стенды обычно применяются для экспресс-тестирования тормозных систем легковых и грузовых автомобилей. Они имеют четыре подвижных платформы, на которые въезжает колёсами машина со скоростью около 10 км/ч и останавливается при резком торможении. Под влиянием возникающих при этом сил инерции и сил трения между шинами и поверхностью площадок происходит перемещение платформ. Величина перемещения каждой платформы воспринимается специальными датчиками, фиксируется и записывается аппаратурой стенда (обычно с помощью компьютерных технологий).

7.2. Стендовые испытания полнокомплектных автомобилей

Стендовые испытания полнокомплектных автомобилей проводятся главным образом для комплексной оценки характеристик машины, основываясь на принципе обратимости движения в системе «машина – опорная поверхность». Такие испытания в значительной степени приближаются к испытаниям в реальных условиях эксплуатации и служат не только для оценки конструктивных и эксплуатационных характеристик, но и для составления оптимальных программ испытательных работ, с учётом обеспечения необходимой полноты и достоверности получаемой экспериментальной информации, с одной стороны, и минимальных затрат труда, времени и материальных ресурсов – с другой.

Все виды испытаний полнокомплектных автомобилей включают отбор и приёмку машин, а также соответствующую подготовку к их проведению. На испытания произвольно выбираются образцы из готовой продукции, прошедшей технический контроль предприятием-изготовителем, в отдельных случаях отбор проводится выборочно. Иногда испытаниям подвергаются машины, находящиеся определённый период в реальной эксплуатации.

На отобранных для испытаний образцах (если это допускается) проверяются:
– комплектность машины и снаряжения, наличие инструмента, отметки отдела технического контроля (ОТК), состояние пломб;
– качество сборки, регулировки и отделки путём осмотра для обнаружения дефектов окраски, сварки, обивки и прочее;
– наличие предусмотренного техническими условиями эксплуатации количества масел и технических жидкостей в агрегатах и системах;
– герметичность соединений гидравлических и пневматических систем;
– затяжка, крепление, шплинтовка деталей, узлов и агрегатов;
– работа двигателя на холостом ходу и на различных режимах;
– состояние трансмиссионных агрегатов;
– состояние приводов к навесному и вспомогательному оборудованию;
– состояние тормозных систем и рулевого управления;
– регулировка установки фар, зазоров в приборах зажигания, регулировка зазоров в клапанном механизме двигателя, натяжение приводных ремней, состояние аккумуляторной батареи и другие параметры;
– давление в шинах;
– исправность тягово-сцепных устройств.

По результатам проверки устраняются обнаруженные недостатки и дефекты.

Почти во всех видах стендовых испытаний полнокомплектных автомобилей центральной задачей является формирование внешнего нагружения машин. Общим требованием при её решении является возможно более тесная корреляция нагружения на стенде с нагружением в реальных условиях эксплуатации или эквивалентность их повреждающего воздействия. Отражается это решение в задаваемых программах нагружения машины, которые могут быть трёх типов:

– с постоянной или с циклической нагрузкой, но с постоянной амплитудой при нулевом или заранее заданным средним значением;
– с переменной ступенчатой или циклической нагрузкой, но с заданным изменением амплитуды в отдельных блоках;
– со случайной нагрузкой, воспроизводящей процесс нагружения машины в реальной эксплуатации (моделирование натурного нагружения).

Основанием для разработки таких программ служат статистический анализ нагрузочных режимов соответствующих деталей, узлов, агрегатов и систем, зарегистрированных при испытаниях в дорожных условиях; анализ отказов в эксплуатации; теоретические предпосылки прочностных и усталостных повреждений деталей и материалов, а также заранее известные теоретические характеристики рабочих процессов в агрегатах и системах машин.

На стендах для испытаний полнокомплектных автомобилей (в базовой комплектации или в агрегатированном варианте) их ведущие колеса устанавливаются на вращающиеся круглые катки (барабаны или ролики), а кузов удерживается от смещения относительно неподвижного основания расчалками.

На стендах исследуются параметры надёжности (в основном безотказность и долговечность), тягово-скоростные характеристики, топливная экономичность машин, температурные режимы отдельных узлов и агрегатов, особенности взаимодействия колёс с опорной поверхностью и другие свойства. Кроме того, имитируются переходные неустановившиеся режимы движения (например, разгон и накат) при установке в приводах стендов инерционных масс.

Помимо всего прочего на таких стендах определяется также универсальная характеристика машины, как колебательной системы, реагирующей на воздействие дорожных неровностей (передаточная функция комплексной системы, амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики, а иногда совмещённая амплитудно-фазо-частотная характеристика). Это достигается установкой на рабочей поверхности опорных катков стенда специальных накладок, образующих по периметру необходимый профиль. При вращении катков с такими накладками зоны контакта опирающихся них колёс смещаются в вертикальном направлении по заранее заданному закону изменения амплитуд колебаний, создавая кинематическое возмущение всей колебательной системы.

Частота такого возмущения регулируется скоростью вращения катков, а амплитуда – высотой устанавливаемых накладок.

Стендовые испытания и исследования полнокомплектных машин постоянно совершенствуются и усложняются. Это сопровождается развитием программ и методик экспериментальных работ, применением современных технических средств, обеспечением автоматизации всех этапов получения, обработки, интерпретации, документирования и хранения полученной информации.

По функциональным возможностям стенды для испытаний полнокомплектных машин подразделяются на универсальные и специализированные. Часть из этих стендов могут иметь уникальное целевое назначение. Они выпускаются только

по индивидуальным заказам, другие стенды имеют типовую конструкцию и выпускаются промышленным способом малыми сериями.

Показатели тягово-скоростных свойств, топливной экономичности автомобилей и их двигателей, рабочих характеристик агрегатов и систем определяются в лабораторных условиях с помощью роликовых (барабанных) тяговых стендов, оборудованных как стационарными, так и переносными техническими средствами измерения различных параметров.

Тяговые стенды позволяют определять показатели развиваемой мощности и тяговой силы на ведущих колесах автомобиля, времени разгона (выбега) в заданном скоростном интервале, различные потери в трансмиссии, скорость в моменты переключения гидромеханической передачи, расход топлива при определенных нагрузочных и скоростных режимах, установку оптимального угла опережения зажигания по силовым параметрам (максимальной мощности), температурные режимы трансмиссионных агрегатов и регулировку на нормативную токсичность отработавших газов. При испытаниях автомобиля на тяговом стенде можно также оценить работу вспомогательных механизмов, например, работу редуктора моторного тормоза, спидометра, счётчика пройденного пути, тахометра, а также проверить техническое состояние ходовой части автомобиля и измерить все параметры тормозной системы. Основными признаками классификации тяговых стендов являются способ нагружения двигателя и трансмиссии автомобиля, тип испытываемого автомобиля и число одновременно измеряемых процессов. По способу нагружения двигателя и трансмиссии автомобиля тяговые стенды подразделяют на три типа: инерционные, в которых нагружение осуществляется вращающимися массами роликов и других элементов тягового стенда и автомобиля, кинематически связанных с роликами; силовые, в которых нагружение осуществляется тормозным устройством, кинематически связанным с роликами; инерционно-силовые, в которых нагружение выполняется вращающимися массами и тормозным устройством одновременно. По типу испытываемых автомобилей тяговые стенды подразделяются на установки для легковых автомобилей, для грузовых автомобилей и машин, созданных на их базе, для полноприводных автомобилей и для автобусов, на универсальные (для нескольких типов автомобилей). По числу одновременно измеряемых процессов стенды бывают специализированными для измерения строго определённых заранее задаваемых характеристик и универсальными для испытаний по различным и методикам. Оба этих типа стендов оснащаются системами автоматизированного и дистанционного управления.

На рис. 72 приведены схемы барабанных стендов универсального типа для испытаний двух- и трёхосных автомобилей.

Основными частями тяговых стендов являются опорное устройство, пульт управления и индикации, технические средства измерений и обработки данных (стационарные и переносные), устройство отвода отработавших газов. Опорное устройство стенда состоит из блока роликов, устройств въезда и выезда машины, нагрузочного устройства (для силовых и инерционно-силовых стендов), инерционных нагружающих масс.

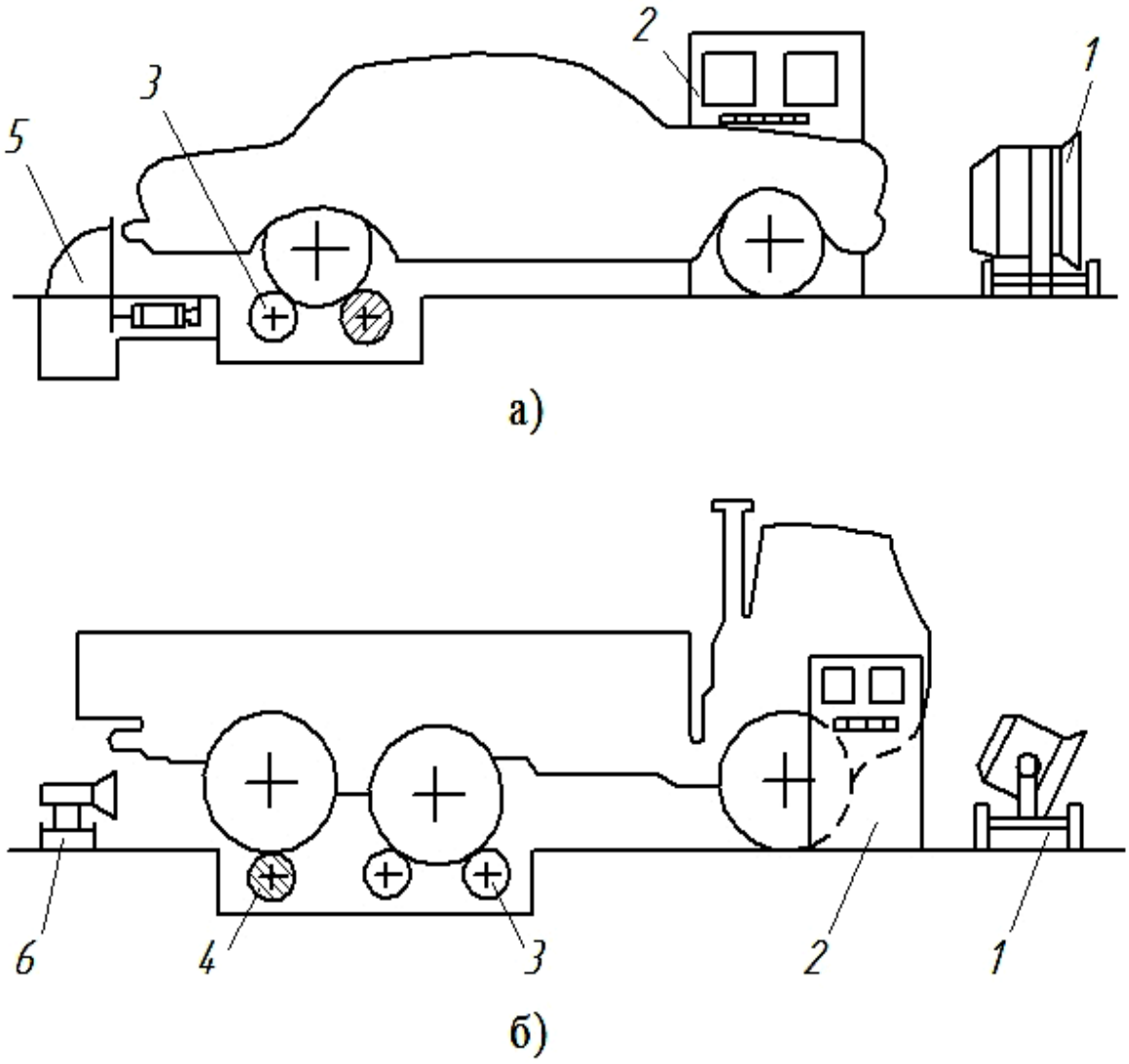


Рис. 72. Схемы универсальных барабанных стендов:
а) – для двухосных машин; б) – для трёхосных автомобилей;
1 – вентилятор; 2 – пульт управления; 3 – основные опорные ролики;
4 – ведущий ролик; 5 и 6 – устройства отвода отработавших газов
и средства охраны труда

Конструкция блока роликов должна обеспечивать реализацию заданной тяговой силы на ведущих колёсах на всех режимах испытаний в соответствии с заложенной программой экспериментов, устойчивое положение автомобиля в процессе испытаний, возможность самостоятельного въезда и выезда автомобиля и не вызывать повышенного износа шин.

Условие реализации заданного тягового усилия зависит от нескольких факторов: от схемы расположения роликов, от характеристик поверхности роликов, которые определяют коэффициент сцепления ведущих колёс с опорными роликами, от оборотов и проскальзывания ведущих колёс, от характеристик шин.

Схемы расположения роликов приведены на рис.73.

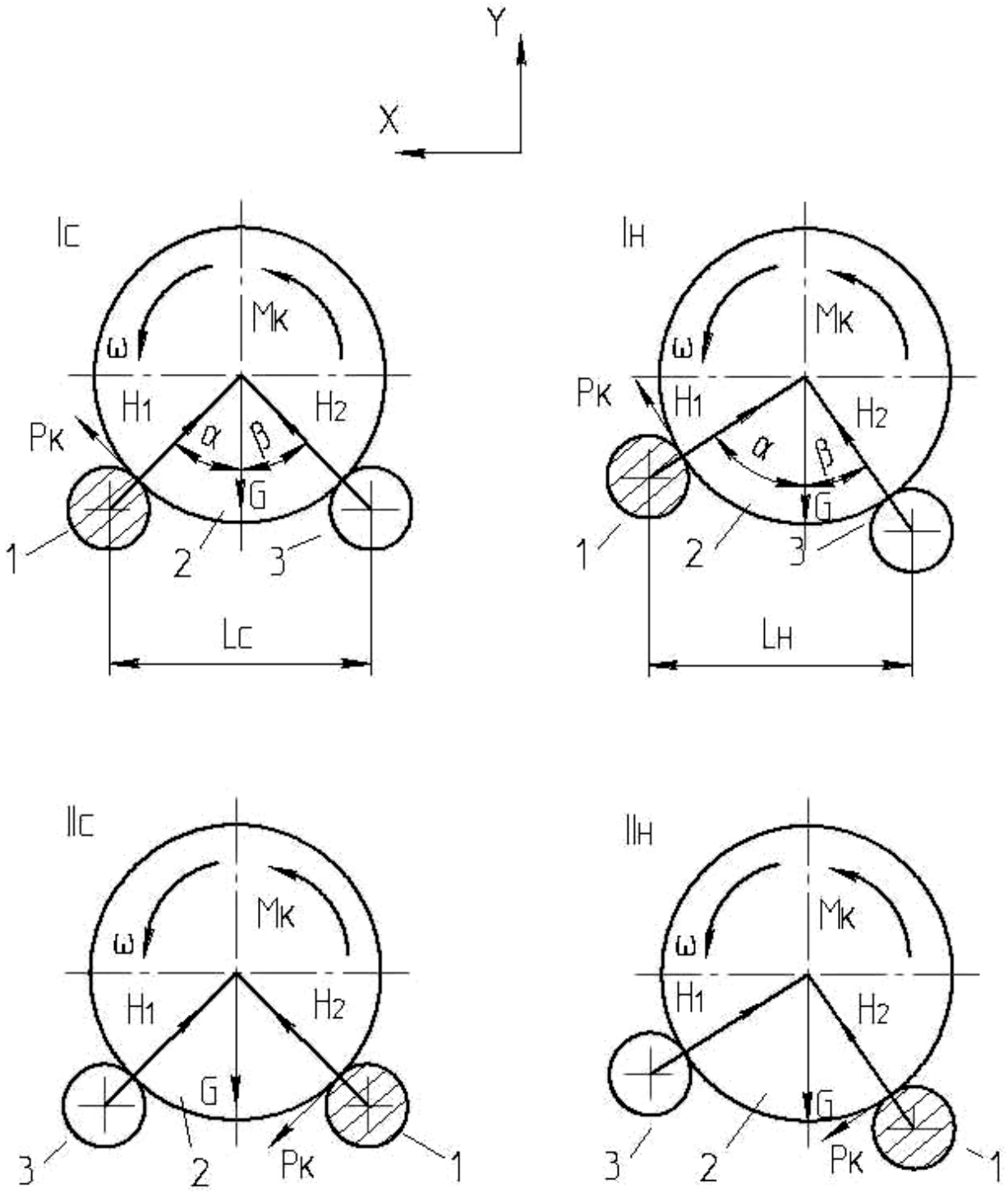


Рис. 73. Схемы расположения роликов:

1 – рабочий ролик; 2 – ведущее колесо автомобиля; 3 – свободный ролик; I_C – симметричное расположение роликов; II_C – несимметричное расположение роликов; M_K – крутящий момент на колесе; L_C и L_H – межосевые расстояния роликов; G – вертикальная нагрузка на колесо; P_K – тяговое усилите на колесе; H_1 и H_2 – реакции на роликах стенда

Когда ролики находятся на одном уровне – это симметричное расположение роликов (схемы Iс и IIс), если же один из роликов расположен выше другого (схемы Iн и IIн) – это несимметричное расположение. Один из роликов опорного устройства является рабочим. Он связан кинематически с нагрузочным механизмом (в силовом стенде) или с маховыми массами (в инерционном стенде). Второй ролик является свободным, поддерживающим. Крайне редко встречаются стенды, у которых оба ролика – рабочие.

На таких стендах реализуются повышенные нагрузки на трансмиссионные передачи, но значительно выше затраты энергии на привод ведущих элементов.

Условие реализации заданного тягового усилия можно рассмотреть на примере схем Iс и IIс (см. рис. 73).

С целью упрощения анализа особенностей взаимодействия ведущего колеса автомобиля с роликами стенда можно принять некоторые допущения:
– не учитывается деформация шины от вертикальной нагрузки и тяговой силы;
– не учитывается сопротивление качению;
– не учитывается угловая скорость ω вращения колеса.

Тогда условия равновесия колеса на стенде для схемы I_C примут вид:

$$\sum X = P_K \cos\alpha - H_1 \sin\alpha + H_2 \sin\alpha = 0;$$

$$\sum Y = P_K \sin\alpha + H_1 \cos\alpha + H_2 \cos\alpha - G = 0,$$

где G – вертикальная нагрузка на колесо;

H_1, H_2 – нормальные реакции со стороны переднего и заднего роликов;

P_K – тангенциальная реакция со стороны рабочего ролика.

Из условий равновесия колеса на стенде

$$H_1 = G/2 \cos\alpha + P_K/ tg\, 2\alpha; \quad H_2 = G/2 \cos\alpha - P_K/ \sin 2\alpha.$$

В нерабочем состоянии стенда усилие $P_K = 0$. а $H_1 = H_2 = G/2 \cos\alpha$.

Аналогично для схемы IIс, можно получить следующие зависимости:

$$H_1 = G/2 \cos\alpha + P_K/ \sin 2\alpha\,; H_2 = G/2 \cos\alpha - P_K/ tg\, 2\alpha\,.$$

Таким образом, в обоих случаях, то есть при переднем и заднем рабочих роликах, передний нагружается большей нормальной силой, чем задний. Это справедливо для всех углов, удовлетворяющих условию $\alpha < 45^o$. Следует отметить, что стенды с углами $\alpha > 45^o$ не применяются.

Максимальная тяговая сила $P_{K\,max}$, которую можно реализовать на стенде по условиям сцепления, зависит от нормальной реакции и коэффициента сцепления: $P_{K\,max} = H_1$ для схемы Iс и $P_{K\,max} = H_2$ для схемы IIс.

Поэтому при выборе переднего ролика в качестве рабочего можно реализовать большую (по условиям сцепления колёс с поверхностью роликов) тяговую силу вследствие догружения этого ролика.

Значения нормальных реакций H_1 и H_2 необходимы при определении конструктивных параметров блока роликов. Кроме того, знание реакций H_1 и H_2 помогает оптимально распределить инерционные массы между роликами инерционного стенда. Чтобы исключить проскальзывание колёс относительно роликов, общая инерционная масса должна распределяться между роликами в соответствии с распределением нормальных реакций.

Различные схемы стендов сравниваются между собой в части реализуемой ими тяговой силы по коэффициенту использования нагрузки K_H (отношение максимальной тяговой силы $P_{K\ max}$ к вертикальной нагрузке на колесо G).

Значение угла α в стендах для легковых автомобилей колеблется от 27° до 40°. Углы меньше 27° не обеспечивают устойчивость автомобиля, а углы больше 40° не используются по конструктивным соображениям (при больших расстояниях между роликами легковой автомобиль может касаться их днищем). Для этих значений угла α наибольшее значение коэффициента K_H будет при схеме I_C с передним ведущим роликом. Эта схема наиболее оптимальна и чаще используется в тяговых стендах.

Значение вертикальной нагрузки G при испытаниях автомобилей под действием тяговой силы меняется и перераспределяется по мостам автомобиля. При этом задний мост разгружается, а передний догружается. Для длиннобазных автомобилей изменение коэффициента K_H не превышает 3…4 %, а для короткобазных автомобилей изменение этого коэффициента достигает 8…10 %.

Условие устойчивого положения автомобиля на стенде определяется постоянством контакта шины с обоими (передним и задним) роликами в процессе испытаний. Выполнение этого условия исключает возможность случайного выезда автомобиля со стенда под действием тяговой силы (устойчивость в продольном направлении), а также ограничивает перемещение колес ведущего моста, установленного на стенд, вдоль роликов (устойчивость в поперечном направлении).

Под действием тяговой силы автомобиль в процессе испытаний стремится выехать со стенда в направлении движения через передний ролик. Нормальная реакция H_2 заднего ролика при этом уменьшается. Для схем с передними (I_C и I_H) рабочими роликами реакция H_2 обращается в нуль при значениях угла α, соответствующих значению $tg\ \alpha = 0$. При этом колесо теряет контакт с задним роликом и автомобиль может перекатиться через передний ролик. Поэтому условие $tg\ \alpha > 0$ надо рассматривать как условие устойчивого (в продольном направлении) положения автомобиля на стенде с передним рабочим роликом.

Для схем II_C и II_H при любых значениях угла α значение $H_2 > 0$. Таким образом, схемы с задним рабочим роликом всегда обеспечивают устойчивое положение автомобиля на стенде. Это – их положительное свойство.

Выражения для определения значений $P_{K\ max}$, H_1 и H_2 приведены в табл. 9.

Таблица 9

Схема расположения роликов	Расчетная формула		
	H_1	H_2	$P_{k\,max}$
I_c, II_c, нерабочее состояние стенда	$\frac{G}{2\cos\alpha}$	$\frac{G}{2\cos\alpha}$	0
I_c, рабочее состояние стенда	$\frac{G\sin\alpha}{\sin 2\alpha - \varphi\cos 2\alpha}$	$\frac{G(\sin\alpha - \varphi\cos\alpha)}{\sin 2\alpha}$	$\frac{G\varphi\sin\alpha}{\sin 2\varphi - \varphi\cos\alpha}$
II_c, рабочее состояние стенда	$\frac{G(\sin\alpha + \varphi\cos\alpha)}{\sin 2\varphi + \varphi\cos\alpha}$	$\frac{G\sin\alpha}{\sin 2\alpha + \varphi\cos 2\alpha}$	$\frac{G\varphi\sin\alpha}{\sin 2\varphi + \varphi\cos\alpha}$
$I_н, II_н$, нерабочее состояние стенда	$\frac{G\sin\alpha}{\sin(\alpha+\beta)}$	$\frac{G\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)}$	0
$I_н$, рабочее состояние стенда	$\frac{G\sin\alpha}{\sin(\alpha+\beta) - \varphi\cos(\alpha+\beta)}$	$\frac{G(\sin\beta - \varphi\cos\beta)}{\sin(\alpha+\beta) - \varphi\cos(\alpha+\beta)}$	$\frac{G\varphi\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta) - \varphi\cos(\alpha+\beta)}$
$II_н$, рабочее состояние стенда	$\frac{G(\sin\alpha - \varphi\cos\alpha)}{\sin(\alpha+\beta) + \varphi\cos(\alpha+\beta)}$	$\frac{G\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta) + \varphi\cos(\alpha+\beta)}$	$\frac{G\varphi\sin\alpha}{\sin(\alpha+\beta) + \varphi\cos(\alpha+\beta)}$

Устойчивость положения автомобиля на стенде в поперечном направлении обеспечивается за счёт строгой установки (горизонтальной и параллельной) роликов. Допускаемое отклонение от горизонтального положения и отклонение от параллельности роликов не должны превышать 0,4…0,8 мм на длине 1 м. Ролики левой и правой сторон стенда должны быть соосными (отклонение не более 1 мм).

Чтобы избежать скатывания автомобиля с роликов при поперечном перемещении ведущего моста, стенды обычно снабжаются отбойными роликами, установленными по краям рабочих роликов с одной или обеих сторон. При испытаниях автомобилей с управляемым ведущим мостом наличие таких роликов обязательно, так как автомобиль резко смещается вдоль роликов даже при незначительных поворотах рулевого колеса. Положение таких роликов можно регулировать, перемещая их вдоль рабочих роликов стенда по направляющим, и фиксировать в нужном положении, соответствующем колее испытываемого автомобиля. В процессе испытаний автомобиля в таких условиях практически всегда, по крайней мере, одно из его колес касается отбойного (ориентирующего) ролика, что вызывает дополнительные потери, которые необходимо учитывать.

Условие самостоятельного выезда автомобиля со стенда под действием тяговой силы через застопоренный передний ролик без специальных подъёмных устройств обеспечивается при $tg\ \alpha < 0$. Это означает, что для схем с передним или обоими рабочими роликами условие устойчивого положения и условие самостоятельного выезда противоречат друг другу и не могут быть удовлетворены одновременно.

Для схем с задним рабочим роликом, при любых значениях угла α, удовлетворяются одновременно условия устойчивости и самостоятельного выезда. Для несимметричных схем установки роликов при выезде автомобиля назад (при установке стенда на тупиковом посту) также удовлетворяются одновременно условия устойчивости и выезда.

Стенды, на которых самостоятельный выезд автомобиля невозможен, должны быть оборудованы специальными подъёмными устройствами (площадками с пневмоприводом), что несколько усложняет их конструкцию.

Условие устранения повышенного износа шин обеспечивается правильным выбором диаметра роликов и режима испытаний. Стенды с опорой колеса на два ролика небольшого диаметра имеют ряд преимуществ по сравнению со стендами, в которых колесо опирается на один барабан большого диаметра (меньшие габаритные размеры, масса, отсутствуют специальные приспособления, удерживающие автомобиль). Однако работа шины, опирающейся на два ролика, сопровождается повышенной деформацией и, как следствие, сильным нагревом. Поэтому необходимо не только ограничивать скорость вращения ведущих колёс и длительность испытаний, но и обеспечивать их охлаждение путём создания специальных вентиляторных установок с направляющими насадками.

От правильного выбора диаметра роликов зависит износ шин при испытаниях на стенде и условия имитации дорожных сопротивлений. Уменьшение диаметра роликов, которое объясняется стремлением снизить габаритные размеры и массу стенда, приводит к повышению деформации и проскальзыванию шин и, следовательно, к увеличению их износа.

При соотношении $r_P/r_K = 0,4$ потери на проскальзывание вдвое выше, чем на дороге, поэтому диаметр роликов рекомендуется принимать $r_P = (0,4 \ldots 0,6)\ r_K$.

В тяговых стендах для эксплуатационных испытаний диаметр роликов колеблется в пределах от 220 мм до 500 мм, соответствующих соотношению r_P/r_K от 0,3 до 0,9 для легковых автомобилей различных моделей. Ролики с диаметром 318,3 мм (длина окружности равна 1 м) удобны при измерениях пройденного пути и определении расхода топлива на единицу пройденного пути. В соответствии с ГОСТ 26899-86 диаметр роликов стенда должен быть не менее 240 мм.

Для снижения нагрева шин рекомендуется повышать в них давление воздуха, однако это мероприятие требует дополнительного времени и при эксплуатационных испытаниях его выполнять нецелесообразно. Кроме того, это может привести к увеличению проскальзывания и износа шин.

В процессе испытаний рекомендуется обдувать шины воздухом, для чего вентилятор, входящий в комплект стенда, снабжается специальным направляющим устройством. Ограничивается также скорость испытаний в зависимости от диаметра роликов. Фирма «Целльнер» (Германия) для эксплуатационных стендов рекомендует применять ролики диаметром 220 мм для скоростей, не превышающих 160 км/ч, 320 мм – до 200 км/ч, 400 мм – до 230 км/ч и 510 мм для скоростей до 250 км/ч. Обычно используются ролики с гладкой поверхностью, однако при необходимости передачи больших тяговых сил применяются ролики с продольными канавками (типа шлицевого вала). Такие ролики могут использоваться только на скоростях, не более 100 км/ч.

Выбор схемы и параметров блока роликов для испытаний автомобилей проводится с учётом реализуемой на нём тяговой силы, обеспечения устойчивости, самостоятельного выезда и снижения износа шин.

Конструктивно блок роликов обычно состоит из двух пар симметрично расположенных роликов (рис.74, *а*), на каждую из которых опираются колеса ведущего моста автомобиля. Встречаются стенды (фирм HPA – Дания, «Клайтон» – США), содержащие три ролика (рис. 74. *б*), из которых один сплошной (в него встроено нагрузочное устройство – гидротормоз) на оба колеса, или два ролика (рис. 74. *в*). Выбор конструкции блока роликов определяется типом объекта испытаний, назначением испытаний и производственными помещениями.

Нагрузочные устройства в конструкциях тяговых стендов в настоящее время применяются либо гидравлического, либо электрического типов. Эти механизмы обеспечивают необходимые тормозные параметры в широком диапазоне. Механические тормозные устройства в современных стендах практически не встречаются из-за ряда существенных недостатков: большая металлоёмкость, низкая долговечность, нестабильность характеристики нагружения (из-за изменений коэффициента трения фрикционных элементов при нагреве и в связи с этим необходимость в создании сложной системы охлаждения), применения специального механизма поддержания заданного тормозного режима.

В качестве нагружающих устройств отечественных и зарубежных роликовых диагностических и научно-исследовательских стендов, выпускаемых малыми сериями, наибольше распространение получили балансирные электрические машины постоянного или переменного тока.

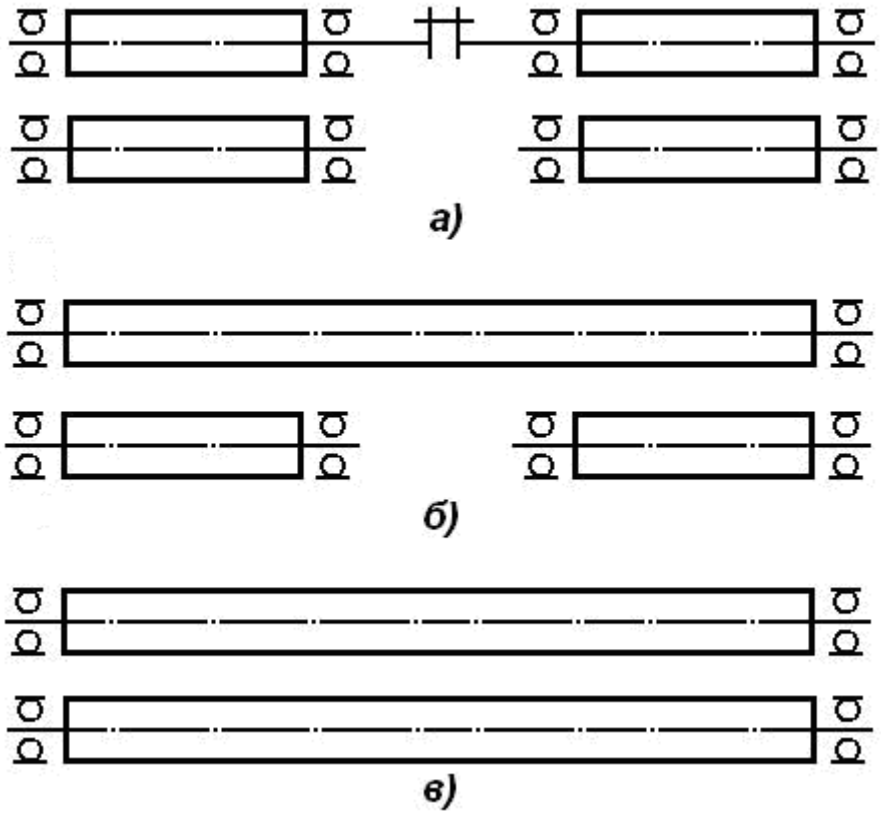


Рис. 74. Схемы опорных роликов:
а) – раздельные; *б)* – с одним сплошным, *в)* – с двумя сплошными

Электрическая машина постоянного тока – наиболее универсальный привод, обеспечивающий необходимые скоростные и нагрузочные режимы, в связи с чем широко применяется в стендах, моделирующих нагрузочные режимы по задаваемым программам в условиях диагностических станций и научно-исследовательских лабораторий.

Гидравлические тормоза не потребляют значительной энергии, кроме затрат на системы управления и охлаждения. К их преимуществам относятся долговечность, простота обслуживания и ремонта.

Современные конструкция гидротормозов весьма компактны при высокой тормозной мощности.

На рис. 75 показана схема опорного устройства роликового типа с площадкой, оснащённой пневмоприводом для подъёма машины при её въезде на стенд и при выезде с него после окончания испытаний.

Опорное и нагрузочное устройства стенда размещены на общей раме. Передние ролики 4 и 6 соединены между собой муфтой 5, а ролик 6 соединен муфтой 7 с индукционным тормозом 8.

Пневматический подъёмный механизм стенда состоит из площадки 13, двух пневмоцилиндров и двух тормозных колодок 15. Это позволяет встраивать их непосредственно в рабочий ролик.

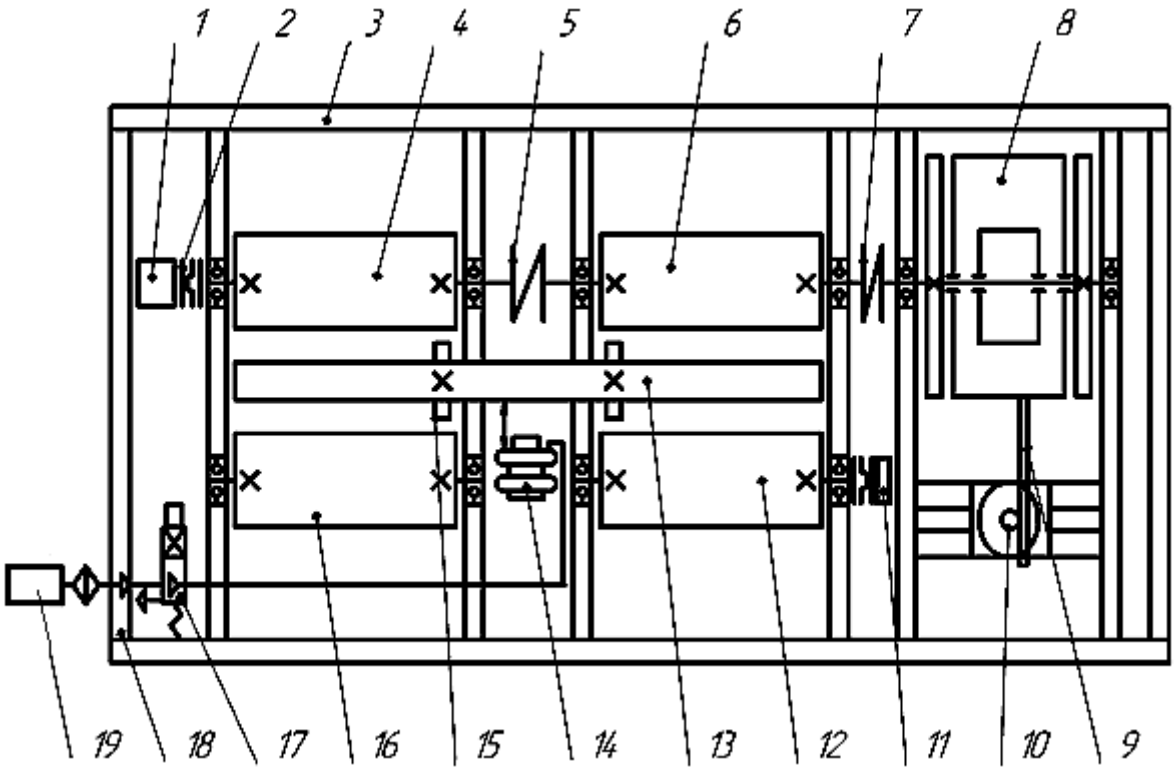


Рис. 75. Пневмокинематическая схема опорного устройства:
1– тахогенератор; 2, 5, 7 – муфты; 3 – рама; 4, 6, 12, 16 – ролики; 8– индуктивный тормоз; 9 – кронштейн; 10 – датчик усилия; 11 – реле скорости; 13 – площадка подъёма машины; 14 – пневмоподъёмник; 15 – тормозной колодочный механизм; 17– золотник; 18 – поперечина; 19 – узел подготовки воздуха

Момент инерции гидротормозов в несколько раз меньше, чем у вихревых тормозов, что создает определённые преимущества при различных испытаниях автомобилей и их двигателей, когда необходимо более точно предусматривать задаваемые нагружающие режимы.

К недостаткам электрических тормозов постоянного и переменного тока относятся высокая стоимость, большие габариты и вес, низкие КПД и надёжность (из-за наличия скользящих контактов), а также высокая установленная мощность, требующая мощных источников электроэнергии вплоть до создания специальных трансформаторных подстанций.

Наиболее совершенны и значительно шире распространены в современных тяговых стендах электромагнитные дисковые тормоза с воздушным охлаждением.

Конструкция такого тормоза (рис. 76) представляет собой разнополюсную электромашину (индукционный тормоз), которая обеспечивает необходимый тормозной момент при минимальных габаритах и весе.

Электродинамический дисковый тормоз, используемый в качестве нагрузочного устройства тягового стенда, представляет собой относительно простую индукционную электрическую машину, в которой механическая энергия (от принудительного вращения электромашин) превращается в электрическую.

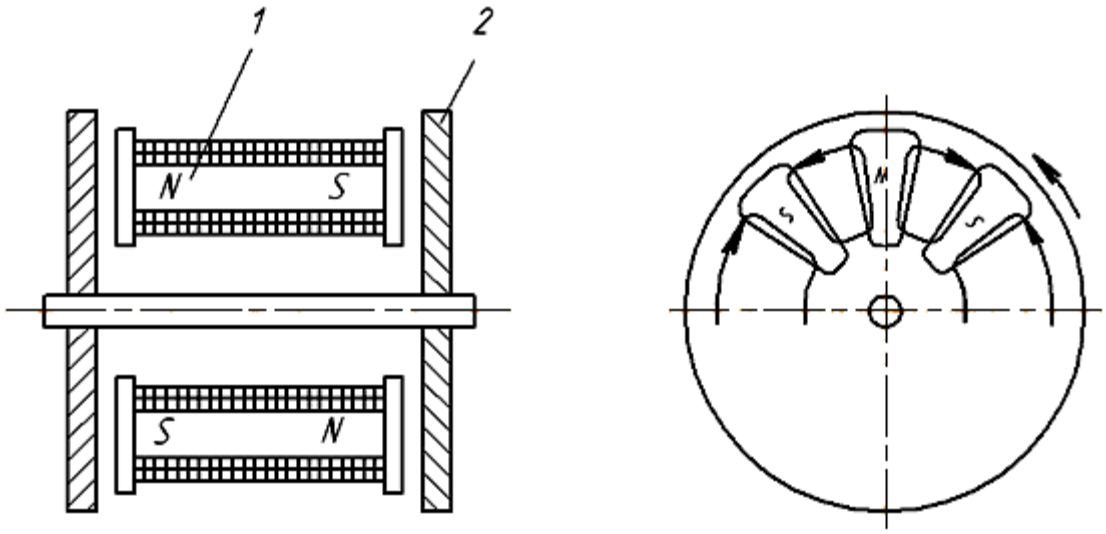


Рис. 76. Схема дискового электродинамического тормоза:
1 – неподвижный индуктор; 2 – якорь

Такой тормоз может изменять величину тормозного усилия по заданной программе, имитируя работу автомобиля на различных режимах, включая разгон, движение на уклоне и другие режимы.

К основным преимуществам электромагнитного дискового тормоза с воздушным охлаждением относятся: высокая эффективность тормозного действия в широком диапазоне скоростей, простота конструкции, отсутствие скользящих контактов и надёжность в работе, сравнительно малые габаритные размеры и масса при высокой тормозной мощности. Малая мощность возбуждения, потребляемая тормозом (до 3 кВт при поглощаемой мощности до 300 кВт), позволяет осуществлять автоматическое регулирование тормозного момента относительно простыми средствами. Это даёт возможность автоматически поддерживать постоянным или переменным задаваемый момент.

Тормоз состоит из неподвижного индуктора, создающего переменно-полюсное магнитное поле, и вращающегося якоря, в котором происходит основное преобразование энергии. Поскольку индуктор питается постоянным током, его магнитная система выполняется из сплошного металла (обычно из магнитомягкой стали). Якорь электродинамического тормоза изготавливается из любого электропроводящего материала в виде сплошного диска. Для повышения эффективности магнитной системы и увеличения рассеиваемой мощности дисковый электродинамический тормоз выполняется из одного неподвижного индуктора и двух якорей, вращающихся вместе с ним.

При вращении якоря в поле индуктора в якоре наводится электродвижущая сила (ЭДС) и возникают вихревые токи, ориентированные относительно полюсов. В результате взаимодействия токов якоря с магнитным полем индуктора создается генераторный, то есть тормозной момент. Механическая энергия, подведенная к валу тормоза, превращается в электрическую.

Тяговую силу измеряют обычным путём, определяя крутящий момент на валу роликов методом крутильного или балансирного динамометра. При использовании метода крутильного динамометра первичный преобразователь крутящего момента устанавливается между валами роликов и нагрузочного устройства. Из-за сложной конструкции и низкой надёжности первичных преобразователей метод крутильного динамометра не нашел широкого распространения в тяговых стендах. При использовании метода балансирного динамометра качающийся статор (корпус или рама) нагрузочного устройства или специального редуктора через рычаг опирается на поперечный силоизмерительный преобразователь. В качестве первичных преобразователей используют, как правило, силоизмерительные тензорезисторные датчики, например 1778 ДСТ. Они обладают высокими метрологическими характеристиками (класс точности 0,25 и 0,4) и выпускаются на любую из следующих номинальных нагрузок: 0,10: 0,20; 0,50; 1,00; 2,00; 5,0; 10,00 тс.

Линейную скорость (или частоту вращения) на тяговых стендах измеряют, определяя угловую скорость роликов, которая связана с линейной скоростью на окружности роликов. В качестве первичных преобразователей угловой скорости используются тахогенераторы постоянного тока, индуктивные или фотоэлектрические датчики. К недостаткам тахогенераторов следует отнести сложность конструкции, невысокую надёжность из-за наличия механических контактов (коллектор, щетки) и зависимость метрологических характеристик от сопротивления нагрузки. Погрешность тахогенераторов составляет 1…2 %.

Наиболее распространены в тяговых стендах индуктивные датчики. Они состоят из зубчатого диска, установленного на валу, угловую скорость которого измеряют, и катушки с обмоткой и намагниченным сердечником, закрепленной на раме стенда. Зазор между зубчатым диском и торцом сердечника катушки составляет 1…2 мм. При прохождении зуба мимо сердечника в обмотке наводится импульс ЭДС (самоиндукции), то есть частота выходного сигнала датчика пропорциональна угловой скорости. Индуктивные датчики просты по конструкции, обладают высокой надёжностью и обеспечивают бесконтактный съём информации. Их можно использовать при дискретном и аналоговом методах измерений. Погрешность индуктивных датчиков зависит только от выбранного числа зубцов и составляет не более 0,2 %. При использовании индуктивных датчиков необходимо учитывать, что амплитуда импульсов выходного сигнала зависит от зазора между зубчатым диском и сердечником, а также от угловой скорости. Указанные недостатки легко устраняются введением в схему дополнительного промежуточного преобразователя (усилителя-ограничителя).

Для измерения временных интервалов в тяговых стендах используются электронные секундомеры, в которых в качестве времязадающих элементов применяются кварцевые резонаторы или переменный ток промышленной частоты. В первом случае погрешность измерения времени не превышает 0,01 %, а во втором случае – 2 %. Управление таким секундомером осуществляется автоматически с помощью компараторов, вырабатывающих управляющие сигналы при достижении заданных значений скорости.

Мощность на тяговых стендах непосредственно не измеряется, а вычисляется с помощью специального блока умножения.

Выбор типа показывающих приборов (цифровой или аналоговый) для тяговых стендов зависит от метода измерения, числа пределов измерения, характера изменения параметра во времени, скорости и необходимой точности считывания результатов. В случае индикации результатов измерений на аналоговый показывающий прибор в тяговых стендах большинства отечественных и зарубежных фирм применяются стрелочные показывающие приборы, выполненные по принципу следящей системы.

Определенный интерес представляет комбинированный способ представления информации, то есть совмещение стрелочного прибора с цифровым. Такое конструктивное решение позволяет по стрелочному прибору оценивать процесс изменения параметра, а по цифровому – более точно считывать показания.

Перспективным направлением является использование в качестве показывающих приборов специальных экранов (дисплеев), на которых можно отображать не только цифробуквенную информацию, но и графики, гистограммы, таблицы и текстовый материал.

В состав современных тяговых стендов входят и системы автоматического поддержания на заданном уровне линейной скорости на окружности роликов и тяговой силы на ведущих колесах. Обычно эти системы выполняются по традиционной схеме: сигнал задатчика сравнивается с сигналом обратной связи, а полученный сигнал рассогласования усиливается регулятором и управляет нагружающим устройством. В зависимости от поддерживаемого на заданном уровне параметра в качестве сигнала обратной связи используется сигнал датчика частоты вращения роликов либо датчика тягового усилия.

Для безопасной работы на стендах обычно предусматривается устройство в виде блока защитных блокировок. Он не допускает включения подъёмника или переключателя режима испытаний при вращающихся колёсах, а также обеспечивает плавное нарастание нагрузки на колёсах автомобиля даже при резком повороте оператором ручки задатчика, что предотвращает выбрасывание автомобиля со стенда.

В электрическую часть стенда входит общий блок управления и контроля.

Переносные приборы, которыми оснащаются некоторые тяговые стенды, например, для определения мощности двигателя обычно предназначены для определения тягово-экономических показателей автомобиля по величине углового ускорения коленчатого вала в режиме свободного разгона двигателя. Они классифицируются по способу питания (от аккумуляторной батареи автомобиля, от внешней сети, комбинированные), по виду индикации (цифровая, аналоговая или смешанная) и по типу применяемого датчика частоты вращения (индуктивный или пьезоэлектрический).

В таблице 10 приведены некоторые типы отечественных стендов с беговыми барабанами, которые выпускаются промышленным производством мелким сериями или по специальным заказам.

Таблица 10

Параметры	Модификация стенда			
	4817	4819А	4819Б	4819В
Тип стенда	Стационарный, роликовый, инерционно-силовой, автоматизированный			
Испытываемые автомобили	Легковые (кроме переднеприводных)	Трехосные грузовые ЗИЛ, «Урал», КамАЗ; двухосные ГАЗ, ЗИЛ, КАЗ, МАЗ	Двухосные грузовые ГАЗ, ЗИЛ, КАЗ, МАЗ и автобусы без ГМП	Автобусы с ГМП и без ГМП; двухосные грузовые ГАЗ, ЗИЛ, КАЗ, МАЗ
измеряемые параметры:				
скорость автомобиля, км/ч	0…150	0…100	0…100	0…100
тяговое усилие на колесах, кН	0…10	0…20	0…20	0…20
мощность на колесах, кВт	0…100	0…200	0…200	0…200
время разгона, с	0…100	0…200	0…200	0…200
скорость в момент переключения ГМП, км/ч	0…100	0…100	0…100	0…100
Погрешность измерения:				
скорости, %	2	2	2	2
тягового усилия, %	2	2	2	2
мощности, %	4	4	4	4
времени разгона, с	0,1	0,1	0,1	0,1
скорости в момент переключения ГМП, %	2	2	2	2
Тип нагрузочного устройства	Электродинамическое («вихревой тормоз» с воздушным охлаждением) и маховик			
Габаритные размеры, мм:				
механической части	4000×1	5150×2880	5150×2000	5150×2000
шкафа управления	450×800	450×800	450×800	450×800
Сеть электрического питания:				
напряжение, В	380	380	380	380
частота, Гц	50	50	50	50
мощность стенда, кВт	4,5	6,5	6,5	6,5
Уровень шума, дБ	70	77	75	75
Масса стенда, кг	2100	4200	3300	3300

8. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ПО ИСПЫТАНИЯМ И ДОВОДКЕ АВТОМОТОТЕХНИКИ (НИЦИАМ ФГУП И ГНЦ НАМИ)

В научно-исследовательском центре по испытаниям и доводке автомототехники, расположенном недалеко от города Дмитров и введённом в эксплуатацию в 1964 году, проводятся все виды испытаний в естественных и воспроизводимых условиях по единым методикам, что создаёт широкие возможности для обобщения и сопоставления получаемых результатов, позволяет повысить их достоверность и ускорить темпы доводки автотранспортных средств.

В настоящее время этот центр (автополигон) располагает 50 видами испытательных сооружений, в том числе 108 км испытательных дорог. Площадь производственных помещений – около 40 тыс. кв. метров. Ежегодно на дорогах и сооружениях полигона испытывается более 1000 образцов новой и серийной автомобильной и мотоциклетной техники отечественного и зарубежного производства с общим пробегом свыше 8 миллионов километров.

Сегодня научно-исследовательский центр – это:

- отраслевой центр по доводке новой автомобильной техники;
- головная организация по государственным испытаниям образцов новой техники (приёмочным, контрольным, ресурсным и др.);
- техническая служба сертификационных испытаний в рамках Женевского соглашения 1958 года (ЕЭК ООН) и системы СЭПРОСЭВ;
- отраслевой центр по разработке новых методологий испытаний и исследований различных автомобилей;
- центр климатических испытаний;
- крупнейший в Европе автомобильный испытательный центр.

Автополигон осуществляет доводку и оценку транспортных средств по требованиям более 130 отечественных, международных и национальных стандартов, регламентирующих условия допуска их в эксплуатацию, в том числе по безопасности конструкции и защите окружающей среды, без чего невозможен экспорт автомобилей на международный рынок.

На территории автополигона воспроизведены наиболее характерные типы дорог общего пользования и специальные дороги для ускоренных испытаний автомобилей на форсированных режимах.

Скоростная дорога имеет асфальтобетонное покрытие и предназначена для проведения пробеговых испытаний автомобилей при длительном движении на форсированных режимах. Здесь оцениваются надёжность систем двигателя, трансмиссии, ходовой части, шин и колёс, а также эргономические свойства автомобиля. Дорога имеет протяженность 14 км, повороты радиусом от 1000 м до 2000 м с поперечным уклоном от 4 % до 10 %, продольные подъёмы и уклоны – до 4 %. Максимально допустимая скорость движения автомобилей на дороге – 250 км/ч.

Мощеная дорога (булыжная кольцевая) предназначена для ускоренных испытаний на надёжность и усталостную прочность деталей подвески и рулевого

привода (рессор, амортизаторов, рулевых тяг и шарниров), а также агрегатов несущей системы (рамы, кабины, кузова, оперения и др.). Коэффициент ускорения испытаний отдельных деталей достигает 101…5. Протяженность дороги составляет 8,35 км. Внутренняя полоса дороги шириной 3,5 м имеет ровное мощение, наружная (со специальным мощением) шириной 4 м предназначена для испытаний в основном грузовых автомобилей.

Грунтовые дороги служат для испытаний автомобилей всех типов в условиях, имитирующих дороги местного значения. Одна дорога шириной 15 м имеет профиль, соответствующий рельефу местности, вторая, состоящая из двух кольцевых участков предназначена для испытаний полноприводных автомобилей в тяжёлых дорожных условиях. При большой запыленности воздуха и при наличии жидкой грязи и воды в колеях проверяется работа фильтров и двигателей, качество уплотнений кузова, трансмиссии, шарниров, валов, мостов, ступиц, тормозов и износ тормозных накладок и барабанов. Дороги имеют протяженность 18,5 км.

Динамометрическая дорога горизонтальная и прямолинейная в плане с асфальтобетонным покрытием используется для испытаний автомобилей всех типов по определению тягово-скоростных свойств, эффективности тормозной системы и топливной экономичности. Длина дороги составляет 5,4 км, горизонтальный участок дороги – 4,7 км.

Параметры движения регистрируются с помощью оригинальной системы, разработанной инженерами Автополигона и позволяющей обходиться без традиционного «пятого колеса». В асфальтобетонное покрытие дороги вмонтирована координатная сетка токонесущих проводов, магнитное поле которых наводит сигналы в индукционных датчиках, установленных на испытываемом автомобиле. Измерения отличаются повышенной точностью и стабильностью во времени, не зависят от внешних условий и состояния дорожного покрытия.

Комплекс специальных испытательных дорог является одним из крупнейших сооружений автополигона. Входящие в него дороги используются отдельно или включаются в состав комплексных маршрутов. К наиболее значительным элементам комплекса относятся:

«бельгийская мостовая» представляет собой гранитную брусчатку с нерегулярно расположенными неровностями . Предназначена дорога для испытаний на усталостную прочность подвески, рулевого управления и ходовой части автомобиля;

«короткие волны» имеет покрытие, выполненное из сборных железобетонных профилированных плит с волнами синусоидального профиля. Предназначена дорога для определения влияния создаваемых ею резонансных колебаний и вибраций на работу и надёжность различных узлов и деталей автомобиля (амортизаторов, рулевого управления, кабины и кузова автомобиля);

шумосоздающая дорога – микронеровности гранитной брусчатки, которые вызывают при движении высокочастотные колебания шин и колёс. Дорога используется в комплексе работ по выявлению источников внешнего и внутреннего шума на автомобиле и проверке эффективности мероприятий по его снижению;

«выбитый булыжник» – специальный продольный профиль каждой колеи, который повторяется через 100 м, при этом профили правой и левой колеи меняются местами. Предназначена дорога для испытаний грузовых автомобилей на плавность хода и прочностных исследований ходовой части автомобиля. Длина дороги составляет 500 м;

дороги с асфальтобетонный покрытием – две полосы дороги шириной по 8 м и длиной по 1000 м. Предназначены дороги для проведения испытаний тормозных систем и оценки управляемости. Измерения осуществляются с помощью координатной сетки токонесущих проводов, заложенных в полотне дороги;

булыжник ровного мощения – это бетон, в который уложен булыжный валунный камень, что обеспечивает стабильное состояние покрытия. Предназначена дорога для испытаний автомобиля на плавность хода. Длина дороги составляет 1 км;

круглая площадка с искусственным водополивом – асфальтированная площадка диаметром 130 м, оборудованная поливом водой различной интенсивности. Предназначена дорога для испытаний на управляемость и маневренность при наличии водяной пленки, испытания шин на сцепление с мокрой поверхностью с элементом аквапланирования.

Испытательные подъёмы малой крутизны состоят из четырех подъёмов: 4 %, 6 %, 8 % и 10 %. Предназначен комплекс для оценки надёжности агрегатов трансмиссии и тормозов, определения тягово-скоростных свойств и топливной экономичности автомобилей в условиях, имитирующих дороги на сильно пересеченной местности.

Испытательные подъёмы большой крутизны состоят из четырех подъёмов: 30 %, 40 %, 50 % и 60 %. Предназначен комплекс для оценки предельных тяговых свойств автомобиля, используется также в комплексных маршрутах по оценке его надёжности.

Дорога горного типа имитирует горные дороги на наиболее сложных по конфигурации маршрутах. Предназначена дорога для проведения пробеговых испытаний на надёжность автомобилей в условиях повышенных нагрузок на узлы трансмиссии, тормозные системы, шины, а также для испытаний по общей оценке устойчивости и управляемости легковых и грузовых автомобилей и автопоездов. Продольный профиль дороги общей протяжённостью 1,24 км включает участки с уклонами от 0 % до 16 %. Криволинейные участки трассы имеют радиусы закруглений 20 м, 30 м, 40 м, 50 м, 60 м и 80 м.

Трек с неровностями предназначен для испытания рам грузовых автомобилей на надёжность и усталостную прочность. Неровности трапецевидной или синусоидальной форм создают в раме повышенные знакопеременные скручивающие нагрузки. Коэффициент ускорения испытаний при высокой степени воспроизводства эксплуатационных поломок достигает 100 и более. При испытаниях применяется система автоматического вождения автомобиля без водителя.

Песчаный участок предназначен для проведения испытаний и исследований автомобилей при оценке их надёжности и проходимости на песках различной влажности и плотности.

Глубоководная ванна предназначена для испытаний автомобилей на преодоление брода различной глубины. В бассейне общей длиной 78 м (длина участка с расчетной в 1,8 м глубиной – 24 м) предусмотрены продольные уклоны съезда и выезда в 10 %, которые обеспечивают беспрепятственное прохождение бассейна.

Грязевая ванна предназначена для имитации работы автомобиля в тяжёлых условиях бездорожья при наличии слоя грязи различной глубины и консистенции. Проводятся испытания автомобилей на проходимость – на участке длиной 40 м имитируется сила сцепления шин с грунтом, а также эффективность и надёжность тормозных систем. Длина участка с расчётной в 0,5 м глубиной – 30 м. Продольные уклоны съезда и выезда составляют 10 %.

Дорожно-бункерный комплекс позволяет проводить ускоренные испытания подъёмного механизма автосамосвалов в замкнутом цикле «погрузка – разгрузка». При этом обеспечивается имитация реальных условий работы самосвала с оценкой удобства его эксплуатации в различных отраслях хозяйства.

Мелководная ванна предназначена для замачивания тормозов автомобиля при испытании тормозной системы на эффективность, для проверки работы электрооборудования и герметичности основания кузова в условиях сильного разбрызгивания. Общая длина ванны составляет 67 м, в том числе участка с расчётной глубиной в 0,2 м – 40м. Продольный уклон въездов и съездов – 4 %.

К современному автомобилю предъявляется много требований, определяющих его эксплуатационные свойства, безопасность конструкции, экологичность, эргономику и т. д. – все то, что включает само понятие «современный автомобиль». В соответствии с этим на автополигоне функционируют десятки лабораторий, в том числе: топливной экономичности и скоростных свойств автомобилей, аэродинамических испытаний, тормозных систем, токсичности, двигателей, пассивной безопасности, управляемости и устойчивости, вибронагруженности и акустики, эргономики, эксплуатационных характеристик, диагностики, электрооборудования, шин и колёс, материалов и ряд других, включая современный вычислительный центр.

Лаборатория топливной экономичности и скоростных свойств автомобиля позволяет специалистам оценивать топливную экономичность и скоростные качества практически любого типа автомобиля по национальным и международным методикам испытаний. Современные стенды с беговыми барабанами позволяют определять расходы топлива в стандартизованных ездовых циклах, а также баланс мощности с анализом источников потерь для автомобилей любых типов с полной массой от 600 кг до 40 000 кг. При необходимости лаборатория осуществляет оптимизационные исследования по оригинальным методикам с применением моделирования движения автомобиля.

Аэродинамическая труба – одно из самых современных сооружений для аэродинамических испытаний автомобилей. Она оснащена уникальным испытательным оборудованием и новейшей регистрирующей аппаратурой, что в сочетании с применяемой современной компьютерной методологией позволяет проводить всесторонние аэродинамические исследования полноразмерных образцов

легковых и грузовых автомобилей, автобусов и масштабных макетов. Мощный вентилятор создает в замкнутом контуре трубы воздушный поток, имитирующий встречный поток воздуха при движении автомобиля со скоростью до 220 км/ч.

Аэродинамические весы рычажного типа измеряют все шесть составляющих полной аэродинамической силы (лобовую, боковую, подъёмную силы и моменты: опрокидывающий, поворачивающий, крена), действующей на автомобиль во время продувки; распределение давления по поверхности объекта исследования; спектры обтекания воздушным потоком поверхности объекта и др. Продувка в аэродинамической трубе позволяет целенаправленно совершенствовать внешнюю форму автомобиля так, чтобы лобовое сопротивление воздушному потоку было минимальным. Улучшение аэродинамических характеристик позволяет значительно снижать расход топлива и повышать конкурентоспособность автомобилей на мировом рынке.

Лаборатория тормозных испытаний предназначена для испытаний по оценке тормозных свойств автомобилей, автопоездов и мототехники всех категорий в соответствии с отечественными и международными стандартами.

Лабораторная база и комплекс дорожных сооружений полигона позволяют проводить испытания:

- по оценке эффективности и устойчивости при торможении автомототехники;
- по определению остаточной эффективности и восстанавливаемости «нагретых» и «мокрых» тормозных механизмов;
- по определению эффективности стояночной и вспомогательных тормозных систем на уклонах различной крутизны и методом буксирования по горизонтальному участку дороги;
- по определению термонагруженности и эффективности охлаждения тормозных механизмов;
- по определению характеристик автотранспортных средств, оборудованных антиблокировочными системами пневматических и гидравлических тормозных приводов.

Лаборатория токсичности автомобилей проводит испытания автомототехники по методикам национальных и международных стандартов. Специалисты лаборатории оказывают помощь заводам по углубленным исследованиям противотоксичных систем автомобилей с целью повышения их эффективности с применением самого современного оборудования и приборов.

Лаборатория испытания двигателей помимо стандартных испытаний двигателей по определению их соответствия технической документации (что очень важно при доводке и контроле автомобилей), ведёт совместно с заводами исследовательские работы по совершенствованию двигателей. Испытательные стенды лаборатории оснащены современным исследовательским оборудованием и приспособлены для работы двигателей на газовом топливе. Это позволяет лаборатории быть одной из ведущих в отрасли в области испытаний инжекторных, газовых искровых двигателей и газовых дизелей. Лаборатория проводит испытания систем питания всех типов двигателей по оценке соответствия их технической

документации, а также в процессе оптимизации конструкции и регулировок для конкретной модели двигателя.

Лаборатория пассивной безопасности – это комплекс испытательного оборудования, который позволяет на высоком техническом уровне проводить практически все виды испытаний на пассивную безопасность, известные в мировой практике, и оказывать помощь заводам в доработке конструкций автомобилей и автобусов с целью обеспечения высокого уровня их безопасности, экспортабельности и конкурентоспособности. Разгонная трасса длиной 250 м и шириной 10 м имеет разворотные и служебные площадки и неподвижный железобетонный параллелепипед для обеспечения столкновений автомобилей. Для разгона испытываемых автомобилей служит буксировочное устройство, позволяющее достигать скорости 80 км/ч. Лаборатория является пионером в разработке методологии испытаний газовых модификаций грузовых и легковых автомобилей и автобусов, а также электромобилей.

Лаборатория управляемости проводит испытания по оценке устойчивости управления автомототранспортными средствами в дорожных и стендовых условиях. При выполнении стендовых испытаний определяются показатели статической устойчивости против опрокидывания, характеристики рулевого управления и подвески. Моделирование дорожно-транспортных ситуаций в критических режимах движения и определение допустимой скорости на специальных участках и дорогах общего пользования позволяют оценивать устойчивость управления автомототранспортными средствами.

Лаборатория акустики и вибронагруженности позволяет оценивать вибронагруженность автотранспортных средств в соответствии с требованиями международных и отечественных стандартов на дорожных сооружениях полигона и испытательных маршрутах дорог общего пользования с известными статистическими характеристиками микропрофилей дорог. Указанные характеристики получают с помощью разработанных комплекта аппаратуры и программ статистической обработки данных измерений, отвечающих требованиям международного стандарта. Микропрофили дорог, записанные на магнитную ленту по двум колеям, а также статистические характеристики используются для оценки технического уровня и стабильности характеристик дорожного покрытия в соответствии с международной и отечественной классификациями, для моделирования воздействий дороги при расчётах автомобилей на математических моделях и исследованиях на многоканальных гидропульсаторных стендах. Эти стенды для испытаний автомобилей, их систем и агрегатов позволяют получать характеристики:

- статической прочности;
- динамической прочности;
- вертикальной и угловой упругости;
- вибронагруженности, вибропрочности и виброустойчивости.

Автоматическая система управления стендами позволяет воспроизводить детерминированные и случайные режимы нагружения испытуемых объектов, соответствующие эксплуатационным.

Лаборатория эргономики выполняет работы по проверке автомобилей на соответствие требованиям международных и национальных стандартов и эргономическим рекомендациям. Применяется широкий спектр методов испытаний: инструментальные и органолептические измерения, экспертная оценка результатов измерений и эргономичности автомобиля в целом. По желанию заказчика лаборатория предоставляет эргономическое обеспечение процесса разработки автомобиля на всех его стадиях: от экспертизы технического задания до окончательной оценки эргономического уровня автомобиля при постановке его на производство.

Лаборатория эксплуатационных испытаний и исследований режимов работы автомобиля проводит статистические исследования скоростных и нагрузочных режимов работы автомобилей в различных условиях эксплуатации с целью получения исходной информации, необходимой для разработки методов полигонных испытаний (стендовых, дорожных, имитационных) и расчётов агрегатов и деталей на прочность, долговечность и т. д. Разработанные лабораторией методики моделирования режимов движения автомобилей применительно к городским, магистральным и горным условиям используются в процессе доводки автомобилей и для оценки их эффективности в конкретных условиях эксплуатации. Лаборатория осуществляет исследования по выбору конструктивных параметров автомобилей для оптимизации расхода топлива и производительности на конкретных маршрутах.

Лаборатория диагностики, контролепригодноти внешних измерений проводит экспресс- и углубленное диагностирование автотранспортных средств на современном оборудовании. Здесь же проводится комплексная оценка приспособленности различных автотранспортных средств к проведению контрольно-диагностических работ средствами внешней диагностики. Лаборатория располагает необходимыми методиками и средствами для линейно-угловых измерений любых типов автотранспортных средств, а также для определения внутренних объёмов пассажирских салонов автомобилей и их багажных отделений. Она проводит измерение показателей массы автотранспортных средств с любым количеством осей с применением четырёх однотипных весовых измерительных устройств, позволяющих определять массу, приходящуюся на каждую ось и колесо.

Лаборатория электрооборудования проводит испытания автомобилей по определению создаваемого ими уровня радиопомех. Применяемое для этих целей современное оборудование и помогает определить соответствие автомобиля национальным и международным требованиям, эффективность средств помехоподавления, рекомендовать мероприятия по снижению уровня радиопомех конкретного автомобиля. Лаборатория проводит также оценку расположения внешних световых устройств на автотранспортных средствах.

Лаборатория шин и колес проводит на комплексе дорожных сооружений полигона исследования и испытания шин по оценке их влияния на топливную экономичность, устойчивость и управляемость, тормозные и скоростные свойства и т. п. В лаборатории определяется надёжность и ходимость шин. В лаборатории проводятся научно-исследовательские работы по подбору оптимальных вариантов

конструкций колёс. Она располагает стендовым оборудованием для определения статических и динамических параметров и характеристик шин в широком диапазоне нагрузок и давлений, необходимых для проведения анализа влияния той или другой модели шин на основные эксплуатационные качества автомобилей.

Лаборатория прочностных испытаний проводит испытания и исследования по оценке прочности и долговечности ходовой части автомобилей, разработку на их основе рекомендаций по совершенствованию конструкций. При проведении экспериментальных исследований используется электротензометрия с широким применением современных средств измерений и регистрации параметров. Для выполнения исследовательских работ лаборатория располагает стендом для статических прочностных испытаний несущих систем автомобилей, а также программным обеспечением статических и динамических испытаний.

Коррозионная камера предназначена для проведения форсированных испытаний по оценке надёжности защитных и лакокрасочных покрытий, коррозионной стойкости кабин и кузовов, ресурса агрегатов автомобилей в условиях заданной температуры, влажности воздуха и при воздействии среды «морского тумана». Оригинальная конструкция коррозионной камеры и метод испытаний, разработанные специалистами автополигона, позволяют в 10…15 раз ускорить оценку эффективности защиты крупногабаритных конструкций автомобилей от воздействия коррозии. Длина камеры составляет 12,95 м, ширина – 4,95 м, высота –4,5 м. Расчётная температура в камере до + 50^{o} С, относительная влажность –100 %. Каждый из 60 циклов испытаний автомобилей в коррозионной камере предусматривает выдержку в течении 6 часов в насыщенном солевом тумане при заданных влажности и температуре.

Пылевая камера предназначена для испытаний различных автомобилей, в том числе автобусов, на пыленепроницаемость кузовов и кабин. При этом окна, вентиляционные люки и входные отверстия систем отопления и вентиляции должны быть закрыты. Камера представляет собой закрытое помещение с экранированными от выноса пыли проёмами для въезда и выезда испытываемых автомобилей. Размеры камеры: длина – 60 м, ширина – 4,5 м, высота – 4,8 м. На полу камеры насыпан порошкообразный тальк слоем 3..4 см. Испытываемый автомобиль с включёнными приборами освещения проходит через камеру со скоростью около 25 км/ч с целью создания в воздухе пылевой среды, после чего определяются результаты оценки герметичности салонов.

Дождевальная установка представляет собой специальное помещение, в котором осуществляется имитация дождя, тумана и их совокупности с заданной плотностью. В дождевальной камере проводятся испытания автотранспортных средств в натуральную величину с закрытыми дверями, стёклами, капотом, крышкой багажника, люками и т. п. Длина активного дождевания составляет не менее 1,2 длины кабины или кузова. Искусственный дождь создаётся рассеивающими форсунками, расположенными сверху и с боков объекта испытаний. Кроме того, предусмотрены форсунки, установленные против хода или под углом 45^{o} к направлению движения для проверки различных уплотнений.

Лаборатория инженерных расчетов разрабатывает алгоритмы и программное обеспечение для автоматизированных испытаний и обработки результатов, представленных в аналоговом или дискретном виде, на современных ЭВМ.

Пользователи баз данных обслуживаются с помощью локальной сети ЭВМ непосредственно со своего рабочего места в специализированной лаборатории или в любом испытательном подразделении, которое может быть расположено на значительном удалении, но при этом иметь связь с центральной лабораторией.

Северная испытательная станция автополигона была выбрана по климатическим условиям около г. Сусумана Магаданской области вблизи географического полюса холода. Наиболее холодные месяцы в районе станции с ноября по февраль. Средняя температура января составляет минус 40° С, а абсолютная минимальная температура января – минус 60° С.

В состав сооружений станции входят: главный лабораторно-испытательный корпус, вспомогательный корпус для закрытого хранения испытуемых образцов, открытая площадка для выхолаживания автомобилей и стационарных испытаний.

Основным типовым маршрутом для испытаний автомобилей является магистраль Магадан – Сусуман протяженностью 650 км. Микропрофиль дороги – нестабильный, сильно изменяющийся в течение года.

На базе Северной испытательной станции проводятся испытания и исследования новой автомобильной техники, а также серийных автотранспортных средств в северном исполнении.

Южный опорный пункт автополигона (в настоящее время арендуется) используется для проведения испытаний автомобилей по определению температурных режимов агрегатов в условиях жаркого пустынного климата, эффективности систем вентиляции и кондиционирования воздуха в салоне, а также пылезащищенности салона; используется, кроме того, для проведения испытаний двигателей в условиях высокогорья.

Опорный пункт расположен в 60 км от г. Ташкента. Климат в регионе – сухой тропический. Пик среднесуточных температур наблюдается с июля по август (максимальная температура 45° С). Влажность в этот период составляет 35…40 % на равнинах и 30 % в горных районах.

Для испытаний используются дороги общего пользования, среди которых есть дороги с ровным покрытием, допускающие движение с высокими скоростями; песчаные и с щебёночным покрытием дороги, при движении по которым создаётся сильная запыленность воздуха; горные дороги с асфальтовым и щебёночным покрытием и большим количеством поворотов радиусом 10…20 м, с перевалами на высотах 2000…2400 м, 3000…3400 м, 4000…4650 м над уровнем моря, имеющие уклоны до 22 %.

Наличие уникального комплекса дорог и сооружений, современная лабораторная база, достоверность получаемых результатов испытаний позволили автополигону, как крупнейшему научно-техническому испытательному центру, завоевать заслуженный авторитет у всех зарубежных автомобилестроителей.

Автополигон успешно сотрудничает с автопроизводителями многих стран.

9. СЕРТИФИКАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

В условиях рыночной экономики сертификационные испытания занимают едва ли не самое ответственное место в сложившемся к настоящему времени комплексе испытаний автомобильной техники. Без преувеличения можно назвать сертификационные испытания "венцом" этого комплекса, поскольку они развивались на производственно-технологической, научно-методической и нормативно-технической базе всех иных видов испытаний автомобильной техники.

Чтобы представить значимость и основные особенности сертификационных испытаний автомобильной техники, нужно рассмотреть общие положения о сертификации, формировании системы сертификации и роли испытаний в ней.

Формально сертификация состоит в предоставлении соискателю документа – сертификата – документа, имеющего юридическую силу удостоверения качества товара, а применительно к рассматриваемым объектам автомобильной техники по установившейся терминологии – удостоверение качества механических транспортных средств, их частей, оборудования и прицепов.

Качество объектов автомобильной техники описывается множеством отдельных свойств. Каждое свойство выражается одним или несколькими параметрами, характеристиками или показателями, которые всегда могут быть измерены. Совокупность этих характеристик и свойств образует показатель качества. В обобщенном представлении это означает, что показатель качества есть вектор, компонентами которого являются показатели отдельных свойств, когда учитывается и их значимость. В частном случае, когда качество рассматривается в отношении отдельного свойства, показатель качества представляется скаляром, отвечающим одной компоненте.

Уместно обратить внимание на то, что свойства объектов автомобильной техники не могут рассматриваться без учёта назначения, в частности, отраженного в их категорировании (например, M1-3; N1-3; L1-4; 01-5 по ГОСТ 22895-77, ГОСТ 28429-90). Поэтому одно и то же свойство для разных типов машин выражается различными количественными значениями его показателя или измерителя, а при одинаковых значениях показателей для машин разного назначения качество может быть существенно отличным.

Задаётся качество условиями, которым должны удовлетворять значения показателей свойств. Эти условия являются критериями оценки отдельных свойств или их выбранной совокупности. Проверка выполнения этих условий или соответствия объекта установленным критериям является оцениванием свойств или в установленной совокупности – его качества.

Процесс оценивания качества включает несколько звеньев: установление существенно важных свойств объекта с учётом его назначения, особенностей функционирования, эксплуатации; выявление эффективных показателей этих свойств, поддающихся измерениям; выбор критериев оценки отдельных свойств, обеспечивающих желаемый уровень качества; определение фактических значений показателей каждого свойства и оценка соответствия их установленным критериям,

Фактические значения показателей характеристик таких сложных технических систем, как автотранспортные средства, возможно, получить только в эксперименте, при их функционировании, организованном определенным образом, то есть при испытаниях. Следовательно, основанием для оценивания качества автомобильной техники являются её испытания, причём в широком смысле этого понятия, включающем все перечисленные выше звенья. Имея в виду, что исходной базой всех звеньев оценивания качества тоже является накопленная экспериментальная информация по результатам испытаний, совокупность этих звеньев часто именуется испытательным комплексом.

Возвращаясь к энциклопедическому определению сертификата, ясно, что основанием удостоверения качества его объекта являются результаты испытаний, и вся деятельность по этому удостоверению имеет своим фундаментом целенаправленные и специально организуемые испытания.

Одним из важных аспектов удостоверения качества на основании испытаний автомобильной техники является уверенность в её оценивании. Объекты автомобильной техники используются в разнообразных условиях, при разных уровнях соблюдения правил технической эксплуатации, отличаются различной восприимчивостью к воздействию внешних факторов. При функционировании автотранспортных средств проявляются всевозможные связи различных свойств. Их проявление существенно зависит не только от внешних воздействий на конструкцию, но и от способа управления. Все эти обстоятельства, складывающиеся, как правило, случайным образом, невозможно полностью учесть при постановке испытаний. Поэтому результатам испытаний неизбежно присущ случайный разброс. Следовательно, и в оценивании качества присутствует условность, а удостоверение его требует договоренности, соглашения.

Другой аспект удостоверения качества или сертификации – это общественная потребность в ней. Необходимость удостоверения качества возникает прежде всего в отношениях двух сторон: изготовителя, поставщика, продавца (первая сторона) и потребителя, заказчика, покупателя (вторая сторона). Интересы этих двух сторон могут совпадать и расходиться. Обе стороны стремятся получить достоверную оценку свойств продукции, поскольку с ней соотносится стоимость. Чем достовернее оценка высокого качества продукции, тем более обоснованно изготовитель устанавливает её высокую цену, а потребитель увереннее её приобретает.

Но, как отмечалось выше, результаты испытаний и оценки свойств подвержены разбросу, вследствие чего возникает риск потребителя понести потери при приобретении изделий более низкого качества, чем это следует из полученной оценки. Точно также возникает риск утраты прибыли изготовителем от поставки изделий по цене меньшей, чем они заслуживают своим качеством.

Сертификация, как удостоверение качества на основе испытаний, объективно служит снижению этих рисков, повышению доверия сторон и соглашениям их в отношениях сбыта и приобретения изделий.

В прошлые годы при централизованном плановом управлении экономикой сторонами отношений были главные министерства, управляющие изготовлением,

приобретением и эксплуатацией продукции. Решения о производстве изделий принимались по результатам государственных испытаний, проводившихся с участием изготовителя и потребителя. Здесь возникавшие разногласия разрешались в совместном проведении и анализе результатов испытаний. При положительном решении технический отчёт по испытаниям приобретал характер своего рода сертификата, признанного сторонами.

В условиях рыночной экономики, ликвидации монополизма отношения сторон существенно изменяются. Резко возрастает количество самостоятельных изготовителей и потребителей, возникает конкуренция и конкурентная борьба, где значение риска многократно возрастает, а следовательно, значимость сертификата качества и его достоверности повышается для каждой из сторон.

Стремление защитить свои интересы каждой из сторон может проявляться во всех звеньях испытательного комплекса: в различном выборе сторонами существенно важных свойств продукции, их показателей, критериев оценки и в методах испытаний. При этом для достижения своих целей может использоваться и неизбежный разброс результатов испытаний, и преднамеренное более выгодное какой-либо стороне построение всего испытательного комплекса. В таких обстоятельствах одностороннее оценивание качества и сертификация не могут решить проблемы укрепления доверия в отношениях сторон, его правового регулирования, расширения международной торговли, защиты населения от вредных последствий эксплуатации потенциально опасной продукции. Поэтому так важна потребность не только в достоверном, но и в гарантированно беспристрастном оценивании качества продукции и в его удостоверении.

Для выполнения такой задачи на основании консенсуса двух сторон, участвующих в отношениях производства и потребления, образовывается третья – независимая сторона, заключения которой признаются обеими сторонами. В задачи третьей стороны включаются все звенья испытательного комплекса. Применительно к оцениванию качества каждого вида однородной продукции по взаимному соглашению третьей стороной устанавливаются:

- номенклатура свойств, достоверных для описания качества продукции:
- номенклатура показателей, обоснованных научно-техническими и опытными разработками, надёжно характеризующих данное свойство;
- критерии оценки отдельных свойств;
- средства и методы опытного определения отдельных свойств и оценки их соответствия заданным критериям.

В решении этих задач эффективным опорным материалом служат стандарты и другая нормативно-техническая документация, признаваемая сторонами, и метрологическое обеспечение испытаний, как воплощение достигнутого научно-технического и технологического уровня в изготовлении и контроле качества продукции. Оценивание качества продукции по соответствию её свойств требованиям стандартов и удостоверение этого качества получили название сертификации соответствия третьей стороной.

Сертификация соответствия третьей стороной активно развивается с начала 60-х годов и особенно бурно в процессе создания Европейского экономического сообщества (ЕЭС) и Общего рынка (с его более 380 млн. потребителей). Её цели сформировались, прежде всего, как устранение разных технических, внетарифных барьеров в международной торговле, обеспечение равных условий конкуренции, стимулирование повышения качества продукции и усиление гарантий безопасности, охраны среды обитания при использовании, эксплуатации, потреблении сертифицированных товаров. В эту работу вовлечены не только изготовители и потребители, но и общественные, научно-исследовательские национальные организации, а также Международная организация по стандартизации (ИСО), Международная электротехническая комиссия (1\ЛЭК), Международная комиссия по сертификации соответствия электрооборудования (СЕЕ), Генеральное соглашение по тарифам и торговле (ГАТТ), Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН) и др. Изучение и решение проблем сертификации приняло характер самостоятельной профессиональной деятельности.

По общепризнанному определению ИСО/1\ЛЭК «сертификация соответствия – действие третьей стороны, доказывающее, что обеспечивается необходимая уверенность в том, идентифицированная продукция, процесс или услуга соответствуют конкретному стандарту или нормативному документу».

В этом определении прослеживается много разных элементов сертификации:
- идентификация продукции;
- доказательство её соответствия стандарту;
- обеспечение уверенности в этом соответствии;
- установление уровня этой уверенности, считающегося необходимым и т. д.

Эти элементы находятся во взаимосвязях и определенных отношениях, которые регламентируются при объединении в единое целое – систему сертификации.

Система сертификации является организационной системой. Вместе с тем из определения сертификации видно, что основными её элементами являются: испытания продукции, доставляющие фундаментальные данные, и процедуры оформления этих данных с целью обеспечения в конечном счете высокой значимости и признания их всеми участниками (сторонами).

Характерно что, учитывая возникающую авторитетность результатов, на сертификацию третьей стороной активно воздействуют органы государственного управления, правительства, законодательные власти, осуществляя определенную техническую, экономическую, социальную политику. В связи с этим сертификация разделяется на обязательную и добровольную.

Обязательная сертификация распространяется на продукцию, на изготовление которой в нормативно-технической документации предусматриваются требования по безопасности, экологической чистоте, охране здоровья и имущества граждан от вредных воздействий, нанесения ущерба. Обязательная сертификация вводится как непременное условие реализации продукции. Органами государственного управления устанавливаются перечни продукции и изделий, подлежащих обязательной сертификации в соответствии с законодательными актами.

Добровольная сертификация не предусматривает столь строгой регламентации, организуется по инициативе сторон на условиях договора, преследует цели квалифицированного и достоверного оценивания качества продукции, повышения доверия к этим оценкам и служит улучшению качества, повышению конкурентоспособности изделий.

Исходя из приведенного выше определения сертификации и её составных элементов, объединяемых в систему, сложилась общепризнанная структура систем сертификации. Её основными составляющими являются: техническая служба (испытательные лаборатории, центры), выполняющая фундаментальную часть работы – испытания, оценку соответствия сертифицируемой продукции требованиям, и органы, организующие функционирование системы, определяющие процедуры оформления и порядок действий, осуществляющие контроль, надзор и управление при выдаче сертификатов.

Частные особенности, специфичность изготовления и эксплуатации различных изделий отражаются в системах сертификации однородной продукции.

В общем случае построение и функционирование отечественных систем сертификации определяется документом Госстандарта России «Общие правила и рекомендации по сертификации в Российской Федерации (Система сертификации ГОСТ Р)». В нем изложены:

- общие положения, где устанавливаются цели, принципы и правила национальной сертификации, её правовые основы, содержание используемых терминов и понятий, критерии образования систем, правила и действия участников системы;
- требования к Органу по сертификации и порядок его аккредитации (предоставления полномочий);
- требования к испытательной лаборатории и порядок её аккредитации;
- требования к экспертам-аудиторам и порядок их аккредитации;
- порядок проведения сертификации;
- правила ведения Государственного Реестра – документа государственного учёта участников и объектов сертификации, удостоверяющего результаты сертификации и аккредитации.

Эти положения полностью гармонизированы с рекомендациями международных организаций (ИСО/МЭК), касающихся деятельности в области сертификации. Из приведенного перечня разделов основополагающего документа видно, насколько сложная система образуется для того, чтобы испытания, в которых определяется фактическое качество изделий и его соответствие устанавливаемым требованиям, отвечали определению сертификации или стали сертификационными. Значимость сертификационных испытаний ещё более наглядно проявляется в общепринятых схемах сертификации, приведенных в табл. 11. Из этих схем видно, что в действующей системе сертификации испытания не только дают основания для выдачи сертификата, но и обеспечивают уверенность в нём, поскольку являются основой инспекционного контроля сертифицированной продукции.

Испытания автомобильной техники сыграли фундаментальную роль в разработке первоначальной системы сертификации, введенной Государственным

органом управления в Российской Федерации. В этой системе объектами сертификации являются автомобили (легковые и грузовые), автобусы, троллейбусы, электромобили, мотоциклы, мопеды, прицепной состав, их составные части, предметы оборудования и принадлежности.

Таблица 11

Номер схемы	Способ оценивания соответствия требованиям	Проверка производства	Надзор за соответствием сертифицированной продукции
1	Испытания типа*		
2	Испытания типа	Анализ состояния производства	Новых образцов, взятых в торговле
2а	Испытания типа	Анализ состояния производства	Образцов, взятых в торговле
3	Испытания типа	Анализ состояния производства	Периодические испытания образцов, взятых у изготовителя
3а	Испытания типа	Анализ состояния производства	Периодические испытания образцов, взятых у потребителя
4	Испытания типа	Анализ производства	Периодические испытания образцов, взятых у изготовителя
4а	Испытания типа	Анализ производства	Периодические испытания образцов, взятых у потребителя
5	Испытания типа	Сертификация производства или сертификация качества изготовителя	Контроль стабильности производства и функционирования системы качества
6	Испытания типа	Сертификация системы качества изготовителя	Контроль за стабильностью производства и функционирования системы качества.
7	Испытания партии		
8	Испытания каждого образца		

* Испытания с распространением результатов на всю совокупность.

Примечания:

1. Схемы 1…8 приняты в международной практике и квалифицированы ИСО.

Схемы 2а, 3а и 4а приняты в Системе ГОСТ Р дополнительно и являются модификацией соответственно схем 2, 3 и 4. В Системе ГОСТ Р может применяться схема сертификации, основанная на заявлении – декларации изготовителя, если это определено в сертификации конкретной продукции.

2. Необходимость, место отбора образцов и объём периодических испытаний (образцов) в схеме 5 сертификации определяет орган по сертификации однородной продукции в зависимости от результатов инспекционного контроля за сертифицированным производством.

Приоритетность ввода в действие Госстандартом России этой системы объясняется, прежде всего, потенциальной опасностью её объектов. Достаточно обратить внимание на тенденцию неуклонного и значительного увеличения числа жертв в дорожно-транспортных происшествиях (ДТП), связанных с эксплуатацией автомобильной техники.

Оперативной разработке и быстрому вводу в действие системы сертификации автомобильной техники способствовали два основных фактора. Первый – высокий уровень разработки стандартов в отечественном автомобилестроении. На протяжении длительного времени большое количество научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ сосредоточенно направлялись на повышение технического уровня продукции, что влекло за собой углубленную разработку проблем оценки эксплуатационных свойств выпускаемых и проектируемых машин, возникающих в связи с огромным разнообразием условий их использования, сложностью рабочих процессов, множеством требований функционального соответствия различным транспортным процессам. Концентрация внимания на этих проблемах обеспечивала выработку прогрессивных единообразных показателей свойств, критериев их оценки, средств и методов определения их фактических значений. В этой работе особенно настойчиво развивались области безопасности и экологичности автотранспортных средств. Благодаря целенаправленной организации работ в отрасли ещё в 80-х годах создан пакет стандартов государственного и отраслевого уровня, практически охватывающий все типы механических транспортных средств по всем показателям их свойств.

Одновременно развивалась централизованная система обязательных строго периодических разносторонних испытаний автомобильной техники, причём на единой специально оснащаемой передовой технической и научно-исследовательской базе. Это обеспечило высокий уровень разработки хорошо обоснованной нормативно-методической документации фундаментальной части оценивания качества продукции автомобилестроения – её испытаний, которые проводятся на занимающем одно из ведущих мест в Европе по оснащенности, компетентности и квалификации Центральном автополигоне (Научно-исследовательский центр по испытаниям и доводке автомототехники – НИЦИАМТ).

Второй фактор быстрого ввода в действие национальной системы сертификации автомобильной техники связан с организацией в отрасли постоянного изучения зарубежного опыта работы в области стандартизации и сертификации

автомобильной техники. Результатом этого явилась существенная гармонизация пакета отечественных стандартов с международными и национальными стандартами передовых технически развитых в части автомобилестроения стран, а также международными Правилами по оценке автомобильной техники.

Под эгидой ЕЭК ООН в марте 1958 г. было заключено Женевское соглашение о принятии единообразных условий официального утверждения и о взаимном признании официального утверждения предметов оборудования и частей механических транспортных средств, а в 1968 г. – Венская конвенция о дорожном движении. К данному соглашению разрабатываются и прилагаются номеруемые Правила, которые именуются как Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении: либо отдельного свойства (например, Правила № 13 – в отношении торможения), либо в связи с внешним проявлением свойств (например, Правила № 9 – в связи с производимым шумом), либо в отношении конструктивных параметров (например, Правила № 26 – в отношении наружных выступов). При этом отдельные Правила предусматривают официальные утверждения типа транспортного средства только в отношении регламентируемого им свойства, характеристики, части конструкции и указывают существенные аспекты различий, отсутствие которых позволяет относить различные автотранспортные средства к одному типу в отношении **регламентируемого свойства.**

Каждое Правило включает область применения, определение терминов, содержание, нормативы, методы испытаний, процедуры и оформление документов вплоть до формы сообщения, касающегося официального утверждения типа транспортного средства в отношении регламентируемого этим Правилом свойства (то есть сертификата соответствия) и схемы знака для маркировки сертификационного изделия, показанного в качестве примера на рис. 77.



Рис. 77. Знак официального утверждения данного типа транспортного средства в стране, ратифицировавшей Женевское соглашение 4-й по списку (Нидерланды), на основании испытаний по соответствию Правилам ЕЭК ООН № 11 с серией поправок 02 (в отношении прочности дверных замков и креплений дверей), зарегистрированный под номером последних четырех цифр.

В Правилах по существу отражена и структура, и функционирование системы сертификации согласно рекомендациям ИСО/МЭК.

Специалисты отечественного автомобилестроения участвовали в этой работе и в результате СССР (1987 г.) присоединился к Женевскому соглашению 1958 г. В рамках этого соглашения аккредитован Административный орган (НАМИ) и

технические службы (НИЦИАМТ, НПО "Автоэлектроника", НИИШП, ИЦ "Стеклосертификат"), уполномоченные производить официальные испытания и предусмотренные Правилами действия для выдачи сертификата соответствия (сообщения об официальном утверждении типа механических транспортных средств) требованиям тех Правил, о применении которых в России заявлено секретарю ООН.

Таким образом, ко времени установления прежде всего обязательной сертификации товаров и услуг Законом Российской Федерации "О защите прав потребителей" 7 февраля 1992 г. в автомобильной отрасли машиностроения была подготовлена основа для разработки и ввода в действие системы сертификации: гармонизированные стандарты на автомобильную технику, нормативно-техническая документация на её испытания, техническая база испытаний, опыт участия в международной деятельности по сертификации.

Кроме того, в порядке подготовки к сертификации товаров и услуг Госстандартом России был составлен методический документ «Система сертификации ГОСТ», определивший общие положения сертификации на национальном уровне в соответствии с международным опытом.

Опираясь на эти предпосылки, была оперативно разработана и постановлением Госстандарта России от 1 апреля 1992 г. № 1 утверждена первая "Система сертификации механических транспортных средств и прицепов", действовавшая до 31 марта 1993 г. За время её действия собраны предложения от предприятий-изготовителей, потребителей, испытательных организаций, зарубежных фирм, занимающихся реализацией на территории России автомототехники. После обобщения предложений и согласования с заинтересованными сторонами разработана новая редакция и Постановлением Госстандарта России от 31 марта 1993 г. № 7 утверждена и введена в действие с 1 июля 1993 г. «Система сертификации ГОСТ Р. Система сертификации механических транспортных средств и прицепов».

Прежде всего необходимо отметить высокую значимость и статус сертификационных испытаний. Автомобильная техника, в стандартах на которую установлены требования, направленные на обеспечение безопасности жизни, здоровья потребителей и охраны окружающей среды, предотвращение причинения вреда имуществу потребителей согласно п. 3 Ст. 5 Закона Российской Федерации «О защите прав потребителя» подлежит обязательной сертификации. Согласно Ст. 13 Закона Российской Федерации «О сертификации продукции и услуг» изготовители (продавцы, исполнители) автомобильной техники, как подлежащей обязательной сертификации, обязаны реализовать её только при наличии сертификата. Согласно п. 4 Ст. 7 того же Закона запрещается рекламировать автомобильную технику, не имеющую сертификата соответствия.

Наконец, по официальному Порядку сертификации механических транспортных средств сведения об одобрении типа транспортного средства заносятся в паспорта на каждую выпущенную единицу для предъявления в Госавтоинспекцию при постановке транспортного средства на учёт. Следовательно, сертификационные испытания есть первая предпосылка соблюдения действующих законов. Значимость этих испытаний определяется и процедурами в системе.

На основании протокола испытаний и оценки соответствия испытанного транспортного средства требованиям стандартов или Правил ЕЭК ООН, а также проверки стабильности производства, в которой участвует испытательная лаборатория, органом по сертификации оформляется и выдаётся сертификат соответствия или по их совокупности «Одобрение типа», а также предоставляется право изготовителю обозначить свою продукцию общеустановленным знаком того, что выпускаемое транспортное средство (его часть, принадлежность) соответствует установленным требованиям (рис. 78).



Рис. 78. Образец знака соответствия в национальной системе сертификации России по ГОСТ Р

Сертификационные испытания отличаются повышенной требовательностью и регламентацией используемых методов, оборудования и аппаратуры, отражаемых в НТД на испытания. Это предусматривается в условиях аккредитации испытательных лабораторий (центров). Как известно, аккредитуемые лаборатории подбираются по признакам компетентности в области испытаний тех свойств, на оценивание которых они уполномочиваются, что становится известным из информации о их повседневной испытательной деятельности. Нормативно-техническая документация на проводимые такими лабораториями испытания обычно разрабатывается непосредственно в испытательных центрах и аттестуется на отраслевом уровне. Для сертификационных же испытаний эта нормативно-техническая документация дополнительно оценивается на соответствие требованиям, которые предусматриваются в стандартах или Правилах ЕЭК ООН. Поэтому даже в том случае, когда ранее аттестованная документация на испытания согласуется с требованиями Правил, обычно разрабатывается и вводится в действие отдельный руководящий документ о порядке применения программ, методик, оборудования, используемых в разных других видах испытаний, для проведения сертификационных испытаний по каждому Правилу или требованию стандарта.

В общем случае критериями оценки нормативно-технической документации на сертификационные испытания автомобильной техники являются достоверность получаемых результатов, возможные погрешности измерений оцениваемых показателей, степень воспроизводимости условий и результатов при повторении

опытов. Назначение этих критериев зависит от располагаемых оборудования и средств измерений, составляющих технологическую базу производства испытаний. В частности, применительно к специальным сооружениям для испытаний автомобильной техники важна не только их конструктивная приспособленность, но и возможность поддержания их основных характеристик в стабильном состоянии, например, для испытательных дорог – характеристик микропрофиля (ровности), сцепных свойств покрытия и др. Применительно к средствам измерений нужно соответствие между метрологическими характеристиками (точности, чувствительности, разрешающей способности) и значениями измеряемых в сертификационных испытаниях показателей, указанными в Правилах или стандартах, а также допускаемыми их отклонениями. Для сертификационных испытаний требуется либо документация на поверку и калибровку средств измерений, либо гарантированная возможность их контроля и аттестации уполномоченными органами метрологической службы.

Сертификационные испытания отличаются также предъявляемыми при аккредитации требованиями к персоналу испытателей, включая основное образование, ученые степени, стаж работы, опыт проведения испытаний и другие квалификационные и профессиональные данные.

Еще одна важная особенность сертификационных испытаний вытекает из принадлежности испытательной лаборатории (центра) к третьей стороне, обеспечивающей независимость заключений.

Характерно, что если при проведении иных видов испытаний комиссиями, в том числе и государственных, практикующееся привлечение технического персонала изготовителя (например, водителей-испытателей, контролеров в пробегах и др.) считалось не противоречащим целям испытаний, то при сертификационных испытаниях такая практика строго ограничена.

Метрологическое обеспечение испытаний

При испытаниях автомобильной техники используется разнообразная аппаратура и приборы. Номенклатура привлекаемых измерительных средств постоянно увеличивается по мере ужесточения и расширения предъявляемых требований и необходимости измерения как воздействующих внешних факторов, так и параметров рабочих процессов. Задача выбора средств измерений при испытаниях автотранспортных средств состоит в том, чтобы максимально приблизить их характеристики к создающимся условиям, в том числе и экстремальным. Однако, при этом одновременно решается задача оптимизации выбора, отражающего компромисс между разрешающей способностью, чувствительностью, точностью аппаратуры и стоимостью её, затратами на оборудование, установку и т. п. Отражается этот компромисс в обязательных разделах нормативно-технической документации на испытания – метрологическом обеспечении. Применяемую при испытаниях автомобильной техники измерительную и регистрирующую аппаратуру условно можно разделить на две категории: общего назначения, серийно выпускаемую промышленностью, и специального назначения, изготовляемую индивидуально или небольшими партиями целенаправленно только для конкретных испытаний

автомобилей. Условность такого разделения объясняется тем, что во многих случаях в измерительные комплексы для испытаний автомобилей соединяются воедино и аппаратура общего назначения, и специально сконструированные приборы, или в специальные измерительные устройства для автомобилей встраиваются приборы общего назначения.

Аппаратура общего назначения, выпускаемая промышленностью и используемая при испытаниях АТС, группируется по способу преобразования измеряемых в рабочих процессах механических, тепловых, акустических величин в более простые регистрируемые электрические величины. Широко применяются тензорезисторные преобразователи для оценки напряжений в материале, сил, моментов, деформаций; пьезоэлектрические преобразователи – для ударных воздействий, давлений; индукционные и ёмкостные преобразователи – для оценки относительных перемещений; омические (реостатные) – для оценки линейных и угловых перемещений. Эти преобразователи включаются в электрические схемы совместно с усилительными приборами различного принципа действия, источниками питания, коммутационными устройствами. Для измерений деформаций, сил, моментов и напряжений на вращающихся деталях используются токосъёмные устройства различных типов: контактные (с сухими и жидкостными контактами) и бесконтактные (ёмкостные, трансформаторные, радиотелеметрические). Для регистрации наблюдаемых величин используются самописцы, осциллографы, магнитографы, перфораторы, цифропечатающие устройства, счётчики импульсов, скоростные кинокамеры, дисплейные устройства. Включаются также приборы, предварительно и окончательно обрабатывающие наблюдаемые рабочие процессы и регистрирующие результаты (классификаторы, анализаторы, накопители, информационно-измерительные системы, компьютеры и компьютерные технологии..

При комплектации аппаратуры общего назначения включаются также устройства для её прямой или косвенной калибровки (например, для прямой калибровки тензорезисторов – балки равного сопротивления с нагружателем, для их косвенной калибровки – специальные генераторы прямоугольных импульсов).

Приборы и аппаратура общего назначения используются в испытаниях как автономно, так и встроенно в элементы конструкции (при лабораторных испытаниях на стендах и ходовых испытаниях на испытательных дорогах и сооружениях).

Общие требования к аппаратуре общего назначения – достаточная чувствительность и разрешающая способность, стабильность показаний (ограничение или исключение дрейфа нуля), возможно малая погрешность измерения. При использовании аппаратуры общего назначения в устройствах для ходовых испытаний к ней предъявляются дополнительные требования компактности, нечувствительности к внешним воздействиям колебаний и вибраций, изменений температуры и влажности окружающего воздуха, его запыленности, возможность питания от бортовой электрической сети.

Измерительное оборудование специального назначения учитывает в своей конструкции специфику и номенклатуру эксплуатационных и потребительских свойств, оцениваемых при испытаниях автотранспортных средств. Например, в

испытаниях для определения скоростных свойств могут использоваться как приборы с, так называемым, «пятым колесом», монтируемым на испытательном объекте, для качения по той же траектории движения без проскальзывания, в комплекте с устройством автоматического вычисления скорости поступательного движения и регистрации её совместно с протяженностью пройденного пути и затраченного времени. Автоматическая обработка сигналов пути и времени в этих комплектах (например, типа ПВС-3СА) обеспечивает регистрацию скорости до 250 км/ч с дискретностью отсчета 0,1 км/ч.

В испытаниях для определения тяговых свойств путём измерения свободной силы тяги (усилия буксировки присоединяемого тормозящего прицепа) используются тяговые динамометры с записывающими устройствами и различными пределами максимальных нагрузок. Эти же динамометры применяются на окончательном этапе испытаний эффективности рабочих тормозных систем (нормирование усилия буксировки при включенных тормозах для нагрева тормозных механизмов), а также эффективности запасной, стояночной и вспомогательной тормозных систем.

В испытаниях топливной экономичности используются мерные градуированные цилиндры, устанавливаемые в систему питания между топливным баком и топливным насосом. Цена деления в цилиндрах не превышает 2,5 см. Другой тип приборов – топливомеры предусматривает измерение расхода топлива в топливоподающих магистралях между топливным насосом и карбюратором (у дизелей – после подкачивающего насоса низкого давления). Устройства топливомеров разнообразны, в них используются различные способы фиксации определенных доз проходящего топлива, скорость течения топлива (турбинные расходомеры), интенсивность охлаждения потоком топлива помещаемой в него детали. Наибольшее распространение получили топливомеры первого типа с высокой точностью дискретного отсчета расхода малого объема топлива (0,1 см),большим диапазоном измерений расхода 0,5...100 л.ч и автоматическими вычислительными и цифропечатающими устройствами для регистрации расхода либо нарастающим итогом, либо за определенное время. Серия таких топливомеров поршневого типа моделей ТЧП-2, ТЧП-3, СРТ и т. д. имеют погрешность измерения не более 1 %. Топливомеры используются совместно с приборами «путь, время, скорость» для оценки текущих расходов на определенном пути (в л/100 км) в ездовом цикле.

В испытаниях тормозных свойств, маневренности, управляемости и устойчивости, где условия предусматривают нормирование замедления или ускорения поступательного движения, применяются деселерометры (измерение замедления) и акселерометры обычно инерционного типа с демпфированием. Для исследовательских испытаний используются жидкостные деселерометры.

Для оценки усилий в органах управления используются динамометрические рулевые колеса, рычаги, педали, монтируемые на месте штатных.

При испытаниях по оценке характеристик плавности хода акселерометры используются для одновременного измерения вертикальных и горизонтальных (продольных и поперечных) ускорений в различных местах кабины и кузова.

Обычно акселерометры включаются в специальный комплект виброизмерительной и регистрирующей аппаратуры (типа ВЧ-5М, ВЧ-6 и др.). Кроме того, для отнесения результатов измерения к определенному типу дороги в комплекс специального оборудования для оценки плавности хода включаются и различного типа профилографы, с помощью которых даётся оценка ровности (микропрофиля) поверхности дороги.

В испытаниях шумности автотранспортных средств применяются шумомеры, приёмным устройством в которых являются микрофоны мембранного типа, воспринимающие избыточное акустическое давление. Преобразованное в электрический сигнал акустическое давление после усиления фиксируется на индикаторе стрелочного типа (частотные характеристики шумомеров стандартизованы) или подаётся на записывающее устройство для последующего частотного анализа.

В испытаниях токсичности отработавших газов используют хроматографы или быстродействующие газоанализаторы. В первом случае производится отбор проб в эластичную камеру, во втором – отработавшие газы поступают непрерывно. Для определения концентрации окиси углерода и углекислого газа применяются газоанализаторы недисперсного инфракрасного типа (оптико-акустические). Для установления суммарного количества всех углеводородов применяются газоанализаторы пламенно-анализационного типа.

Для измерения и контроля температур при испытаниях выбирается аппаратура согласно ожидаемому диапазону значений. Обычно при диапазоне 120...150° С используются аэротермометры, в диапазоне до 300...350º С – проволочные (терморезисторы) или полупроводниковые (термисторы) термометры. Температуры выше 300...350º С измеряются термопарами.

К специальной аппаратуре для комплексных испытаний относятся режимомеры, одновременно фиксирующие показатели движения машин, положение органов управления, количество применения управляющих воздействий, длительность различных состояний автотранспортных средств и обстоятельств движения. В режимомерах объединяются специальные устройства из числа вышеперечисленных с датчиками, фиксирующими применение каждого из управляющих воздействий, комплексом счётчиков и чаще всего обрабатывающих компьютерных устройств, для получения в готовом виде таких данных, как количество включений разных передач, путь, пройденный на каждой из них, количество включений сцепления, передач в коробке перемены передач, количество торможений и т. п. на данном маршруте движения или на заданном пробеге.

Перспективные направления развития аппаратуры специального назначения для испытаний автотранспортных средств – это комплексность и автоматизация измерений, обработки, регистрации и наглядного представления (в том числе и на дисплеях) параметров оцениваемых эксплуатационных и потребительских свойств, широкое применение микроэлектроники, освоение интегрированных датчиков и преобразователей, внедрение микропроцессоров, бесконтактных методов измерения, телеметрической передачи данных.

При аудите канал записи данных *калибруется* по крайней мере один раз в год

на контрольном оборудовании, выверяемом по известным калибрам. Методы, применяемые для проведения сравнений с контрольным оборудованием, не должны приводить к ошибке, превышающей 1 % амплитудной характеристики. Применение контрольного оборудования ограничивается диапазоном частот, для которых оно было откалибровано. Точность подсистем каналов записи данных может определяться отдельно, и по полученным результатам определяется точность всего канала записи данных. Это можно сделать, например, при помощи электрического сигнала известной амплитуды, имитирующего выходной сигнал преобразователя, который позволяет проверить коэффициент усиления канала записи данных без преобразователя.

Точность контрольного оборудования для калибрования должна быть указана в свидетельстве и подтверждена службой метрологии.

Статическое калибрование:

ускорения – погрешность не должна превышать ± 1,5 % для данного канала;
силы – погрешность не должна превышать 1 % для данного канала;
перемещения – погрешность не должна превышать 1 % для данного канала.

Динамическое калибрование:

ускорения – погрешность при контрольных ускорениях, выраженная в процентах от верхнего предела измерения, не должна превышать 1,5 % до 400 Гц, 2 % в пределах от 400 до 900 Гц и 2,5 % свыше 900 Гц;
силы и перемещения – то же, что и при статическом калибровании.

Коэффициент чувствительности и искажение линейности. Коэффициент чувствительности и искажение линейности должны определяться посредством измерения выходного сигнала канала записи данных в зависимости от известного входного сигнала для различных значений. *Калибрование* канала записи данных должно проводиться по всей шкале измерения. Для двунаправленных каналов используются как положительные, так и отрицательные значения.

Калибрование частотной характеристики. Характеристики кривых фазы и амплитуды в зависимости от частоты находятся посредством определения выходных сигналов канала записи данных в виде фазы и амплитуды как функций заданного входного сигнала для его различных значений в пределах до 3 000 Гц, в зависимости от того, какое из значений будет ниже.

Влияние окружающей среды. Необходимо регулярно проверять наличие какого-либо внешнего влияния (обусловленного, например, электрическими или магнитными потоками, скоростью движения и т. д.). Это можно сделать, например, посредством записи выходного сигнала имеющихся каналов, оборудованных временно установленными преобразователями. Если получены значимые выходные сигналы, необходимо провести корректировку. .

Запись данных. Запись исследуемых процессов может быть аналоговой. например, на магнитную ленту, цифровой (на магнитную ленту или на электронные носители информации при использовании компьютерных технологий) или на бумажную ленту для медленно текущих процессов, например, при фиксации температуры окружающей среды.

10. ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ ПО ОЦЕНКЕ ИХ ГАБАРИТНЫХ И ВЕСОВЫХ ПАРАМЕТРОВ

Этот вид экспериментальной проверки размерных и весовых параметров автомобилей относится к обязательным протокольным испытаниям, предваряющим другие виды испытаний полнокомплектных машин.

Замеры производятся специальными мерительными инструментами и приспособлениями на горизонтальном участке с высотой неровностей не более ± 2 мм.

Габариты автомобиля – расстояние между плоскостями, проходящими по крайним точкам по длине автомобиля, (расстояние между внешними точками переднего и заднего бамперов); расстояние между плоскостями, проходящими по крайним точкам по ширине автомобиля или расстояние между внешними точками наружных зеркал заднего вида в открытом положении; расстояние от опорной поверхности измерительного участка до верхней точки автомобиля при стандартном давлении в шинах; погрузочная высота кузова, наименьший размер просвета автомобиля от опорной поверхности (клиренс).

База автомобиля – расстояние между двумя плоскостями, проходящими через центры передних и задних колёс.

Колея автомобиля L – расстояние между плоскостями симметрии шин одного моста. Отдельно замеряется колея передних и задних мостов, наружных и внутренних колёс (при наличии развала колёс на шины наносится мел или краска и производится маркировка по их отпечаткам).

Внутренние размеры кузовов и кабин и расположение органов управления замеряются по методикам, оговоренным соответствующими нормативными документами для различных типов автомобилей и сравниваются с требуемыми значениями, после чего делается заключение об удобстве посадки и управления.

В основном определяются:

- удобство посадки водителя, в том числе расположение кресла водителя относительно рулевого колеса, панели приборов и центральной вертикальной консоли, возможность регулировки отдельных частей кресла (подушки, спинки и упорных валиков на них), подголовника и самого кресла (вперёд - назад, вверх - вниз) регулировка положения вала руля и рулевого колеса (вверх - вниз, к себе - от себя);
- удобство управления педальным узлом (хода каждой педали);
- удобство переключения передач;
- удобство включения стояночного тормоза и места его установки или кнопки;
- удобство включения и регулировки всех систем и переключателей с места водителя (ручками, кнопками или иными средствами);
- удобство считывания информации со всех приборов и возможность их размещения перед глазами водителя (без отрыва взгляда от дороги);
- удобство и достаточность обзора дороги перед водителем, сбоку и сзади автомобиля на стоянке и в движении;
- достаточность площади очистки стёкол стеклоочистителями;
- достаточность освещения фарами дорожного полотна на высокой скорости.

Параметры геометрической проходимости в основном включают оценку:
- углов въезда и съезда, вертикальные пороги при въезде и съезде,
- радиусов продольной и поперечной проходимости.
- клиренс,
- ход подвески,
- габаритные размеры.

Свободный радиус колеса – расстояние от центра колеса до внешней стороны покрышки (замеряют диаметр шины и делят его пополам), замеряют на каждом колесе (и на запасном).

Статический радиус колеса – расстояние от центра колеса до опорной поверхности. Для колеса с развалом вносят поправку: $r_c = k \cdot \sin \alpha \ (мм)$, где k – расстояние от точки замера до плоскости симметрии колеса, α угол развала.

Радиус качения колеса – условный радиус, определяющий путь S, *п*роходимый центром колеса при заданном числе оборотов n.

$$r_k = \frac{S}{2\pi n},$$

Испытания проводятся на ровной поверхности без продольных и поперечных уклонов, на которую наносится черта мелом или краской, на скоростях:
V = 40…60 км/час – для грузовых автомобилей и автобусов; V = 80…100 км/час. – для легковых автомобилей
. Испытываемый автомобиль, прокатываясь отпечатывает её на шине, которая затем даёт отпечатки через каждый оборот. На рис. 79 показана схема измерений, где величина l равна окружности колеса при нормальном давлении в шине.

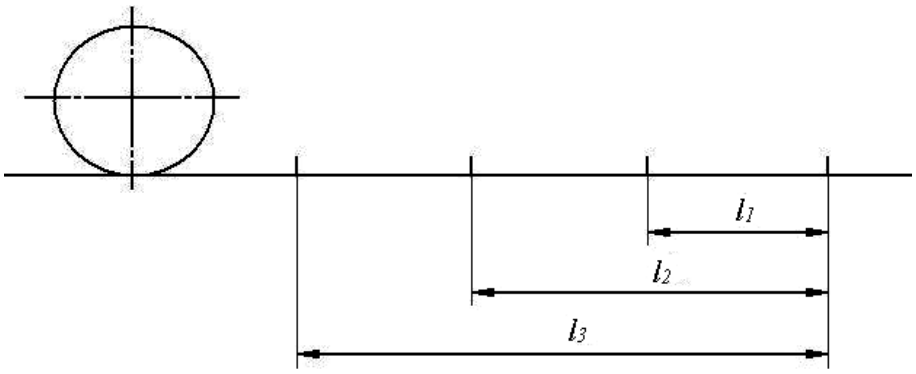


Рис. 79. Схема определения пройденного пути l_i центром колеса

$$r_k = \frac{l_i}{2\pi}; \qquad l_1 = l; \qquad l_2 = l + l_1; \qquad l_3 = l + l_2.$$

Передняя обзорность и видимость с места водителя ухудшаются помехами, вызываемыми конструкцией автомобиля, в частности, боковыми стойками ветрового стекла. Для улучшения передней обзорности обычно стараются уменьшить поперечное сечение стоек ветрового стекла, используя трапециевидное сечение, обращенное меньшим основанием к водителю. Однако возможности уменьшения сечения ограничены требованиями прочности конструкции боковых стоек при опрокидывании и фронтальном ударе. С целью выполнения этих противоречивых требований для обеспечения прочности боковых стоек и улучшения обзорности в современных моделях автомобилей отсутствуют поворотные форточки, которые служили дополнительной помехой в поле зрения водителя. Другие непрозрачные элементы кузова (например, капот, рамки двери, уплотнители стёкол, внутреннее зеркало заднего вида и др.) также создают непросматриваемые с места водителя зоны. Оценка влияния этих зон производится угловыми измерениями.

Угол обзора в среднем составляет 270…283°, а слепых зон – 77…90°. Центральная точка оценки обзорности совпадает с центром головы водителя. Обзор закрывают полностью передние, средние и задние стойки и отдельные детали, например, задние подголовники. Зеркала заднего вида могут иметь неправильное место установки и поэтому могут искажать зоны обзорности. Кроме того, неоптимальные диоптрии могут приближать или удалять объекты и искажать зоны в центре и по краям стекла. Методика оценки обзорности оговорена соответствующими нормативными документами.

На обзорность оказывает влияние и степень очищаемости лобового стекла. Критерием оценки работы стеклоочистителя является степень очистки нормативных зон (это четыре зоны на поверхности ветрового стекла: большая нормативная зона, прозрачная зона ветрового стекла, базовая нормативная зона, малая нормативная зона). Исходное расположение щёток стеклоочистителя в выключенном состоянии выбирается из условия создания щётками и рычагами минимальных помех в поле зрения водителя.

Степень очистки лобового стекла может быть различной в зависимости от движения щёток: в одну сторону с дополнительным поворотом или без поворота щёток относительно рычага; в разные стороны с дополнительным поворотом щёток или без поворота относительно рычага. При параллельной схеме работы щётки (одна, две, и более) движутся по поверхности ветрового стекла в одном направлении одновременно и параллельно. В этом случае очищается значительная поверхность ветрового стекла без явно выраженного пика неочищенного участка. В этом случае щетка в крайнем положении оказывается почти параллельной боковой стойке ветрового стекла, и поле зрения водителя влево существенно расширяется. При работе стеклоочистителя, когда щётки движутся в противоположных направлениях , в верхней части остаётся неочищенный участок. За счёт большего перекрытия щеток этот участок можно уменьшить до пределов непросматриваемой с места водителя зоны, создаваемой внутренним зеркалом.

Лобовая площадь автомобиля определяется в аэродинамических трубах или на специальном стенде (рис.80), на котором автомобиль освещается сзади.

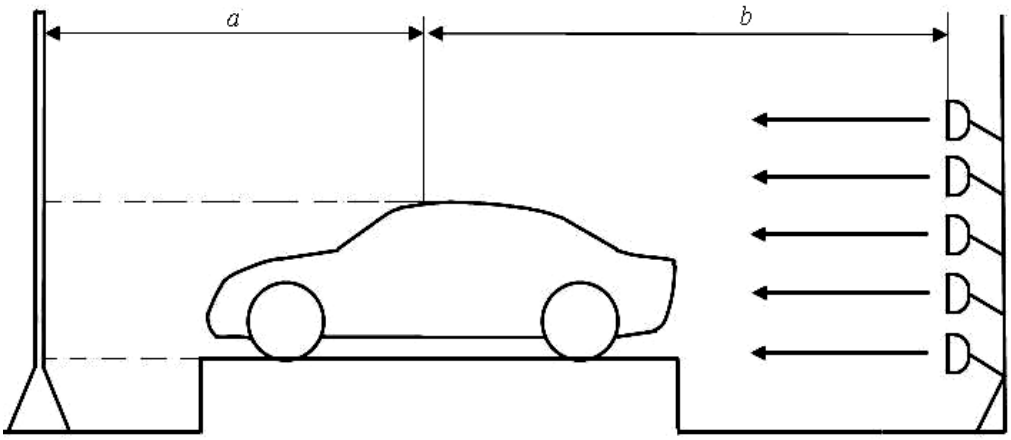


Рис. 80. Схема стенда для определения лобовой площади автомобиля

На экране измеряется теневая площадь F'. Эта проекция на экране получается несколько увеличенной из-за светового эффекта, поэтому она пересчитывается (компьютером) по формуле:

$$F = F'\left(\frac{b}{a+b}\right)^2,$$

где b – расстояние от источника света до точки касания габарита автомобиля,

a – расстояние этой точки до экрана,

F – реальная лобовая площадь,

F' – проекция автомобиля на экране.

Весовые параметры автомобилей определяются взвешиванием на весах, допускающих постановку на платформу машины всеми колёсами. Весы должны иметь с одной или с обеих сторон горизонтальные площадки в одной плоскости с поверхностью весов. Допускается также взвешивание автомобиля на нескольких весах, располагаемых под каждым колесом (платформы таких весов обязательно должны находиться в одной горизонтальной плоскости). Во время взвешивания автомобиля должны быть остановлен двигатель, выключены передачи в коробке передач, расторможены колёса, закрыты двери и борта кузова.

Автомобиль устанавливается на весы сначала передними колёсами для определения нагрузки, передаваемой на весы через шины передних колёс, затем всеми колёсами для определения массы автомобиля в целом и в конце – задними колёсами для определения нагрузки, передаваемой на весы через шины задних колёс.

Весовые параметры автомобилей определяются на специальных или обычных автомобильных весах с погрешностью не более 0,5 кг.

Сухой вес – вес незаправленного и неснаряженного автомобиля (запасное колесо не входит, так как на разных моделях разное их количество).

Собственный вес – вес полностью заправленного (топливом на 90 %) и снаряженного автомобиля с водителем, но без нагрузки в кузове.

Полный вес – вес полностью заправленного и снаряженного автомобиля с полной нагрузкой (для легковых и грузовых автомобилей вес человека принимается равным 75 кг, а для автобусов и микроавтобусов – 70 кг, включая всех детей).

На грузовых автомобилях при испытаниях для создания нагрузки в кузове применяется балласт, который представляет собой чугунные отливки кубической формы весом 100 кг, 250 кг, 500кг и 1000 кг. Ручной балласт – 25 кг.

Для легковых автомобилей и автобусов применяются мешки с песком весом 10 кг и 25 кг. Мешки кладутся на сидение – два вдоль и два поперек.

Заезжая гружёным автомобилем на весы поочерёдно передними и задними колесами определяется осевой вес: G_1 – вес, приходящийся на переднюю ось, и G_2 – вес, приходящийся на заднюю ось. Для трёхосных автомобилей определяется вес, приходящийся на заднюю (или переднюю) тележку.

В таблице 12 приведены параметры отечественных автомобильных весов.

Таблица 12

Параметры	А-10	А-25(м)	А-25(б)	А-50
Предельная нагрузка (кг)	10000	25000	25000	50000
Минимальная нагрузка (кг)	200	500	500	1000
Размеры платформы:				
Длина (м)	5,5	7,5	12,0	15,0
Ширина (м)	3	3	3	4
Погрешность взвешивания	+/– 0,1%	+/– 0,1%	+/– 0,1%	+/– 0,1%

Расстояние a по длине автомобиля – от оси передних колёс до центра тяжести, а расстояние *б* – от центра тяжести до оси задних колёс

$$a = \frac{G_2}{G} \cdot L \; ; \qquad b = \frac{G_1}{G} \cdot L \; ,$$

где L – база автомобиля,

G – полный вес автомобиля,

Высота центра тяжести h находится из формулы:

$$h = \left(\frac{G_b}{G} \cdot L - a \right) \cdot ctg \; \alpha \; ,$$

если автомобиль стоит наклонно под углом α задними колесами на весах (G_b – вес автомобиля на весах).

11. ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ТЯГОВО-СКОРОСТНЫЕ СВОЙСТВА

Тягово-скоростные свойства определяют способность автомобиля достигать наибольшую скорость движения на отдельных участках пути и среднюю скорость на маршруте в заданных дорожных условиях. Эта способность зависит от тяговых и тормозных характеристик автомобиля, от параметров подвески, от управляемости и устойчивости, от квалификации водителя и многих других факторов, но в общем случае можно считать, что средняя скорость при переменном режиме движения определяется максимальной скоростью движения, интенсивностью разгона, то есть приёмистостью, тяговыми и тормозными параметрами.

Максимальная скорость автомобиля определяется на высшей передаче в коробке передач при разгоне до достижения установившейся максимальной скорости при въезде на измерительный участок. Разгон и прохождение мерного участка производится при полной подаче топлива. Как правило, испытания проводятся на автополигоне НАМИ, где на прямой, ровной (без продольных и боковых уклонов) 5-ти километровой дороге, в центре которой расположен мерный участок длиной в 1 км, при отсутствии продольного и бокового ветра производится измерение времени прохождения этого мерного участка. Двухкилометровые участки до и после мерного 1 км служат соответственно для разгона и торможения автомобиля. Время фиксируется с повышенной точностью фотоэлементными часами (фотостворами), показанными на рисунке 81. Заезды повторяются в противоположных направлениях и высчитывается среднее значение.



Рис. 81. Фотостворы

Максимальная скорость $V\,max = 1/t\ 3600$ (км/ч),

где t – время прохождения мерного однокилометрового участка в секундах.

Для этих испытаний допускается специальная подготовка автомобиля.

Приёмистость (путь, время и ускорение разгона) определяется путём разгона автомобиля с места и с хода. Разгоны с места выполняются с переключением передач, воспроизводя процесс трогания автомобиля и достижения требуемой скорости с наиболее возможной интенсивностью, то есть при полной подаче топлива. Разгоны на отдельных передачах производятся с начальной заданной скорости до максимальной.

Для грузовых автомобилей разгон начинается со второй передачи. Для определения пути, времени и скорости разгона автомобиля применяются различные приборы, среди которых традиционным является прибор «пятое колесо», который шарнирно крепится сзади (реже сбоку) к автомобилю и позволяет записывать эти параметры (рис. 82).

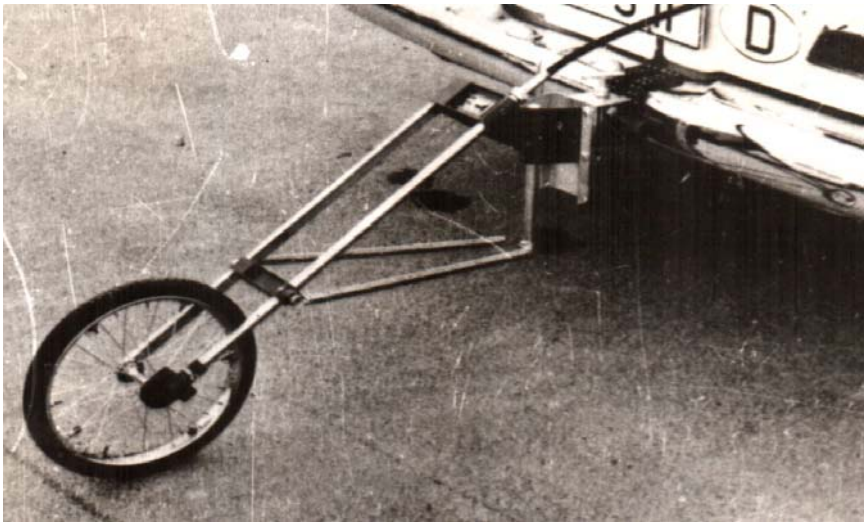


Рис. 82. «Пятое колесо» фирмы Peiseler

Записывающий прибор (старой модели – механический с часовым механизмом), который ещё называется «путь – время – скорость», приводится в действие от «пятого колеса» через гибкий вал. За пройденный 1 км «пятым колесом» гибкий вал делает 1000 оборотов. Самопишущий прибор с записью измеряемых процессов на бумажную графлёную ленту с помощью карандашей или других средств в каждый момент фиксирует пройденный путь, время и среднюю скорость за пройденный путь.

Последние модели приборов «путь – время – скорость» измерения выдают в цифровой форме с индикацией на световом табло. Современные записывающие приборы электронного типа обладают несравненно большими возможностями по фиксации записываемых параметров, по быстродействию и точности. «Пятое колесо» во время движения передаёт вращение фотоэлектрическому датчику, формирующему электрические импульсы, пропорциональные скорости и отмечающие пройденный путь. Электронная система фиксирует величины скорости в заданные моменты разгона, а также формирует импульсы времени и пути.

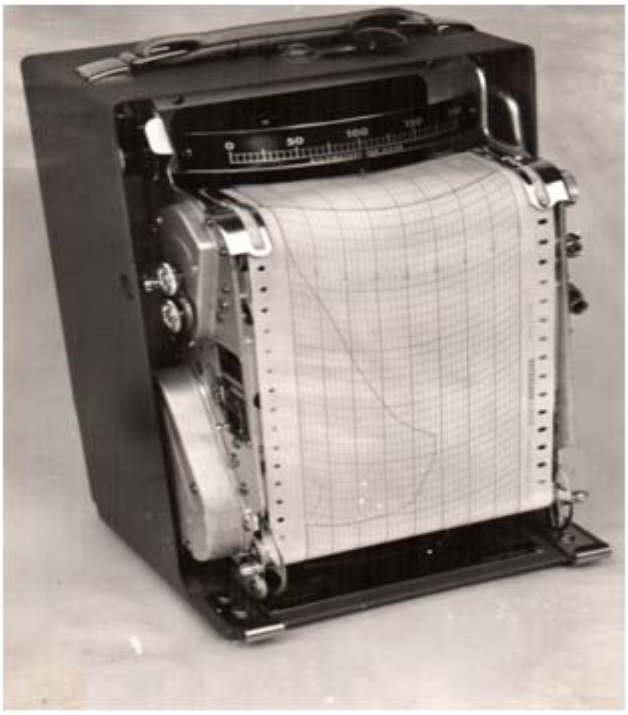


Рис. 83. Регистрирующий прибор «пятого колеса»

При определении динамических качеств автомобиля иногда требуется контролировать величину ускорений в любой момент времени. Для этого используются приборы, показывающие текущее значение ускорений – акселерометры (рис. 84)..



а) ***б)***

Рис. 84. Акселерометры:
а) – жидкостный, *б)* – электронный

У гидравлического акселерометра нижняя часть сосуда заполнена ртутью, верхняя маслом, одна шкала – ускорение, вторая – замедление. При ускорении ртуть, как тяжёлая жидкость, смещается и вытесняет подкрашенное масло в указательную трубку ускорений, при замедлении ртуть смещается в другую сторону и вытесняет масло в трубку замедления.

В электронных акселерометрах используется принцип тензометрирования. В них на изгибной балке с тензодатчиками расположен грузик, который изгибает балку при ускорении в одну сторону, а при замедлении – в другую. Датчики, включённые в измерительную систему, выдают сигнал, адекватный измеряемой величине (ускорению или замедлению).

Тяговые характеристики автомобилей при оценке их динамических качеств определяются в соответствии с действующими нормативными документами, они строго регламентированы и проводятся по общепринятым методикам.

Тяговые характеристики наиболее точно определяются либо на полигонах, либо в заданных дорожных условиях.

Преодолеваемые углы подъёма автомобилем относятся к совокупным характеристикам тягово-скоростных качеств автомобилей. Эти испытания проводятся только на специализированных полигонах для получения сопоставимых результатов при оценке однотипных моделей отечественных и зарубежных автомобилей.

Часто тягово-скоростные испытания проводятся в стендовых условиях при создании идентичных условий нагружения для различных автомобилей. Это очень важно при оценке технических параметров автомобилей, имеющих примерно одинаковые конструктивные и эксплуатационные характеристики.

В стендовых испытаниях используется принцип обратимости, то есть автомобиль стоит, а дорога движется. В качестве движущейся дороги используют вращающиеся барабаны, на которых автомобиль стоит ведущими колёсами, или движущаяся опорная лента. Вал барабана соединён с тормозом. Автомобиль устанавливается так, чтобы ось колеса совпадала с осью барабана.

На таких стендах определяются практически все основные конструктивные и эксплуатационные характеристики:

– весовые параметры автомобиля;
– реакция на передних колёсах, зависящая от момента на задних колёсах;
– переменная реакция на ведущих колёсах;
– вращающий момент на ведущих колёсах;
– скорость вращения колёс;
– обороты коленчатого вала двигателя;
– тяговое усилие на ведущих колёсах;
– вращающий момент на валу барабана;
– показания динамометра, удерживающего автомобиль;
– показания тормозного динамометра;
– момент, теряемый на преодоление внеинерционных сопротивлений;
– динамический радиус ведущих колёс;
– координаты центра тяжести.

12. ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ

Под топливной экономичностью подразумевается свойство автомобиля, определяющее расход топлива при движении в различных эксплуатационных условиях и на различных режимах.

Топливная экономичность зависит:

– от экономичности двигателя, оцениваемой удельным расходом топлива;

– от сил сопротивления движению, определяемых конструкцией автомобиля (вес, фактор обтекаемости, инерционные массы и др.);

– от качества дороги.

Сложность явлений, происходящих при движении автомобиля, а также множество внешних разнообразных условий приводят к необходимости экспериментального определения показателей экономичности. Это выполняется либо на стенде с беговыми барабанами, либо в дорожных испытаниях.

Автомобиль работает в различных дорожных условиях, на различных скоростях, с различной нагрузкой, поэтому единого показателя экономичности нет. Обычно экспериментально определяются несколько основных характеристик.

1. Контрольный расход топлива определяется на одном скоростном режиме движения в условиях, позволяющих получить наибольшую сопоставимость результатов (на прямолинейной без уклонов сухой дороге с твёрдым покрытием).

Эта характеристика позволяет судить об отсутствии или наличии грубых нарушении в регулировке топливной системы, в установке зажигания и о сопротивлениях в трансмиссии и ходовой части. Контрольный расход определяется на автомобиле с полной (номинальной) нагрузкой на высшей передаче при движении с постоянной скоростью (ГОСТ 20306-85).

Контрольный расход определяется по заездам на участке 3…5 км.

При испытаниях применяются приборы с мерными цилиндрами (рис. 85), с мерными шарами (рис. 86) или счётчик-топливомер.

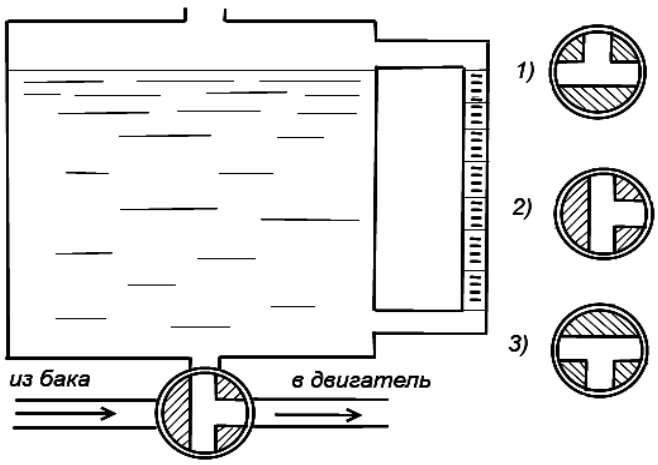


Рис. 85. Схема построения мерного цилиндра

Прибор с мерным цилиндром состоит из стеклянного цилиндра с топливомерной трубкой, имеющей шкалу. Прибор оборудован секундомером и соединённым с ним трёхходовым краном, который имеет три положения:
1) – заполнение цилиндра из топливного бака автомобиля;
2) – питание двигателя из цилиндра, топливный бак отключен;
3) – питание двигателя из топливного бака минуя прибор.

Прибор включается между топливным баком и насосом. Заполняется он насосом или используется разряжение в цилиндре (если прибор расположен выше бака). При испытаниях расход топлива определяется при прохождении автомобилем мерного участка, время замеряется секундомером. К недостаткам прибора можно отнести падение уровня в мерной трубке в момент переключения на двигатель за счёт разности давлений, так как прибор располагается выше бака и прерывистое заполнение поплавковой камеры.

Другим прибором, часто применяемым для измерений является устройство с мерными шарами.

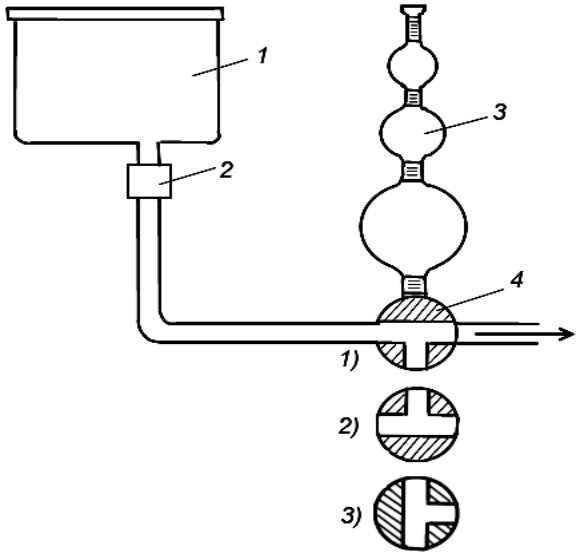


Рис. 86. Схема построения мерных шаров:
1 – бак; 2 – фильтр; 3 – мерные шары; 4 – 3-х ходовой кран:
1) заполнение карбюратора из топливного бака; *2)* заполнение мерных шаров и питание двигателя; *3)* измерение расхода топлива

Объёмы шаров строго вымерены, как правило, верхний шар вмещает один литр, средний шар – три литра, нижний шар – пять литров. Расход определяется путём замера времени расходования известного объёма топлива.

Счётчик-топливомер ставится между бензонасосом и карбюратором. Он подаёт топливо в карбюратор малыми порциями постоянного объёма – 4 см^3. Предназначен счётчик для замера расхода топлива при испытаниях двигателей.

Для определения мгновенных значений расхода топлива применяются, так называемые, флоуметры (рис. 87).

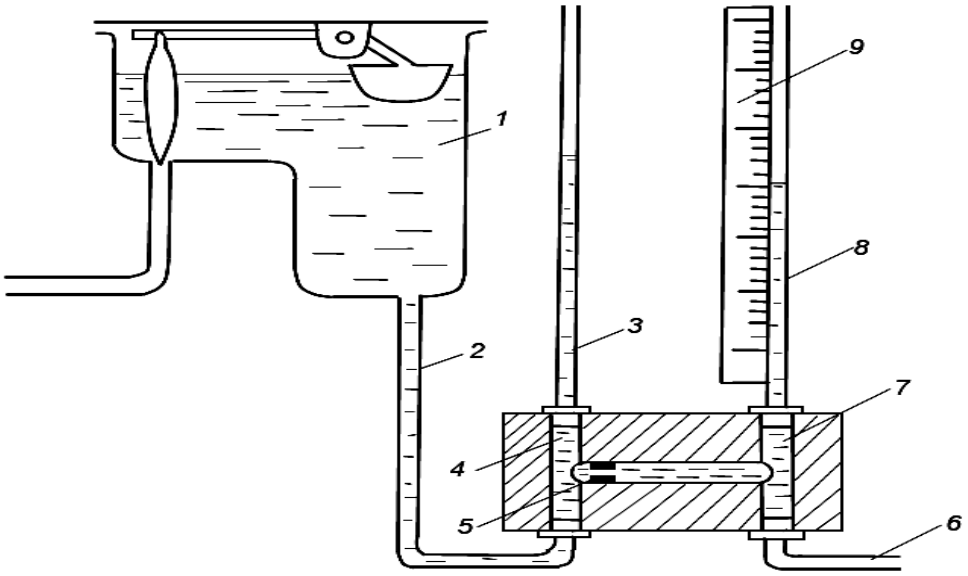


Рис.87. Схема построения простого флоуметра:
1 – поплавковая камера, создающая постоянный статический напор; *2* – трубопровод подающий; *3* – трубка, фиксирующая уровень в поплавковой камере; *4* – камера распределения; *5* – жиклёр; *6* – трубка карбюратора; *7* – камера давления; *8* – трубка, показывающая давление в камере; *9* – шкала

Прибор основан на измерении напора топлива при прохождении калиброванного отверстия – жиклёра. Трубка 3 фиксирует давление в камере 4, а трубка 8 – в камере 7. Шкала проградуирована в кг/час. При увеличении расхода топлива в единицу времени снижается уровень топлива в измерительной трубке 8, соответственно возрастает напор и скорость протекания топлива через калиброванное отверстие 5, что можно наблюдать по шкале этой трубки.

Для измерений расхода топлива при диагностике автомобилей распространены объёмные (например, К-516.02, КИ-8940, UZP-3., UZP-6 , Мотекс, ЭЮФ-80М, Фловтроник-205), ротаметрические (РТА-2, КИ-12371) и турбинные (КИ-13967, К-427) расходомеры топлива.

2. Дорожная экономическая характеристика(топливная характеристика установившегося движения) – это зависимость расхода топлива от скорости автомобиля при постоянном режиме движения на каждой скорости. Измерения проводятся в обоих направлениях на ровном горизонтальном участке дороги с сухим покрытием. Заезды начинаются с максимальной скорости, затем через равные интервалы в 10 км/час для грузовых автомобилей и автобусов и в 20 км/час для легковых автомобилей убавляются вплоть до минимально устойчивой скорости движения. В зависимости от тяговых особенностей автомобиля испытания проводятся либо на высшей передаче, либо на предшествующей ей передаче.

Расход топлива определяется мерными цилиндрами. Скорость контролируется тарированным спидометром. Измеряются время прохождения мерного участка дороги длиной не менее 1 км и количество израсходованного топлива.

Окончательным результатом является среднеарифметическая величина расхода при заездах в обе стороны, округлённая до 0,1 л/100 км. Измерения могут проводиться для различных нагрузочных состояний автомобиля. По результатам измерений, полученным при заездах в обоих направлениях, строится осреднённая кривая, определяющая дорожную экономическую характеристику (рис. 88).

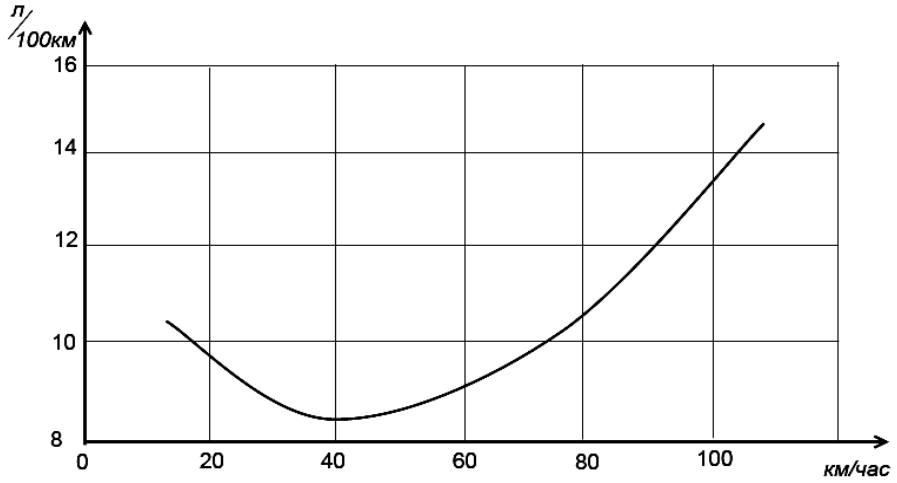


Рис. 88. Вид дорожной экономической характеристики автомобиля

3. Топливная характеристика при движении по дороге с переменным продольным профилем снимается на одном и том же участке испытательной дороги (как правило, на автополигоне) для получения сопоставимых результатов для всех сравниваемых автомобилей. Для приближения условий эксперимента к условиям эксплуатации автомобилей на дорогах общего пользования, где обычными являются задержки и помехи движению от других транспортных средств, при снятии характеристики ограничиваются наибольшие скорости, допускаемые в ходе отдельных заездов. При определении каждой точки характеристики пробег испытуемого автомобиля должен быть выполнен по установленному кольцевому маршруту с наибольшей возможной скоростью, но без превышения ни на одном из участков маршрута установленной предельной для данного заезда скорости. Предельные скорости задаются в определенном диапазоне, начиная от номинальной скорости автомобиля до низшего предела, устанавливаемого, исходя из максимальной скорости автомобиля. На спусках во избежание превышения заданной скорости следует применять торможение двигателем, тормозом-замедлителем (при его наличии) или рабочей тормозной системой (плавное притормаживание).

Аналогичным образом проводят заезды на всех режимах, отличающихся заданными предельными скоростями движения. По полученным данным подсчитывают средние скорости и средние расходы топлива в каждом заезде. Результаты каждой пары заездов усредняют. По подсчитанным средним значениям скоростей и удельных расходов топлива (на единицу пути) для каждого ограничения скоро-

сти строятся характеристики: скоростная, выражающая зависимость средней скорости от заданной предельной (в каждом заезде), и топливную, являющуюся зависимостью среднего удельного расхода топлива от средней скорости в заезде.

4. Топливная характеристика циклического движения определяется для автомобилей, работа которых в эксплуатации носит циклический (периодически повторяющийся) характер, таких, как, например, городские автобусы, автомобили-самосвалы, автомобили торговой или почтовой службы. Для них целесообразно определять расход топлива при циклическом режиме движения, воспроизводящем в типизированном (обобщенном) виде наиболее характерные для автомобиля данного назначения эксплуатационные условия.

Элементы эксплуатационных циклов регистрируются в процессе специальных предварительных испытаний посредством, так называемой, режимометрической аппаратуры. При этом фиксируются путь цикла, число и продолжительность остановок, время движения, число включений отдельных передач и время (или путь) движения на передачах, число включений сцепления, число и интенсивность торможений, расход топлива, нагрузки двигателя (например, по положению органа топливоподачи) и т. п.

После математической статистической обработки формируется испытательный цикл, который воспроизводится при определении расхода топлива в процессе циклического движения.

Расход топлива и время движения автомобиля измеряеюся на заданной дистанции (например, на автобусном маршруте), которая может включать несколько десятков или сотен отдельных циклов. По этим данным подсчитывается удельный расход топлива на единицу пути и средняя скорость, которую определяется как по общему времени пути, включая время остановок (средняя эксплуатационная скорость), так и по чистому времени движения (средняя скорость движения).

Топливная экономичность на дорогах общего пользования обычно определяется при заездах на достаточно длинную дистанцию (50…100 км и более) с измерением расхода топлива и средней скорости движения по нескольким типичным видам автомобильных дорог, в том числе по автомагистралям, дорогам с неровным твердым покрытием, грунтовым, горным и т. д., а также в городских условиях. На этих дорогах выбираются наиболее характерные участки и на них проводятся заезды, обычно в двух взаимно противоположных направлениях. Пройденный в каждом заезде путь определяется по калиброванному счётчику пути с контролем, где возможно, по километровым путевым знакам. Время движения измеряется секундомером. Расход топлива замеряется с помощью объёмного счетчика-топливомера или съёмного мерного бачка (взвешиванием или по объёму). Параметры скоростного режима регистрируются самопишущим прибором (например, автометром).

5. Дорожная регулировочная характеристика определяет возможности регулировок топливных приборов (например, карбюраторов) позволяющих изменить мощностные показатели двигателя и влияющие на экономичность.

Как правило, завод-изготовитель даёт предельные регулировки, поэтому возникает необходимость найти оптимальную регулировку. Это достигается рядом заездов с различными регулировками до достижения максимальной скорости.

Подсчитываются расходы топлива на максимальной скорости и на лучшей приёмистости. Расход берётся на единицу пути.

6. Приведённый расход топлива – это часть общего расхода топлива при разгоне, энергия которого расходуется на преодоление сопротивления воздуха и дороги, в отличие от остальной части топлива, которая преобразуется в кинетическую энергию движения автомобиля.

Этот расход определяется при заездах по циклу «разгон – накат» с замером общего пути и расхода топлива на разгон.

$$Q = 100Q_p/S_ц,$$

где Q_p – расход топлива на разгон;

$S_ц$ – путь цикла в м.

При этих испытаниях используются расходомерные приборы, которые предназначены для определения мгновенного расхода топлива (суммарного или на единицу пути.

Наиболее распространены расходомеры, которые рассчитаны на диапазон 0,5… 40 л/ч с дискретностью 1см^3. Эти расходомеры устанавливаются между топливным насосом и карбюратором (у дизелей – после подкачивающего насоса низкого давления). Действие их основано на последовательном перемещении поршней в цилиндрах под давлением топлива, поступающего от топливного насоса двигателя. Поршни связаны шатунами с кривошипом центрального валика. Диаметр цилиндров и ход поршней рассчитаны так, что за один оборот валика вытесняется 2 см^3 топлива.

Импульсы от расходомеров поступают на цифропечатающие приборы и подсчитываются ими либо в течение 3,6 с, либо на пути 100м. Результаты подсчёта выдаются в цифровой форме и соответствуют часовому расходу топлива или расходу топлива в литрах на 100км пути.

При оценке приведённого расхода топлива среднее ускорение Jp подсчитывается по выражению:

$$Jp = V_2 – V_1/3,6\ Tp,$$

где V_1 и V_2 – соответственно скорость конца и начала разгона в км/час;

Tp – время разгона в секундах.

7. Расход топлива на холостом ходу определяет общую топливную экономичность автомобиля, так как значительное время двигатель работает на холостом ходу (при прогреве, на стоянке, перед светофором, в пробках и т. п.).

13. ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ, УПРАВЛЯЕМОСТЬ И МАНЕВРЕННОСТЬ

В современной трактовке управление автомобилем определяется способностью системы «водитель – автомобиль – дорога» (ВАД) сохранять устойчивость управления в заданных условиях и режимах движения. Устойчивость управления – это свойство системы ВАД выполнять с необходимой точностью задаваемый закон движения, который складывается из устойчивости управления траекторией, скоростью, ускорением и замедлением, устойчивости курсового управления и поперечной устойчивости.

Под устойчивостью понимается способность колёсной машины двигаться в разнообразных условиях без опрокидывания и без бокового скольжения колёс всех осей или одной из них, то есть устойчивость управления траекторией – это свойство системы ВАД отслеживать заданную траекторию движения, а устойчивость курсового управления определяет возможность регулирования разности углов увода на осях после потери автомобилем курсовой устойчивости.

Устойчивость колёсной машины непосредственно связана с другим важным качеством – управляемостью. Под управляемостью понимается способность колёсной машины точно следовать повороту управляемых колёс.

Основными оценочными показателями автомобиля являются:
- коэффициент поперечной устойчивости;
- угол опрокидывания;
- угол крена;
- устойчивость управления траекторией (в баллах);
- устойчивость курсового управления (в баллах);
- устойчивость против опрокидывания (в баллах);
- устойчивость управления скоростью (в баллах);
- устойчивость управления замедлением (в баллах);
- устойчивость управления траекторией при торможениях;
- предельная скорость выполнения маневра.

Для оценки устойчивости управления используется шкала балльных оценок:
5,0 – отлично, улучшать не требуется, водитель не ощущает затруднений при управлении автомобилем;
4,5 – неясно: хорошо или отлично;
4,0 – хорошо, желательно улучшить, водитель ощущает набольшие затруднения в несоответствии реакции автомобиля на управляющее воздействие;
3,5 – неясно: посредственно или хорошо;
3,0 – посредственно, необходимо улучшить, водитель испытывает трудности;
2,5 – неясно: удовлетворяет или нет;
2,0 – плохо, необходимы изменения, водитель работает на пределе своих возможностей, малейшая ошибка приведёт к потере устойчивости управления;
1,5 – неясно: бывает ли хуже;
1,0 – хуже не может быть, устойчивое управление невозможно.

13.1. Определение угла поперечной (боковой) устойчивости

Угол поперечной (или боковой) устойчивости автомобиля определяется в стационарных условиях на специальном стенде или при движении автомобиля по косогору с твёрдым ровным грунтом и с постепенно увеличивающимся уклоном.

При движении в момент достижения колёсной машиной неустойчивого равновесия, то есть начала бокового опрокидывания, движение прекращается, и измеряется угол наклона косогора, если он заранее не обозначен (обычно стоят столбики через каждые $30'$ увеличения угла наклона, на которых обозначен угол косогора в градусах). Во избежание опрокидывания и аварии при испытаниях следует применять предохранительные устройства в виде троса (рис. 89) или специальных упоров на испытываемой машине. Один конец троса крепится к испытываемой машине, а другой к раме машины сопровождения.

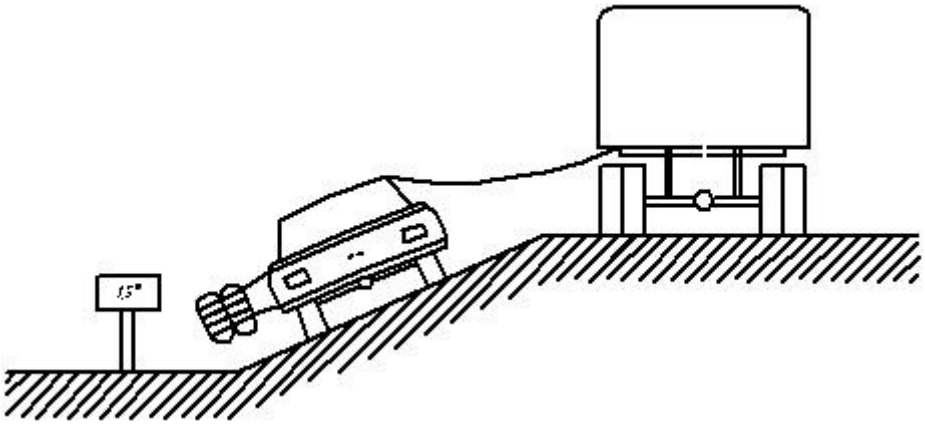


Рис. 89. Схема испытаний на косогоре

При определении угла боковой устойчивости в стационарных условиях испытываемая машина устанавливается на жёсткой платформе или раме. Затем одну сторону этой платформы или рамы поднимают с помощью тали, механического подъёмника или гидроподъёмника. Платформа поднимается постепенно с интервалами угла наклона не более 5^{o}, вплоть до начала отрыва от опорной поверхности колёс одной стороны. Стенд обязательно оборудуется устройством, предохраняющим опрокидывание машины.

При достижении предельного положения машины угол наклона платформы фиксируется угломерным прибором.

Опыты повторяются для двух весовых состояний:

– без груза;

– с полной нагрузкой.

В этом случае груз (не сыпучий), располагается так, чтобы его центр тяжести совпадал с точкой пересечения диагоналей кузова (рис. 90).

Для автомобилей-самосвалов и прицепов-самосвалов с разгрузкой в стороны

необходимо дополнительно определять устойчивость при разгрузке на косогоре.

Для количественной и сравнительной оценки устойчивости машины против опрокидывания можно использовать коэффициент боковой устойчивости h_0, который представляет собой отношение колеи автомобиля B к высоте центра тяжести hg.

$$h_0 = B/2hg$$

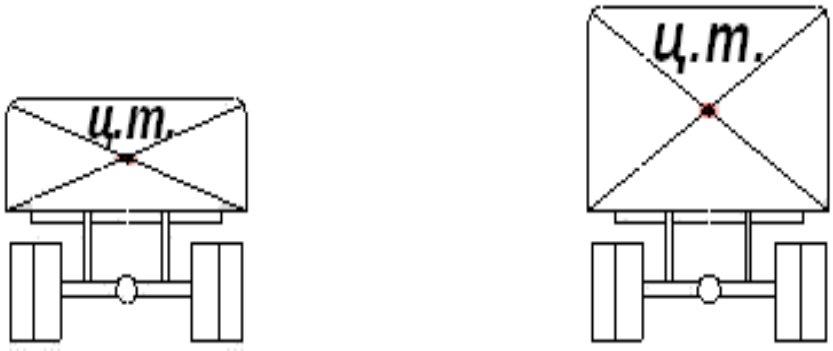


Рис. 90. Расположение центра тяжести груза в кузове

Так как h_0 – численно равен тангенсу угла наклона дороги, при котором наступает неустойчивое равновесие, то обычно его значение сопоставляют с величиной экспериментально найденного угла опрокидывания.

Определение угла опрокидывания в стационарных условиях предпочтительнее, так как этот способ может применяться в любое время года и даёт более стабильные и сопоставимые результаты по сравнению с дорожными испытаниями. С другой стороны в дорожных условиях точнее определяется реальный угол опрокидывания на различных опорных поверхностях, так как при этом действуют многие внешние воздействия, которые не могут быть учтены на стендах.

13.2. Определение бокового крена шины

В лабораторных условиях боковая устойчивость кузова и других подрессоренных частей может быть оценена по величине угловой жёсткости Λ подвески, представляющей собой отношение момента M, наклоняющего подрессоренные массы в поперечной плоскости, к вызываемому им углу наклона α.

Угловая жёсткость Λ определяется экспериментально приложением к кузову известных моментов M и измерением углов α. (рис. 91). Приложение момента M может быть осуществлено с помощью рамки, укреплённой на автомобиле в

плоскости центра тяжести кузова, на которую с одной стороны действует подъёмное устройство, а с другой такая же сила в противоположном направлении.

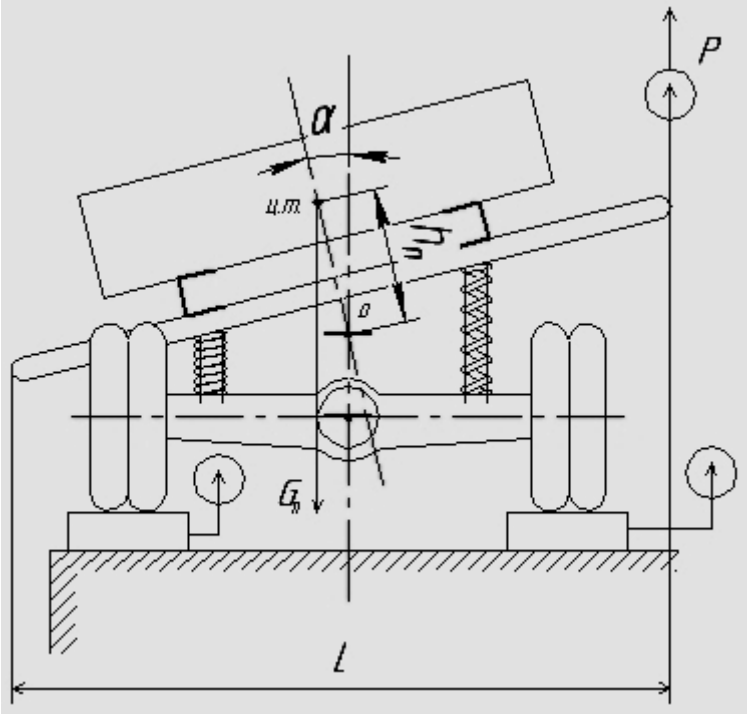


Рис. 91. Схема определения угловой жёсткости подвески автомобиля

В этом случае боковая жёсткость подвески определится из выражения:

$$\lambda = \frac{M}{a} = \frac{0.5 \cdot P \cdot L + G_{П} \cdot h_{П} \sin a}{a},$$

где P – усилие динамометра;

L – плечо действия силы;

α – угол крена в поперечной плоскости;

Gn – вес подрессоренных частей;

h_n – расстояние центра тяжести подрессоренных масс от оси поперечных колебаний автомобиля.

Для определения момента M необходимо предварительно определить вес подрессоренных частей и расположение их центра тяжести. Затем определяется положение оси поперечных колебаний.

Ось поперечных колебаний представляет собой геометрическое место точек, вокруг которых поворачиваются подрессоренные массы под действием поперечного момента (рис.92). Вследствие высокой жёсткости рамы и кузова машин это геометрическое место точек близко к прямой, лежащей при нейтральном положении кузова в продольной вертикальной плоскости симметрии машины.

Положение оси поперечных колебаний *A'A"* обуславливается кинематикой передней и задней подвесок и может быть по-разному наклонено к горизонтали.

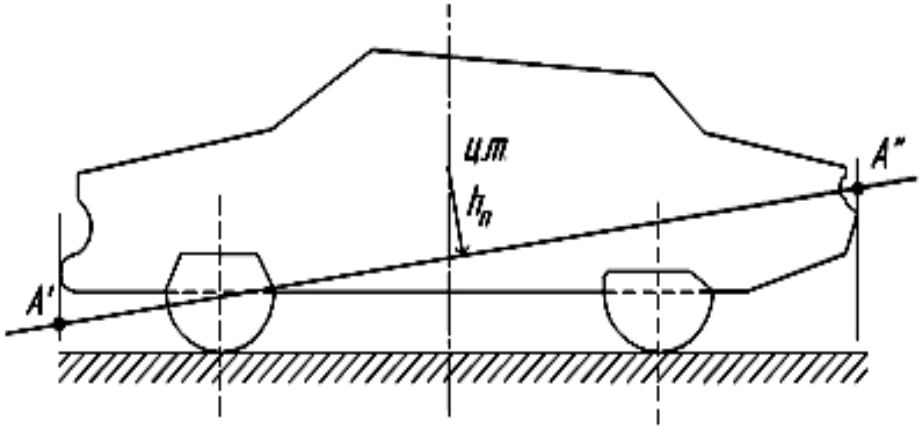


Рис. 92. Расположение оси поперечных колебаний

Для экспериментального нахождения оси поперечных колебаний машина устанавливается на горизонтальной ровной площадке и к кузову прикрепляется мерная доска (рис. 93). Ось мерной доски должна точно совпадать с продольной осью симметрии машины.

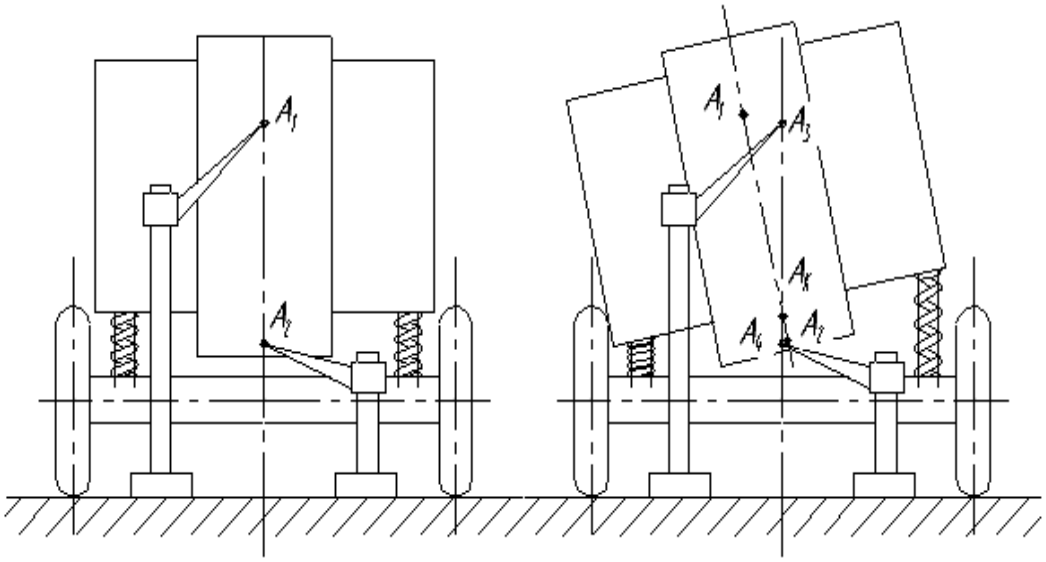


Рис. 93. Схема определения оси поперечных колебаний

К двум точкам A_1 и A_2 на оси мерной доски подводятся указатели. Затем кузов поворачивается с помощью рамки, как описано выше, и отмечаются указателями новые точки A_3 и A_4. Точка *Ак*, являясь мгновенных центром вращения кузова (так как она лежит на пересечении прямых A_1A_2 и A_3A_4), будет лежать на оси поперечных колебаний.

Проведя такое испытание спереди и сзади машины, находится положение оси поперечных колебаний (проверяют наклоном кузова в обе стороны).

Ось поперечных колебаний можно определить фотосъёмкой яркой точки на кузове (на оси симметрии) с большой экспозицией при раскачивании кузова.

Для небольших углов наклона (до 8^o) можно принять $\sin\alpha \approx \alpha$, тогда

$$\lambda = \frac{P \cdot L}{2 \cdot a} + G_П \cdot h_П .$$

При определении боковой жёсткости Λ рекомендуется контролировать вес, действующий на колёса. Для этого колёса ставятся на весы.

В дорожных условиях боковая устойчивость кузова машины оценивается непосредственно по углу его крена при движении на повороте с различными скоростями. Запись ведется самописцем с помощью гироскопа и отметчика времени. Испытания проводятся на дорогах автополигона (скоростной, динамометрической, булыжной ровного замощения, горной и на круглой испытательной площадке), а также на дорогах общего пользования (третьей категории), включающих повороты малых радиусов и участки с неровным покрытием.

13.3. Испытание на увод и занос колёсной машины на повороте

Совокупность качеств, обеспечивающих соответствие действительного направления движения заданному рулём, определяет управляемость колесной машины. Причинами, вызывающими отклонение от прямолинейного движения, могут явиться как внешние факторы:
- поперечный уклон дороги,
- неровности дороги,
- боковой ветер,

факторы, обусловленные конструкцией и состоянием машины:
- неодинаковость давления в шинах,
- неправильная установка колес,
- наличие зазоров в рулевом приводе,
- неуравновешенность колёс,
- перекос осей колёс в горизонтальной плоскости, вызванный различным прогибом правой и левой подвесок,

факторы движения:
- боковой ветер,
- центробежные силы на повороте.

При движении машины по дороге (а все дороги имеют неровности) плоскость вращения колёс может изменяться в зависимости от кинематики подвески. Возникающий при этом гироскопический эффект будет стремиться повернуть управляемые колёса. Несоответствие кинематики рулевого привода и подвески при реальной деформации упругих элементов также может вызвать угловые колебания

управляемых колёс. В тех случаях, когда прогиб упругих элементов подвески сопровождается изменением углов наклона шкворней в продольной и поперечной плоскостях, нарушается стабилизация управляемых колёс при движении.

Машина вследствие боковой эластичности шин может начать движение под углом к заданному направлению. Этот угол называется углом бокового увода.

Оценка управляемости машины производится только дорожными испытаниями. В этом случае обычно определяются:

- боковые силы (боковые реакции на колёсах);
- амплитуды и частоты угловых колебаний управляемых колёс вокруг шкворней;
- суммарный угол поворота рулевого колеса, необходимый для поддержания прямолинейного движения на участке пути;
- углы увода передней и задней осей.

Боковые силы (боковые реакции на колёсах) обычно измеряются с помощью динамометрических ступиц (рис. 94). Такие ступицы выполняются либо с гидравлическим, либо тензометрическим звеном, а иногда и с их комбинацией. На цапфе 3 колеса 1 установлена бронзовая втулка 4, допускающая вращение и осевое перемещение ступицы 2. Со ступицей 2 связан (для длительных испытаний ставится через упорные подшипники) корпус поршня 7. Поршень 7 может перемещаться в цилиндре 8. На цапфе закреплена крышка 5 цилиндра. Между крышкой цилиндра 5 и корпусом цилиндра 8 установлена диафрагма 6. Боковые усилия регистрируются либо самопишущим манометром (давление меняется в полости между диафрагмой и крышкой), либо тензоаппаратурой. Датчики клеятся на диафрагму. По результатам испытаний строятся графики зависимости боковой силы от скорости движения по кругу заданного радиуса.

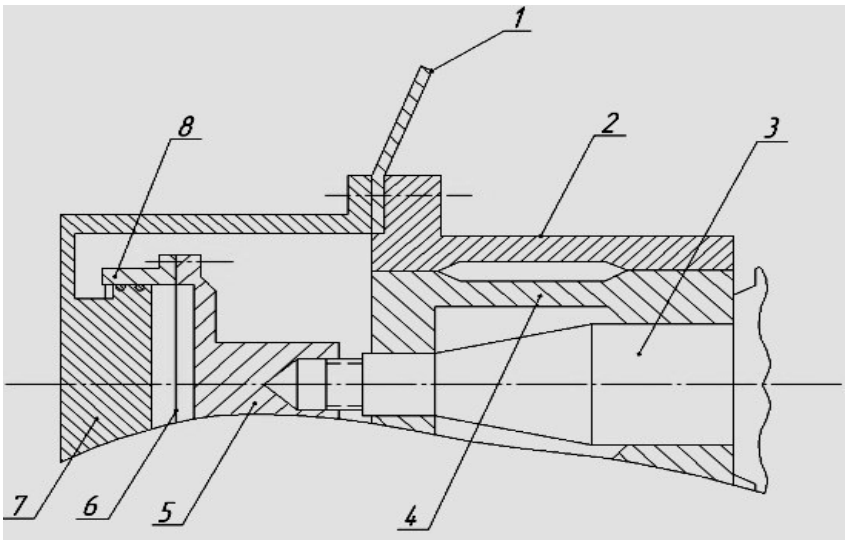


Рис. 94. Динамометрическая ступица колеса

При испытаниях автомобилей ВАЗ 2116 по кругу радиусом в 20 метров выявлено, что до 22 км/ч боковая реакция распределяется между передними колёсами

почти поровну. При увеличении скорости внутреннее колесо начинает воспринимать все меньшую часть боковой силы, и при скорости 27 км/ч происходит падение боковой реакции. Скорость, при которой начинается перераспределение нагрузок, соответствует проскальзыванию внутреннего колеса, а уменьшение абсолютного значения боковой реакции на колёсах означает начало скольжения.

Угловые колебания управляемых колёс обычно регистрируются по колебаниям торца тормозного барабана или тормозного диска. Биения торца барабана (или диска) записываются измерительной тензоаппаратурой или с помощью специализированных информационно-измерительных систем.. Колебания передних колёс могут быть оценены также по суммарному углу их поворота при прямолинейном движении с разными скоростями (рис. 95).

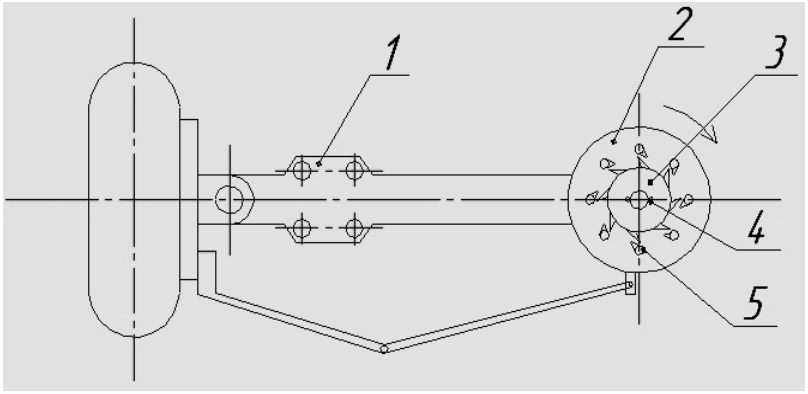


Рис. 95. Схема замера суммарного угла поворота управляемых колёс:
*1– п*ередняя ось, *2 –* поворотный диск, *3 – х*раповое колесо, *4 – к*онтакты, *5 – с*обачка

При колебаниях колеса вокруг шкворня за счёт системы рычагов качается диск 2, а храповое колесо поворачивается собачками в одну сторону, накапливая угол поворота за промежуток времени. Контакты 4 посылают сигнал в суммирующий счётчик (это механический интегратор). Точность результата зависит от шага храповика. Затем строится график изменения угла колебаний колеса на скоростях при прохождении 1 км пути. Изменения положения рулевого колеса обычно регистрируются реостатными датчиками.

Углы увода передней и задней осей характеризуют устойчивость и управляемость колёсных машин, как при прямолинейном движении, так и на повороте.

Возникающая при движении автомобиля на повороте центробежная сила заставит колёса вследствие боковой эластичности шин перемещаться в направлениях, не совпадающих с плоскостью их вращения (рис. 96).

Углы бокового увода, получающиеся между плоскостями вращения колёс и действительными направлениями их движения обозначены:

$\delta_з$ – угол бокового увода задних колёс;

$\delta_п$ – угол бокового увода передних колёс.

Наличие этих углов приводит к тому, что центр поворота машины будет находиться не в точке O_1 (теоретический центр), а в точке O (действительный центр).

Если $\delta_з > \delta_п$, то автомобиль движется по кривой меньшего радиуса, чем тот, который соответствует углу поворота передних колёс.

При некоторой «критической» скорости этот радиус будет непрерывно уменьшаться, следовательно, будет увеличиваться центробежная сила и угол увода колёс, пока не наступит потеря сцепления, то есть боковое скольжение (занос).

При $\delta_з < \delta_п$ машина будет поворачиваться на большем радиусе, чем задано передними углами поворота управляемых колёс.

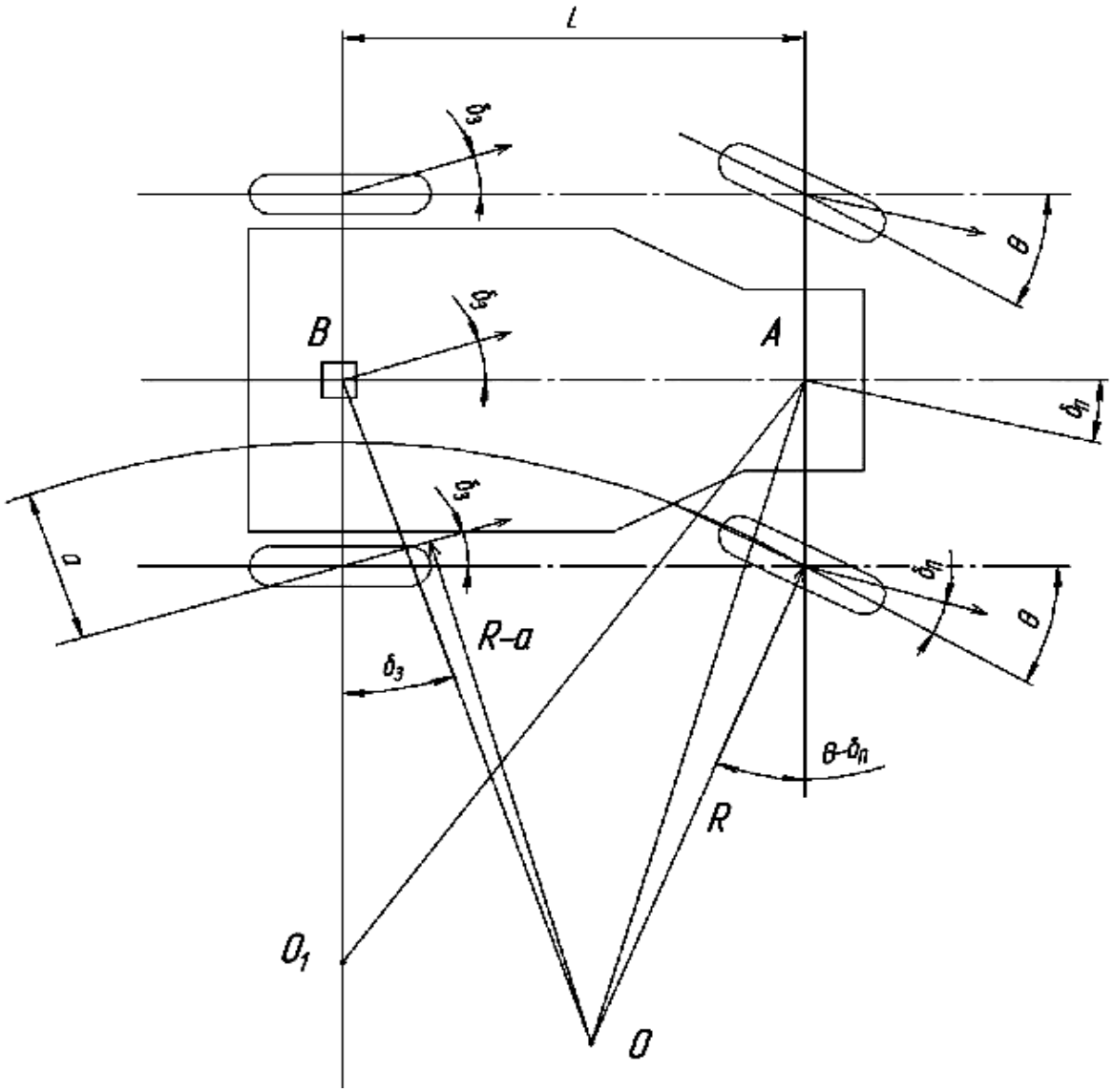


Рис. 96. Схема увода автомобиля на повороте

Таким образом, эти углы бокового увода определяют свойства излишней или недостаточной поворачиваемости машины. Количественную оценку этого свойства можно сделать только экспериментально.

Экспериментально определяются углы бокового увода тремя способами:
1) с помощью теодолита или проекционного аппарата при движении автомобиля по заданному кругу;
2) по следам, оставляемыми шинами;
3) с помощью «пятого колеса».

Первый метод сводится к измерению углов поворота колёс и радиусов окружностей, по которым они катятся в действительности при заданном повороте руля и постоянной скорости движения. Для получения чётких следов шин применяется специальное покрытие, не ухудшающее сцепление шин с дорогой (быстро высыхающие спецэмульсии). Сопоставляя действительные траектории колёс с плоскостями их вращения, можно найти углы бокового увода.

При использовании теодолита машина движется на гладкой площадке по окружности заданного радиуса, которую наносят краской на дороге. Теодолит устанавливается в кузове машины над задней осью так, чтобы его оптическая ось была перпендикулярна продольной оси машины. Установка производится на неподвижном автомобиле, который стоит на помеченной краской окружности, в центре которой стоит веха наводки оптической оси теодолита. Испытания проводятся на постоянной скорости, причём в движении теодолит вторично наводится на веху, в результате чего угол изменения и будет указывать увод колёс задней оси. Зная угол $\delta_з$ и угол поворота управляемых колес θ можно определить угол $\delta_п$.

Если вместо теодолита в кузове устанавливается проекционный аппарат, то угол увода определяется на матовом экране по смещению изображения вехи. Этот метод позволяет наблюдать увод и определять характер его изменения. Фиксировать увод можно, если вместо проекционного аппарата установить кинокамеру.

Метод 5-го колеса существенно отличается от предыдущих. Когда нет увода задних колёс (малая скорость) 5-е колесо катится по окружности, по которой идёт середина моста. Когда скорость увеличивается и начинается увод, то мост смещается, а 5-е колесо продолжает катиться по той же окружности.

Углы увода машины при прямолинейном движении определяются после приложения боковой силы. Эта сила создаётся с помощью установки крыльев или боковой тяги тросом от параллельно идущей машины (рис. 97).

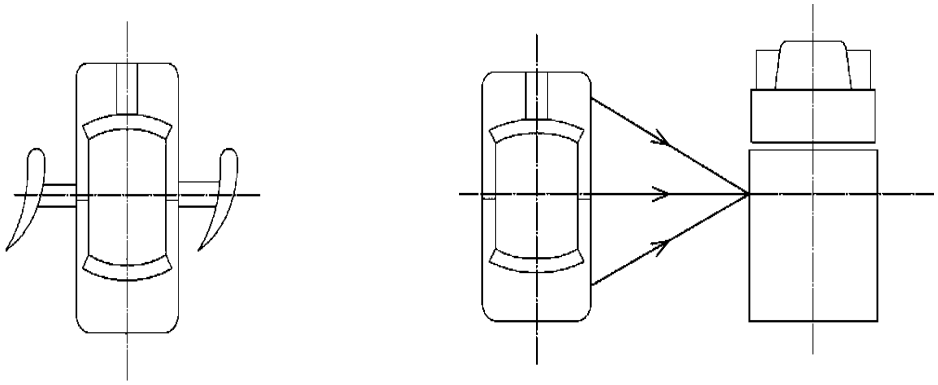


Рис. 97. Схемы создания боковой силы

В перечисленных испытаниях для записи динамических параметров движения может использоваться измерительный комплекс Corrsys Datron, позволяющий определять до 25 параметров движения автомобиля.

Основными приборами комплекса являются: датчик скорости и увода (рис. 98); датчик колебаний колеса (рис. 99); измерительный руль (рис.100); двухкоординатный бесконтактный измеритель скорости и угла положения кузова; измеритель положения колеса по осям x, y, z; угол поворота (рис. 101); угол наклона; измеритель тормозного усилия и другие устройства.



Рис. 98. Датчик скорости и увода



Рис. 99. Датчик колебаний колеса



Рис. 100. Измерительный руль



Рис. 101. Датчик положения колеса

13.4. Испытания автомобилей на управляемость

В результате испытаний определяются параметры, характеризующие управляемость системы «автомобиль – водитель», и находятся характеристики автомобиля, оказывающие влияние на его управляемость. Управляемость системы «автомобиль – водитель» – это способность автомобиля, управляемого водителем, сохранять заданное направление движения или изменять его по желанию водителя воздействием на рулевое управление в определенных дорожных условиях.

Управляемость автомобиля тесно связана с устойчивостью, так как чем выше устойчивость, тем больше приближается фактическая траектория движения автомобиля к траектории, задаваемой водителем. Поэтому при испытаниях определяют показатели, характеризующие устойчивость по опрокидыванию, курсовую устойчивость, то есть способность сохранять заданное направление движения и боковую устойчивость, которая характеризует боковые смещения при движении.

Показатели управляемости и устойчивости определяются при движении автомобиля как в нормальных эксплуатационных условиях, так и по размеченным траекториям на специальных площадках.

Испытаниям подвергаются автомобили, параметры которых соответствуют техническим условиям при полной их массе. Предварительно обязательно проверяются углы установки управляемых колёс, зазоры в рулевом управлении, давление воздуха в шинах, износ протектора шин, который не должен превышать 30 % его первоначальной высоты. Длина участков должна составлять 500 м при движении со скоростями 10…30 км/ч и 1000 м при больших скоростях.

Во время испытаний определяется комплекс показателей, характеризующих управляемость и устойчивость автомобиля: боковые отклонения автомобиля, колебания курсового угла, крены автомобиля, чувствительность автомобиля к управлению, стабилизация положения управляемых колес, величины усилий на рулевом колесе и др.

Испытания на управляемость по специально размеченным траекториям включают движение по прямой (курсовая устойчивость), перевод автомобиля с одной полосы движения на другую (переставка), поворот с переходом на круговую траекторию (вход в поворот), «рывок руля» и «змейку».

Курсовая устойчивость проверяется на прямолинейных участках дорог шириной не менее 3,5 м, с продольным уклоном до 1 % и поперечным – не более 0,5 %. Испытания проводятся на дорогах с асфальтобетонным или цементобетонным покрытием в сухом и мокром состояниях с ограниченной величиной неровностей и с установленными на дорогах искусственными препятствиями определенной формы и размеров, а также с булыжным сухим покрытием хорошего качества и на укатанных заснеженных дорогах.

На каждом участке проводится не менее восьми заездов в каждом направлении с различными скоростями. При испытаниях на сухой асфальтобетонной или цементобетонной дороге скорости должны быть меньше максимальной на 10 км/ч для легковых автомобилей и на 5 км/ч для грузовых автомобилей и автобусов.

Испытания на всех остальных типах дорог для всех автомобилей производятся при максимально возможной скорости движения по условиям безопасности.

Отклонения продольной оси автомобиля от заданного прямолинейного движения записываются с помощью гироскопического полукомпаса, а углы поворота рулевого колеса регистрируются на ленте осциллографа, магнитографа или с помощью компьютера (например, через проволочный круговой потенциометр).

Переставка производится при обгоне, при подготовке к повороту, при объезде внезапно появившегося препятствия. Испытания со сменой полосы движения характеризуют управляемость и устойчивость автомобиля и проводятся при разных состояниях поверхности твёрдого дорожного покрытия.

На участке дороги (рис.102) с помощью переставных ярко окрашенных конусов размечают полосы, по которым водитель должен вести автомобиль, не сбивая и не смещая разметочных знаков с изменением полосы движения. Показателем управляемости при этом является наибольшая скорость, при которой выполняются требования смены полосы движения. Кроме того, определяется угол крена машины, усилия на рулевом колесе и углы его поворотов, смещения продольной оси автомобиля от положения, соответствующего прямолинейному движению.

При входе в поворот определяется предельная скорость движения на поворотах постоянного радиуса с высоким коэффициентом сцепления в момент потери управляемости автомобилем, вызванной опрокидыванием, заносом или невписываемостью в заданную траекторию. Радиус поворота устанавливается равным 25 метров для грузовых автомобилей и автобусов с числом мест больше 10 и 35 метров – для легковых автомобилей и автобусов малой вместимости.

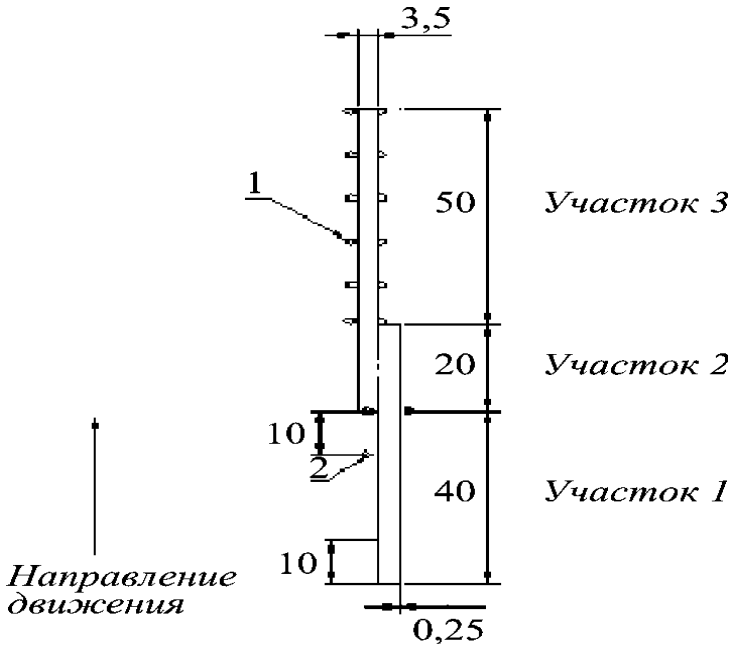


Рис. 102. Схема разметки площадки для испытаний «переставка»:
1 – вертикальные ограничители разметки коридора движения; 2 – датчики измерения скорости автомобиля

Перед участком входа в поворот наносятся две линии прямолинейного коридора и переходную кривую, по которой автомобиль входит в движение по кругу (рис. 103).

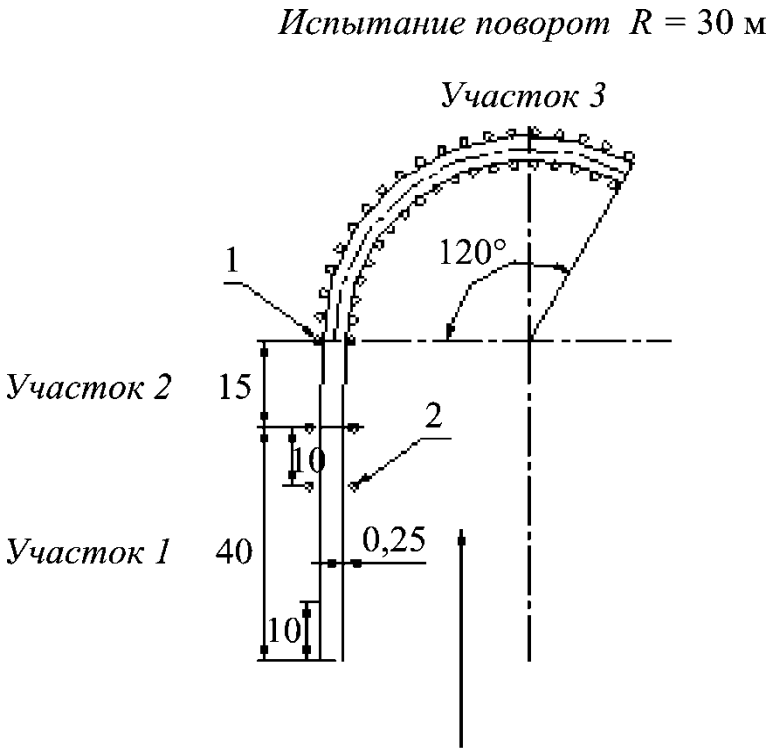


Рис. 103. Испытания «поворот» с радиусом 30 м:
1 – вертикальные ограничители коридора движения; 2 – датчики скорости

Испытания «рывок руля» проводятся с предварительным разгоном для автомобилей категорий M1, M2, N1, N2 до скорости 80 ± 3 км/час, категорий M3, N3, – до 60 ± 3 км/час. При въезде с этой скоростью на разворотную площадку производится резкий поворот руля с угловой скоростью не менее 400 град/с. Угол поворота рулевого колеса увеличивается в последовательных заездах до возникновения бокового (центробежного) ускорения до 4,5 м/с^2 или потери сцепления шин, а также при начале бокового опрокидывания. Испытания выполняются при рывке руля в правую и левую стороны. Предельная скорость определяет как курсовую устойчивость, так и поворачиваемость машины.

На рис. 104 показана схема движения автомобиля при испытании «змейка», где определятся максимально возможная скорость синусоидального движения.

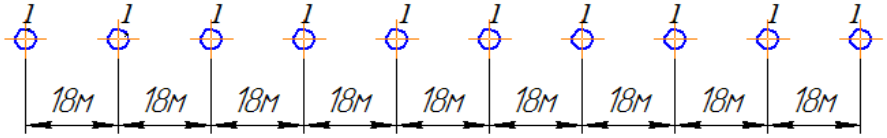


Рис. 104. Разметка для движения «змейка»

При перечисленных испытаниях автомобиль должен иметь одно или два страховочных навесных колеса, установленных на специальных кронштейнах, которые ограничивают наклон автомобиля при повороте (в период отрыва колёс от поверхности дороги) на угол, не превышающий 25…30°. На легковых автомобилях страховочные колёса рекомендуется устанавливать на кронштейнах у передних и задних бамперов.

К характеристикам автомобиля, оказывающим влияние на управляемость, относятся статическая и динамическая поворачиваемость, предельная скорость движения по окружности на дороге с малым коэффициентом сцепления, стабилизация управляемых колёс, наименьшие радиусы поворота, лёгкость рулевого управления, максимальные углы поворота рулевого колеса и управляемых колес, а также угловое передаточное число рулевого управления.

Статической поворачиваемостью характеризуется способность автомобиля сопротивляться уводу, вызванному действием центробежной силы при движении по кругу с заданной скоростью.

Испытания проводятся на цементобетонной горизонтальной сухой площадке диаметром не менее 80 м. Комплект аппаратуры, установленной на автомобиле, должен обеспечивать непрерывную запись угла увода задней оси, пути и времени, проходимого какой-либо точкой автомобиля, или углов увода обеих осей и центробежного ускорения. Записываются углы увода при помощи «пятого колеса», устанавливаемого под задней осью двухосного автомобиля или под серединой базы задней тележки трехосного автомобиля. Допускается смещение «пятого колеса» в поперечном направлении к центру поворота автомобиля.

Во время испытаний автомобиль движется по окружности диаметром 25 м с последовательно увеличивающимися в заездах скоростями от минимальной – 3…4 км/ч до предельной, причём скорость поддерживается постоянной от начала до конца прохождения длины окружности.

Динамическая поворачиваемость определяется при движении автомобиля по синусоидальной траектории между вешками, поставленными по прямой. Характеристиками динамической поворачиваемости являются разность углов увода передней и задней осей автомобиля, максимальная скорость вращения рулевого колеса за период проезда синусоиды, разность фактически произведенного и теоретически необходимого угла поворота рулевого колеса на участке, ограниченном четырьмя вешками.

В качестве вспомогательного параметра используется разность углов увода осей в момент достижения максимального угла поворота рулевого колеса. Все перечисленные параметры представляются в виде зависимости от максимального углового ускорения при движении по синусоиде.

Испытания проводятся на сухой цементобетонной дороге шириной не менее 10 м, на которой устанавливают более семи вешек. Расстояние между вешками назначается в зависимости от базы автомобиля, например, 10 м для автомобилей с базой до 2,7 м и 25 м – для автомобилей с базой более 4,2 м. Автомобиль проходит между вешками на возможно близком расстоянии от них.

При испытаниях скорости изменяются от максимально возможной до минимальной – 8…10 км/ч с интервалом 2…3 км/ч). Аппаратурой записываются углы поворота оси автомобиля, углы поворота рулевого колеса, отметки времени.

Одной из характеристик управляемости автомобиля является, предельная скорость его движения по окружности на горизонтальной поверхности с малым коэффициентом сцепления. Устойчивость автомобиля характеризуется предельной скоростью движения передней оси по окружности (основной параметр) и центробежное ускорение, при котором происходит занос одной из осей автомобиля (вспомогательный параметр).

Во время испытаний автомобиль движется по окружности радиусом 15 м на горизонтальной площадке, покрытой льдом. Водитель ведёт автомобиль передним левым колесом по окружности, постепенно увеличивая скорость до начала заноса, причём увеличение скорости при прохождении одного круга не должно быть более 1…1,5 км/ч. Перед началом заноса производится непрерывная запись угловой скорости продольной оси автомобиля или угла поворота и времени.

Стабилизация управляемых колес автомобиля определяется по скорости возвращения колёс в нейтральное положение при выходе из поворота. Автомобиль движется со скоростью 20 км/ч так, что переднее наружное колесо находится на окружности радиусом 15 м, нанесенной на ровной и сухой площадке с твёрдым покрытием. По команде водитель отпускает рулевое колесо, и оно поворачивается в положение, которое соответствует прямолинейному движению автомобиля. При этом регистрируются изменения угла или скорости поворота рулевого колеса по времени. Движение автомобиля продолжается с постоянной скоростью до прекращения вращения рулевого колеса. Затем автомобиль останавливается и рулевое колесо доводят до нейтрального положения. В результате обработки данных определяются средние угловые скорости самовозврата рулевого колеса и стабилизации управляемых колёс для трех заездов в прямую и обратную стороны.

Легкость управления автомобилем оценивается по величине усилий на ободе рулевого колеса при повороте управляемых колёс на месте, при движении по траектории «восьмерка» и при переезде препятствий.

Испытания проводятся на горизонтальной асфальтобетонной площадке в сухом состоянии. Повороты на месте производятся вправо и влево до упора в ограничители. При наличии усилителя рулевого привода испытания проводятся при работающем двигателе.

Повороты при движении по траектории «восьмерка» осуществляются со скоростями 25 км/ч для легковых автомобилей, автобусов с числом мест до восьми и грузовых автомобилей с полной массой до 3500 кг и 20 км/ч для остальных автомобилей. Первая категория автомобилей испытывается при движении по траектории «восьмерка» диаметром 20 м и с расстоянием между центрами 28 м, а вторая – диаметром 30 м и с расстоянием между центрами 42 м.

Переезд искусственных препятствий трапецевидной формы высотой 6 см и шириной по основанию 30 см, установленных через 0,75 м, производится со скоростью 20 км/ч поочередно колёсами каждой стороны автомобиля.

13.5. Испытания автомобилей на маневренность

Маневренность – это способность автомобиля или автопоезда совершать повороты и развороты на минимальной площади. При испытаниях на маневренность определяются (рис.105):

– радиусы поворота;
– габаритные радиусы поворота;
– ширина полосы, на которой совершается поворот (для автопоездов);
– величина смещения оси прицепа относительно оси тягача;
– способность автопоезда двигаться задним ходом по заданной траектории.

Испытания проводятся на ровной горизонтальной площадке с твёрдым покрытием. Автомобиль движется с минимально возможной скоростью по кругу с повернутыми до упора в ограничители управляемыми колёсами.

Автомобиль проезжает полный круг, после чего измеряется диаметр круга по осевой линии следа переднего внешнего колеса.

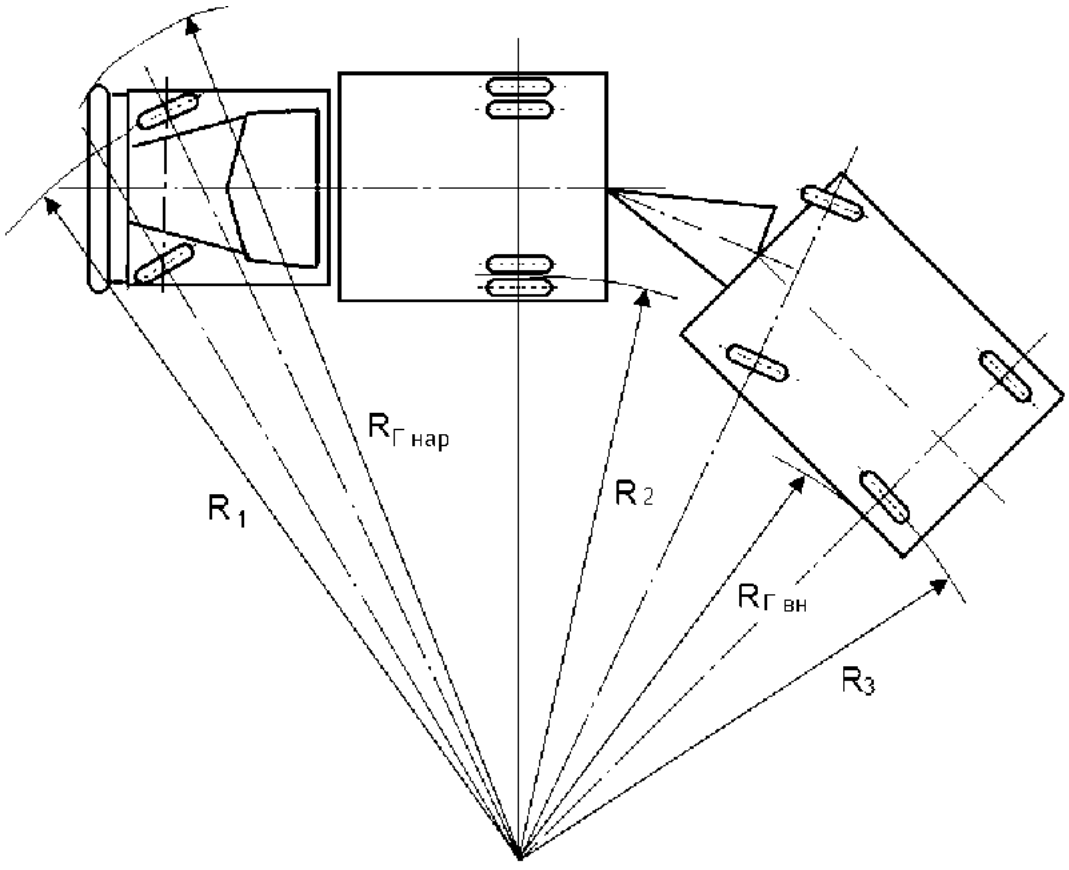


Рис. 105. Схема поворота автомобиля с прицепом:
R_1 – внешний радиус поворота, R_2 – внутренний радиус поворота, R_3 – внутренний радиус поворота прицепа, $R_{Г\,нар}$ – габаритный наружный радиус, $R_{Г\,вн}$ – габаритный внутренний радиус

Для замера габаритных радиусов поворота измеряется расстояние от оси следа переднего внешнего колеса до отвесов, укрепленных на автомобиле в двух точках – наиболее приближенной к центру поворота и наиболее удаленной от него.

При испытаниях на маневренность фиксируются исключение опрокидывания и заноса, точная и быстрая реакция автомобиля на поворот рулевого колеса, соответствие угла поворота рулевого колеса углу поворота управляемых колёс и обратная связь между усилием на рулевом колесе и боковыми реакциями на управляемых колёсах.

Методы испытаний и оценочные параметры основываются на действующих нормативных документах (РД 37.001.005-86В «Методы испытаний и оценки устойчивости управления автотранспортными средствами» и ОСТ 37.001.471-88 «Управляемость и устойчивость автотранспортных средств. Методы испытаний»).

Испытания, проводимые в соответствии с этими нормативными документами, позволяют зафиксировать обеспечение норм управляемости и устойчивости, что необходимо при сертификации выпускаемых моделей.

Наименьшие радиусы поворота переднего наружного колеса и габаритные радиусы поворота (внешний и внутренний), характеризующие ширину проезда автопоезда с полуприцепом (рис. 106), определяются при повороте вправо и влево.

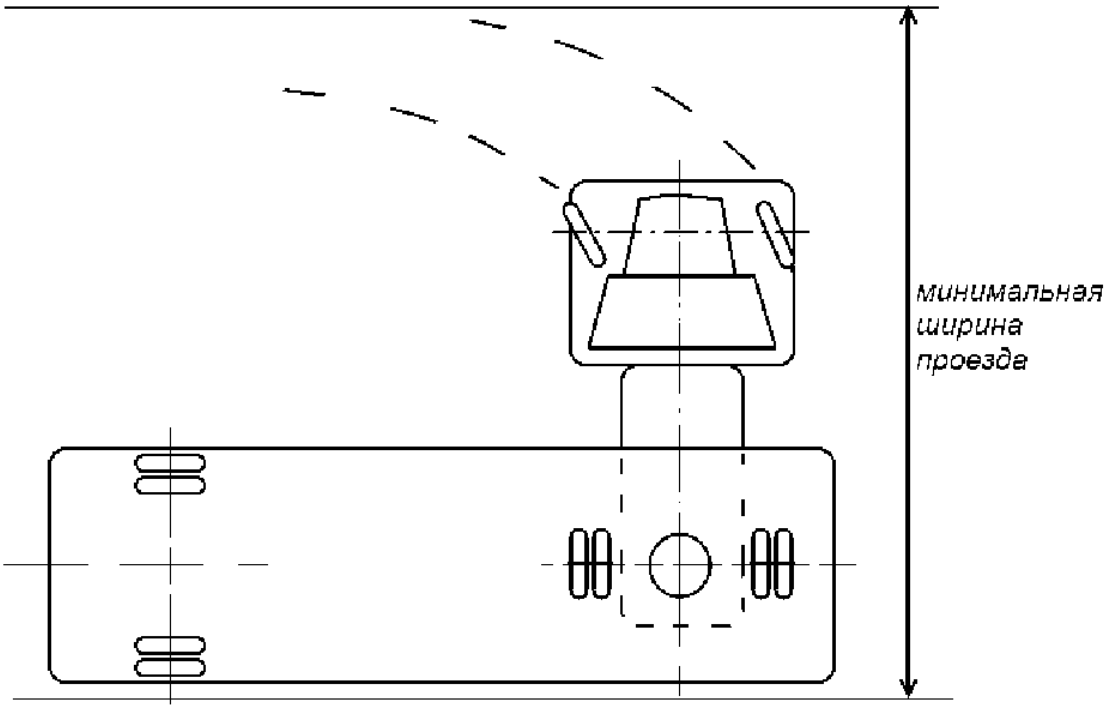


Рис. 106. Ширина проезда автопоезда

Следует учитывать, что помимо перечисленных испытаний часто используются органолептические оценки, выставляемые по пятибалльной системе в виде комплексной оценки устойчивости управления траекторией движения, курсовой устойчивости, устойчивости против заноса и опрокидывания.

14. ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ТОРМОЗНУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

При экспериментальной оценке тормозных качеств автомобилей и автопоездов определяется эффективность работы рабочей, запасной, стояночной и вспомогательной тормозных систем.

В целях единообразия проведения испытаний и обеспечения сопоставимости получаемых результатов условия и методы тормозных испытаний регламентированы как международными, так и отечественными нормативными документами.

Перед этими испытаниями проверяется общее техническое состояние автотранспортных средств и обязательно их тормозных систем.

Для получения показателей, соответствующих тормозным свойствам автомобилей в эксплуатации, перед испытаниями трущиеся элементы тормозов нового автомобиля должны быть приработаны в соответствии с методикой конкретных типов испытаний. При испытаниях новой модели определяется зависимость между усилием на тормозной педали и давлением жидкости в гидравлическом приводе тормозов, а при пневматическом приводе – зависимость между ходом педали и давлением в тормозных камерах.

Эффективность *рабочей тормозной системы* оценивается в процессе дорожных испытаний величинами тормозного пути, установившимся замедлением, тормозными силами и временем срабатывания тормозного привода.

В соответствии с международными требованиями ЕЭК ООН испытания подразделяются на три типа: испытания «ноль», испытания *I* и испытания *II*.

Испытания «ноль» имеют целью определение эффективности тормозной системы при «холодных» тормозах. Холодными считаются рабочие тормозные механизмы, у которых температура на наружных поверхностях тормозных барабанов или дисков не превышает 100^{o} С.

Для испытаний типа "0" режимы испытаний приведены в таблице 13.

Таблица 13

Категория автомобилей	Наибольший допустимый тормозной путь в м	Начальная скорость при торможении, км/час	Среднее замедление при торможении, м/сек^2	Макс. усилие на тормозной педали в кг
M1	$S \leq 0{,}1Vo + Vo^2 / 150$	80	5,8	50
M2	$S \leq 0{,}15\ V\,o + V\,0^2 / 130$	60	5,0	70
M3	$S \leq 0{,}15\ V\,o + V\,0^2 / 130$	60	5,0	70
N 1	$S \leq 0{,}15\ Vo + V0^2 / 115$	70	4,4	70
N 2	$S \leq 0{,}15\ Vo + V0^2 / 115$	50	4,4	70
N 3	$S \leq 0{,}15\ Vo + V0^2 / 115$	40	4,4	70

Эти испытания проводятся как с выключенной, так и с включенной передачей. Испытания проводятся в порожнем и груженом состояниях автомобиля на горизонтальном, сухом и прямом участке дороги, с цементобетонным покрытием в хорошем состоянии.

Анализируя данные таблицы 13 можно заключить:

1. В отдельные виды испытаний может быть включено торможение автомобилей с более высоких скоростей.

2. При испытаниях автопоезда необходимо учитывать, что для пассажирского и смешанных автопоездов допустимый тормозной путь определяется по формулам для той категории транспортных средств, к которой автопоезд можно отнести по полному его весу, а для грузового автопоезда максимальный тормозной путь определяется по формуле:

$$S \leq 0{,}18\ V_o + V_0^2 / 115.$$

Испытания I проводятся для определения тормозной эффективности рабочей тормозной системы при нагретых рабочих тормозных механизмах. Нагрев тормозов автомобилей осуществляется путём последовательных торможений, а прицепов или полуприцепов – их буксировкой в заторможенном состоянии. Нагрев методом периодического или непрерывного торможения применяется для категории транспортных средств M1; M2; N1; N2, а нагрев методом непрерывного торможения – для категорий M3 и N3. Испытания типа "1" проводятся только для полностью загруженных автотранспортных средств. Испытания тормозов автотранспортных средств путём ряда последовательных торможений автомобиля проводятся в соответствии с условиями и режимами, приведенными в таблице 14.

Таблица 14

Категория автомобилей	*Режим циклического торможения*			
	Начальная скорость цикла $V_н$	Конечная скорость цикла $V_к$	Время цикла	Кол-во торможений
M1 (но не более)	0,8 от max 120 км/час	$1/2V_н$	45	15
M2 (но не более)	0,8 от max 100 км/час	$1/2V_н$	55	15
N1 (но не более)	0,8 от max 120 км/час	$1/2V_н$	55	15
N2 (но не более)	0,8 от max 60 км/час	$1/2V_н$	60	20

Начальная температура перед нагревом, измеренная на внешней стороне барабана или диска, не должна превышать 100° С. Нагрев тормозов производится

путём "n"- кратных следующих друг за другом разгонов и торможений от *Vн* до *Vк* с заданным интервалом времени. Непосредственно после окончания нагревания производится испытание эффективности рабочего тормоза. Первое торможение производится с усилием нажатия, которое соответствует среднему замедлению 3 м/сек^2. Это усилие на тормозную педаль должно оставаться постоянным в течении всех последующих торможений. Во время торможения остаётся включенной самая высокая передача, кроме ускоряющей. При возобновлении движения после торможения разгон должен производиться так, чтобы требуемая начальная скорость для последующего торможения была достигнута в течение возможно более короткого отрезка времени. По окончании процесса нагрева эффективность работы тормозов определяется как при испытаниях типа "0" (но при другом температурном режиме). При этом остаточная эффективность рабочих тормозов должна быть не ниже 80 % эффективности, предписанной для данной категории автомобиля и не ниже 60 % эффективности при испытании "0".

Испытания II проводятся для определения эффективности рабочей тормозной системы на затяжных спусках. В этих испытаниях также предварительно нагреваются тормозные механизмы, а затем проводятся контрольные торможения по методике испытаний «ноль».

Тормозные качества автомобиля характеризуются многими показателями, основными из которых являются четыре:

1) величина пути торможения;
2) величина замедления при торможении;
3) время срабатывания тормозного привода;
4) усилия на тормозной педали и в рабочих тормозных механизмах.

Эффективность *запасной тормозной системы*, которая предназначена для использования при выходе из строя рабочей тормозной системы, определяется при различных вариантах преднамеренного выключения тормозов одного или двух колёс по методике испытаний «ноль»и при выключенном двигателе.

Эффективность *стояночной тормозной системы* определяется по суммарной тормозной силе, развиваемой тормозными механизмами и сопротивлением движению автомобиля.

Для проверки эффективности стояночного тормоза автомобиль с номинальной нагрузкой устанавливается на наклонную плоскость дороги с твёрдой, ровной и сухой поверхностью и затормаживается стояночным тормозом. Он должен быть в «холодном» состоянии. Коробка передач автомобиля должна находиться в нейтральном положении. Величина уклона для одиночного автомобиля должна быть не менее 16 %, а для автопоезда – не менее 12 %. Усилие (наименьшее), которое необходимо приложить к рычагу при приведении в действие стояночного тормоза для остановки автомобиля должно быть измерено посредством динамометра (оно не должно превышать 60 кг). Время удержания автомобиля на заданном уклоне, после каждого затормаживания, должно быть не менее 5 мин. Опыт повторяется после разворота на 180^o. Если стояночный тормоз рассчитан на применение в качестве запасного при выходе из строя основного рабочего тормоза, следует

проверить его эффективность при затормаживании движущегося автомобиля со скоростями 30 км/ч и 50 км/ч.

Эффективность *вспомогательной тормозной системы* определяется по величине суммарной тормозной силы, развиваемой механизмами этой системы и сопротивлением движению. Испытания проводятся тремя способами.

1. Автотранспортное средство в заторможенном состоянии спускается на участке дороги, имеющей продольный уклон 7 % и протяжённость 6 км. При этом тормозная система должна обеспечивать спуск испытываемого автомобиля или автопоезда со стабильной скоростью 30 ± 2 км/час при наличии замедлителя и не более 30 ± 5 км/час при торможении двигателем.

2. Автотранспортное средство в заторможенном состоянии буксируется по горизонтальной дороге с помощью автомобиля-тягача на жёсткой сцепке с динамографом. При этом определяется установившаяся сила тяги в сцепном устройстве при скорости 30 ± 1 км/час.

3. Автотранспортное средство затормаживается частично, то есть в заданном интервале скоростей (от 35 до 25 км/час. Торможение производится с включённой передачей в трансмиссии, отвечающей тем же требованиям, что и при испытаниях типа II. При испытаниях фиксируется зависимость скорости от времени.

Испытания вспомогательной тормозной системы проводятся не менее двух раз с интервалами для охлаждения.

Испытания *устройств для регулирования или ограничения тормозных усилий* на колёсах (обычно задних) проводятся с целью подбора оптимальных регулировок антиблокировочных систем, устраняющих блокировку колёс, занос машины и потерю управляемости, особенно при торможении на дорогах с низким коэффициентом сцеплении. Испытания предусматривают несколько серий торможений на дорогах с ровным цементобетонным или асфальтобетонным покрытием при сухом, мокром и обледенелом состоянии. Измеряются тормозной путь и отклонение машины от прямолинейного движения.

Аппаратура, применяемая при испытаниях тормозных систем, должна обеспечивать измерение и запись всех величин, характеризующих процесс торможения на различных режимах (тормозной путь, время торможения, замедление, начальную скорость торможения, изменение скорости в функции пути или времени, усилия на органах управления, температуру тормозных механизмов).

Для регистрации скорости движения в функции пути или времени применяется «пятое колесо», а для оценки замедления – деселерометры. Усилия на органах управления в тормозных механизмах и давление в тормозных приводах в основном определяются на тормозных испытательных стендах, оборудованных соответствующей аппаратурой. На стендах обеспечиваются более повышенные требования к точности проведения испытаний и замеров.

Начало торможения и тормозной путь могут определяться с помощью пистолета, стреляющего краской на дорогу (рис. 107). В баллоне внизу находится краска, вверху воздух под давлением. При повороте рычага стояночного тормоза или при нажатии на тормозную педаль краска выстреливается на дорогу.

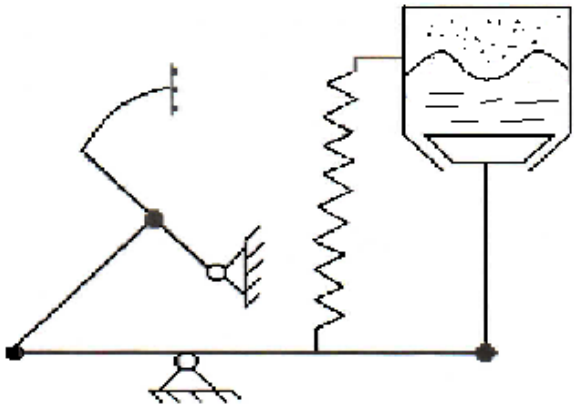


Рис. 107. Пистолет, стреляющий краской

Подготовка автомобиля – обязательный начальный этап тормозных испытаний. Автомобиль должен быть тщательно отрегулирован в строгом соответствии с требованиями инструкции завода-изготовителя и проверен в работе во всём диапазоне нагрузок и оборотов. Проводится определение весового состояния автомобиля. Кроме того, автомобиль должен пройти предварительную обработку не менее 200км, шины должны иметь пробег не менее 500 км, а их износ не должен превышать 50%. Давление в шинах должно соответствовать техническим условиями завода-изготовителя. Для тормозов с пневмоприводном проверяются показатели, оговоренные в ГОСТ 4364-67.

Перед испытаниями в тормозной системе обязательно выполняется комплекс подготовительных работ:

- проверяется состояние тормозных барабанов и фрикционных накладок, если нужно, то они очищаются и промываются;
- устанавливается рекомендуемый зазор между тормозными колодками и барабаном или тормозными накладками и диском;
- проверяется герметичность привода тормозов;
- проверяется свободный ход тормозной педали.

Если перед испытаниями степень приработки поверхности колодок или накладок составляет не менее 90 %, автомобиль направляется на проведение стендовых испытаний для определения величины тормозных усилий, развиваемых на каждом колесе и одновременности срабатывания тормозов на колёсах каждой оси. Если приработка составляет менее 90 % рабочей поверхности накладок или колодок, необходимо проводить специальную приработку, которая выполняется путём многократного притормаживания по 3…4 торможения с начальной скоростью $Vo = 0{,}8\ Vmax$ км/ч до конечной скорости $Vk = 0{,}5\ Vo$ км/ч, при этом замедление должно быть не менее $j = 3$ м/сек^2 . Температура нагрева барабанов или дисков при испытаниях не должна превышать 100° С. После 3…4 торможений должно быть предусмотрено охлаждение тормозов путём остановки автомобиля не менее, чем на 25 мин, или путём пробега в течение не менее 15 мин без применения тормозов со скоростью $V = 70$ км/ч.

Для оценки эффективности мокрых тормозов предварительно определяется эффективность сухих тормозов трёхкратным торможением с постоянным усилием на педали тормоза. Прогнав автомобиль через мелководную ванну (на полигоне) начинается серия новых торможений с увеличением усилия на педали. Циклы повторяются до тех пор, пока усилие на педали не станет равным первоначальному. Число необходимых торможений в этом цикле является оценкой эффективности мокрых тормозов.

Дополнительные испытания автотранспортных средств, имеющих ограничители давления в тормозной системе или антиблокировочные системы, проводятся при торможении на повороте в режиме изменения ряда («переставка») и на дороге с разными коэффициентами сцепления под правым и левым колёсами. Испытания проводятся как с соединёнными двигателем и трансмиссией, так и с разъединёнными, а также с полной нагрузкой и без неё. За начальную скорость торможения принимается максимальная скорость, с которой автомобиль проходит заданный участок без заноса и опрокидывания.

Следует отметить, что экспериментальные данные по тормозным качествам автомобилей, отличаются от теоретических (расчётных). Это объясняется различной интенсивностью нагрева тормозов в реальных условиях движения, изменением развесовки по осям автомобиля, деформациями элементов тормозных устройств, попаданием влаги, не стабильностью давления в приводе тормозов (при изменении температуры окружающей среды) и др.

В настоящее время проведение тормозных испытаний за рубежом характеризуется наличием множества фирменных и национальных методик, отличающихся друг от друга по целому ряду основных положений, включая критерии оценки эффективности тормозных качеств, объёма и содержания работ по подготовке и проведению испытаний.

Учитывая исключительную важность вопроса надёжной и эффективной работы тормозных систем, подкомитетом по автомобильному транспорту Европейской Экономической Комиссии Организации Объединенных Наций разработан проект предписаний, относящихся к торможению автотранспортных средств, который к настоящему времени претерпел несколько редакций, незначительно отличающихся друг от друга. В указанном проекте предписаний изложены основные требования к конструкциям тормозных систем автомобилей и автопоездов, а также к некоторым элементам методики их испытаний, которая предусматривает испытания в последовательности, которая принята и в России:

1) подготовка автомобиля к испытания;
2) проведение стендовых испытаний по определению эффективности работы тормозов каждого колеса и одновременности их срабатывания;
3) проведение испытаний по определению эффективности "холодного" тормоза;
4) проведение испытаний по определению эффективности нагретого тормоза;
5) проведение испытаний по определению эффективности стояночного тормоза;
6) составление технического отчёта и заключения по результатам проведенных испытаний в соответствии с международными требованиями.

15. ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ПЛАВНОСТЬ ХОДА

Комфортабельность – это эксплуатационное качество автомобилей, обуславливающее возможно малую утомляемость пассажиров и водителя при поездке в различных дорожных условиях, сохранность грузов, лёгкость и удобство управления, безопасность движения и способствующее повышению средней скорости.

Испытываются автомобили на плавность хода как в стендовых, так и в дорожных условиях. При этом записываются абсолютные и относительные перемещения, ускорения, скорости колебательных процессов и в результате обработки полученных материалов определяются необходимые параметры.

К параметрам, влияющим на плавность хода автомобиля, относятся:

– общие конструктивные (общая масса, величины подрессоренных и неподрессоренных масс и их распределение между передними и задними колёсами, база автомобиля, колея передних и задних колёс, положение центров тяжести (автомобиля, подрессоренной массы, груза и пассажиров), момент инерции и радиус инерции подрессоренной массы относительно поперечной оси, проходящей через центр тяжести подрессоренной массы), положение центра тяжести и центров продольных колебаний кузова, распределение веса по осям и др.;

– упругие характеристики подвески (вертикальная и поперечная), радиальные упругие характеристики шин передних и задних колес, ход подвески до ограничителя), определяемые непосредственно на испытываемом автомобиле;

– характеристики агрегатов подвески, снятых с автомобиля (трение в подвеске, параметры элементов подвески, шин, амортизаторов и стабилизаторов); характеристики сидений.

Совокупность этих факторов делает оценку плавности хода весьма сложным процессом. Кроме того, в процессе движения многие факторы оказывают на организм человека различное влияние, зависящее от индивидуальных качеств каждого, поэтому исчерпывающей единой установившейся методики испытаний автомобилей на плавность хода нет. Однако, основные методы определения параметров, от которых зависит комфортабельность автомобиля, детально разработаны, нормализованы и используются в международном масштабе.

15.1. Определение характеристик передней и задней подвесок

В этом виде испытаний определяются: упругая характеристика подвески; радиальные упругие характеристики шин; характеристики колебаний подвески.

Упругой характеристикой подвески является зависимость между вертикальной нагрузкой, действующей на подвеску, и вертикальной деформацией подвески, измеренной над осью. Упругая характеристика снимается по отдельности для передней и задней подвесок. Для этого автомобиль устанавливается последовательно передними и задними колёсами на весы и загружается балластом до соприкосновения ограничителей хода с упорами. Затем автомобиль поднимается до того момента, когда показание весов станет равным весу неподрессоренных частей.

После этого подвеску загружают (опуская таль) и отмечают перемещения точек кузова с левой и правой сторон над осью. Одновременно измеряется деформация шины по перемещению оси колеса.

Разность между перемещением кузова и деформацией шин будет деформацией подвески (для данной нагрузки). По результатам испытаний строится вертикальная упругая характеристика (рис. 108), на которой выделяется участок, ограниченный нагрузками для ненагруженного и полностью загруженного автомобиля.

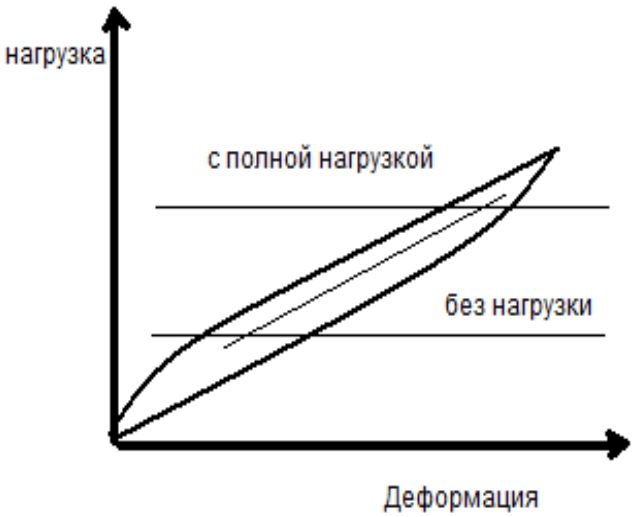


Рис. 108. Упругая характеристика подвески

Если характеристика нелинейна, жёсткость определяется, как касательная к средней линии, по которой берётся тангенс угла наклона этой прямой (рис. 109).

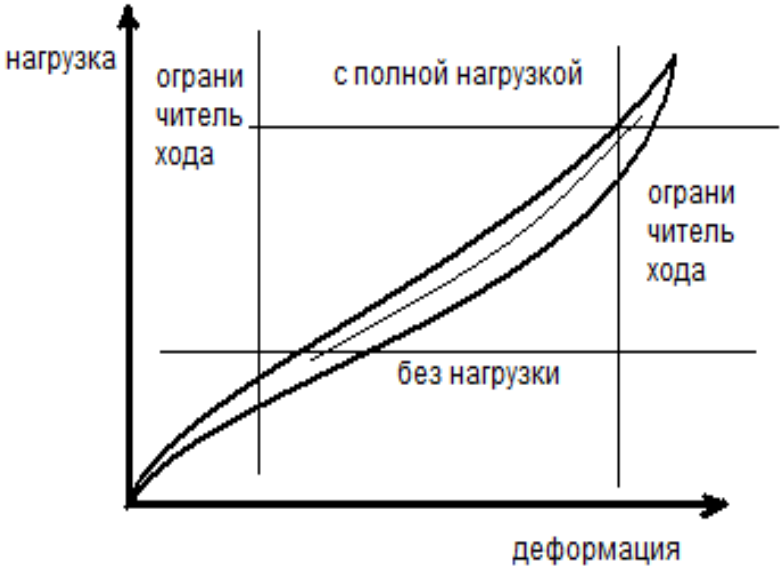


Рис. 109. Характеристика подвески с отметкой включения ограничителя хода

Радиальной упругой характеристикой шин называется зависимость между вертикальной нагрузкой на шины и их радиальной деформацией, измеряемой по перемещению центров колёс.

Характеристики шин снимаются одновременно с определением упругих характеристик подвесок. Можно снимать характеристики шин и на специальном стенде, имеющем вертикальное загрузочное устройство (рис. 110).

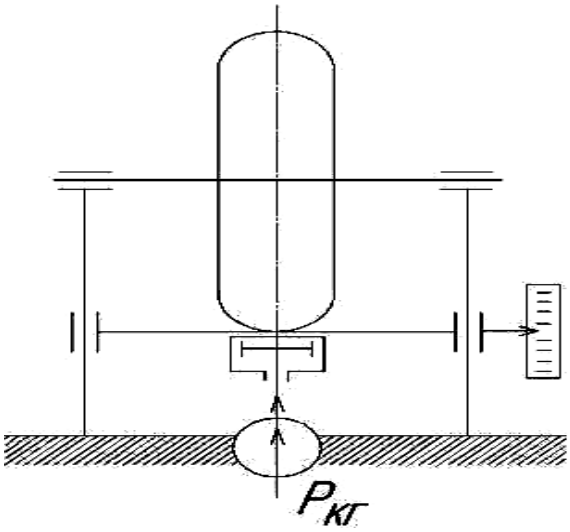


Рис. 110. Схема стенда с нагрузочным устройством на шину

Обычно упругая характеристика шины строится на графике упругой характеристики подвески (рис. 111).

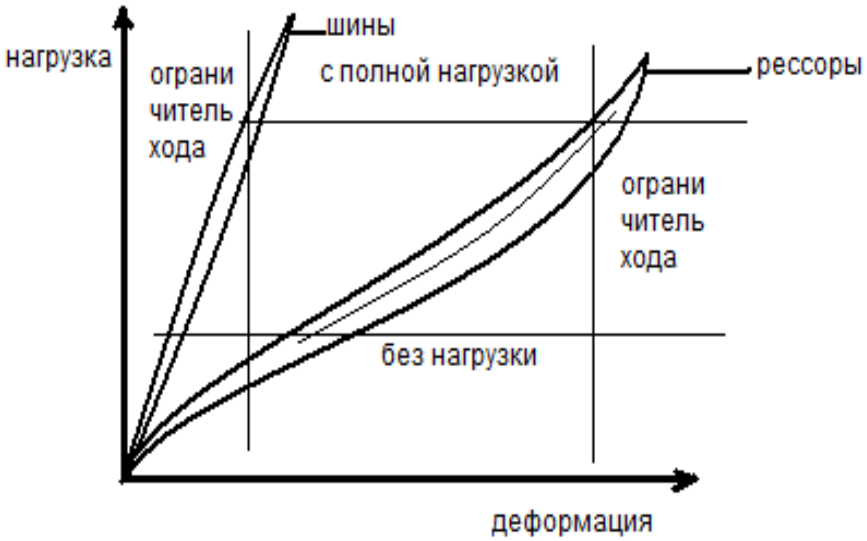


Рис. 111. Совместная упругая характеристика подвески и шины

Такая совмещённая упругая характеристика даёт наиболее полную картину вертикальной деформации упругих элементов подвески и шин.

15.2. Определение характеристик колебаний подвесок

Характеристиками колебаний подвесок автомобилей называются графики, содержащие кривые собственных вертикальных колебаний точек кузова (или других подрессоренных частей), расположенных над центровыми линиями передних и задних колёс. По этим характеристикам определяются низкие и высокие частоты собственных колебаний и показатели затухания колебаний в подвеске. Характеристики обычно определяются методом «подтягивания». Для этого автомобиль устанавливается на горизонтальную площадку и его кузов подтягивается вверх (талью или другим приспособлением) на высоту 60…80 мм. Затем кузов резко освобождается электромагнитным замком и совершаемые им колебания низкой частоты фиксируются.

Следующим этапом испытаний является подтягивание автомобиля вниз на величину до 30 мм каждого колеса. Колеса освобождаются одновременно.

Колебания кузова и колёс (то есть подрессоренных и неподрессоренных масс) записываются на ленте или на вращающемся барабане (рис. 112). Для этого кузов и центры колёс соединяются с записывающим устройством системой тяг.

Испытания проводятся с полной нагрузкой в кузове и без неё.

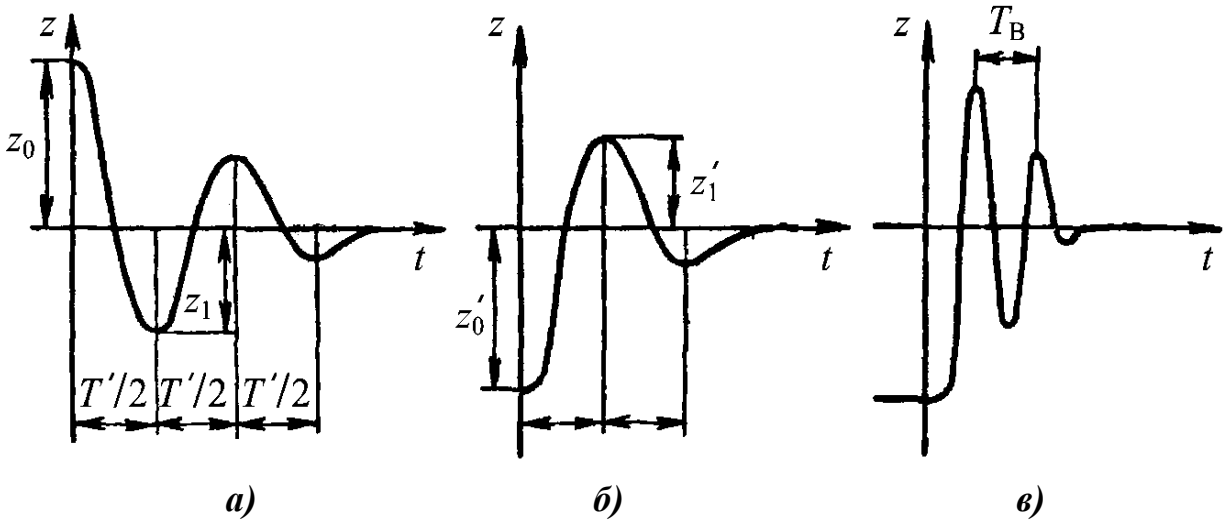


Рис. 112. Собственные вертикальные колебания кузова

По результатам испытаний с учётом масштаба времени определяются периоды низкочастотных T' и высокочастотных T_B колебаний (в секундах), частоты собственных колебаний (в Гц) $n_H = 1/T'$ и $n_B = 1/T_B$, и декременты затухания колебаний кузова на ходе сжатия $d_c = z_1/z_0$ и на ходе отбоя $d_0 = z_1/z_0$. При этом обязательно указывается высота подтягивания, а при сбрасывании, кроме того, и первый размах колебаний после сбрасывания. Методы подтягивания и сбрасывания, хотя и позволяют определять некоторые параметры, характеризующие колебания автомобиля, однако при них не воспроизводятся действительные условия работы

автомобиля (вызываются колебания только одной пары колёс и кузова над ними).

В реальных условиях вследствие воздействия дорожных неровностей вызываются колебания сначала передних, а затем задних колёс и соответственно кузова над передней и задней осями. Для имитации этого воздействия испытания проводятся на стендах, которые позволяют приблизить условия работы автомобиля к действительным (рис.113).

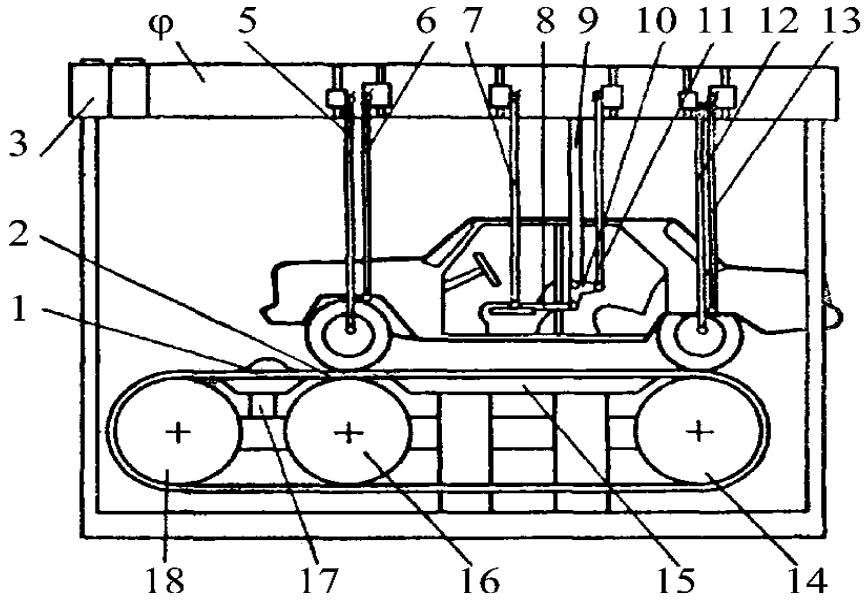


Рис. 113. Схема стенда с движущимися под автомобилем лентами

Автомобиль удерживается на стенде тросом. Его колёса устанавливаются на бесконечные ленты над опорными барабанами, при этом создаётся небольшое сопротивление движению лент под автомобилем. Неровности 1 на движущихся лентах 2 воздействуют последовательно на передние и задние колеса и возбуждают колебания автомобиля, которые регистрируются на бумажной ленте, перематываемой с постоянной скоростью электродвигателем 3. Дополнительно с помощью отдельных преобразователей регистрируют ускорения или скорости колебаний.

Система легких тяг с шарнирами на концах соединяет неподрессоренные и подрессоренные массы (в том числе площадку на подушке сиденья автомобиля) с самописцами, регистрирующими все процессы колебаний на одной ленте. Ось переднего колеса автомобиля с помощью тяги 5 соединена с механическим самописцем, а кузов над колесом – тягой 6 с соседним самописцем. Колебания задних колес регистрируются самописцем 12, а кузова – аналогичным устройством 13.

Для записи колебаний подушки сиденья на неё помещается плита, к которой прикладывается нагрузка, составляющая примерно 52 кгс (например, закрепляют манекен). Тягой 7 плита соединена с самописцем регистрации вертикальных колебаний, а тягой 8 и маятниковым подвесом, смонтированным на кронштейне 9 горизонтальных перемещений водителя. Маятниковый подвес 10 имеет ось качания и преобразует продольные перемещения в вертикальные. Тяга 11 соединяет

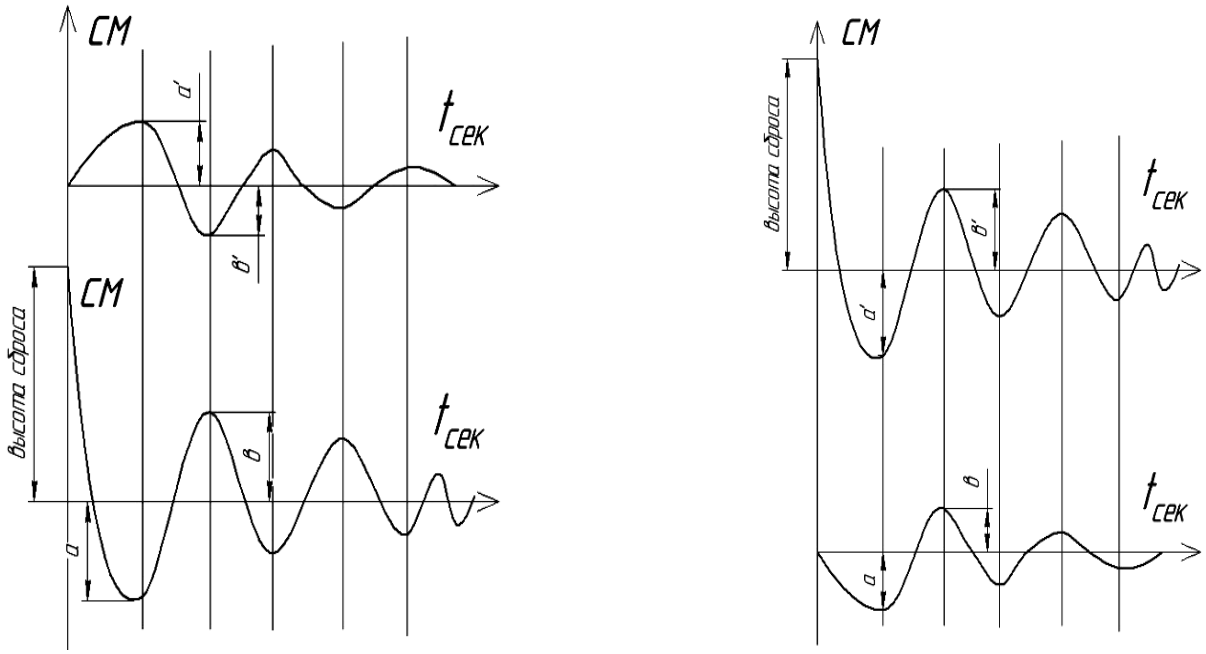
маятниковый подвес с самописцем продольных колебаний. Барабан 14 является ведущим и опорным для задних колёс автомобиля, а барабан 16 – опорным для передних колёс и может быть передвинут по раме стенда в зависимости от базы испытываемого автомобиля. Барабан 18 предназначен для натяжения дорожных лент и обеспечивает прямолинейный участок, по которому неровности попадают под передние колеса автомобиля в горизонтальном направлении. Тем самым имитируется движение по неровной дороге. Между барабанами стенда помещены поддерживающие столы 15 и 17, которые уменьшают провисание ленты. Дорожные ленты стенда могут приводиться в движение электродвигателем или ведущими колёсами автомобиля.

На таких стендах обычно записываются:

1) колебания колёс;
2) колебания точек кузова;
3) колебания манекена на сидении.

Величины ускорений определяются путём составления уравнения кривой амплитуд колебаний и его двукратным дифференцированием по времени. Интенсивность изменения ускорения (что важно для плавности хода) определяется трехкратным дифференцированием уравнения кривой по времени.

Методом сбрасывания определяются и центры продольных колебаний автомобиля. Поочередно сбрасывается передняя и задняя оси, у которых упругие элементы подвески освобождены. В каждом из этих двух испытаний записываются колебания точек кузова, расположенных над передней и задней осями (рис. 114).



Сброс передней оси Сброс задней оси

Рис. 114. Амплитуды колебаний над передней и задней осями:
а и в – амплитуды колебаний над передними колесами;
а’ и в’ – амплитуды колебаний над задними колесами

Для определения центра колебаний откладывается отрезок, равный базе автомобиля в масштабе (рис. 115). В точке, соответствующей передней оси, на отрезке откладываются амплитуды «*а*» и «*в*», а в точке, соответствующей задней оси, откладываются амплитуды «*а'*» и «*в'*». Соединяя концы амплитуд, соответствующих одним и тем же моментам времени, получим пересечения прямых в точках О и О'. Эти точки и есть внешний и внутренний центры колебаний.

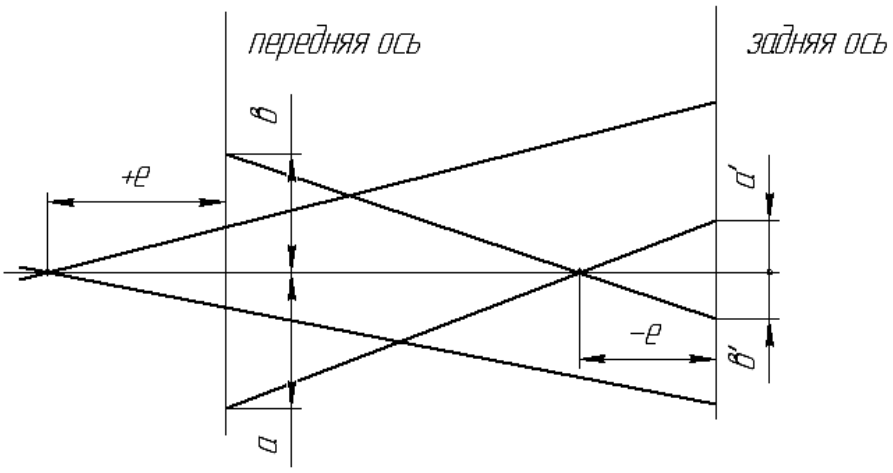


Рис. 115. Центры колебаний:
(– е) – положение центра колебаний при сбрасывании передней оси;
(+ е) – положение центра колебаний при сбрасывании задней оси

Энергетическая оценка плавности хода может быть определена по соотношению между максимальной удельной энергией колебаний и удельной энергией колебаний, находящихся на пороге ощущаемости их человеком:

$$P = 10 \lg E/E_0,$$

где P – безразмерный энергетический измеритель интенсивности колебаний (он носит название «паль»);

E – максимальная удельная энергия колебаний, представляющая собой абсолютную энергию колебаний, отнесенную к массе колеблющегося тела M и к периоду колебаний T;

$$E = M\upsilon^2_{max}/2MT = \upsilon^2_{max}/2T = 2\pi^2 h^2 n^3,$$

где υ^2_{max} – максимальное ускорение колебаний;

h – амплитуда колебаний;

n – число колебаний в секунду.

Величина E_0 на основании экспериментальных данных, для человека, лежащего на спине и подвергающегося вертикальным колебаниям, равна 0,5 см^2/сек^3.

В таблице 15 приведены ощущения среднестатистического человека.

Таблица 15

Число палей	Ощущение человека
0 10	Порог ощущений
20 30 40	Допускаемые
50 60	Предельные
70 80	Вызывают морскую болезнь

Наиболее реальные оценки плавности движения определяются непосредственно в дорожных условиях при регистрации колебаний автомобиля на дорогах с различным покрытием (асфальт, булыжник, проселок, грунт). В дорожных испытаниях обязательно регистрируются:

1) вертикальные колебания кузова;
2) угловые колебания кузова;
3) ускорения точек кузова.

Испытания проводятся на дорогах, для которых имеются готовые статистические характеристики воздействия микронеровностей (спектры воздействия), либо при переезде единичных препятствий (обычно синусоидальных) – это даёт возможность сравнивать характеристики.

Для записи колебаний используются обычно индуктивные или реостатные датчики. Ускорения регистрируются тензометрическими акселерометрами.

У легковых автомобилей ускорения замеряются на переднем и заднем сидениях, у автобусов – на сидении водителя, на сидениях, которые расположены над передней осью, посередине базы и на самом заднем сидении, у грузовых автомобилей – на сидении водителя и в кузове над задней осью.

Легковые автомобили испытываются только с полной нагрузкой (если подвеску пробивает, нагрузку можно уменьшить), автобусы испытываются с полной нагрузкой и без пассажиров, грузовые – с грузом и без него.

В дорожных условиях движения автомобиль подвергается колебаниям низкой частоты (до 15…18 Гц) и высокой частоты (вибрациям). Вибрационная чувствительность организма человека составляет 15…1500 Гц. С высокой частотой преимущественно колеблются неподрессоренные массы, а с низкой – подрессоренные (кузов и его начинка). Вес неподрессоренных масс (мостов, колёс и др.) не

воспринимается подвеской, а передается через шину на опорную поверхность.

Вес подрессоренных масс передаётся через упругие элементы подвески. Действие колебаний на организм человека зависит от их частоты, амплитуды, продолжительности и направления воздействия. В настоящее время нет единого мнения о пределах частот колебаний, которые соответствуют определенному виду воздействия на организм человека. Во время ходьбы человек испытывает колебания в вертикальном, продольном и в поперечном направлениях. Человек не ощущает колебаний при ходьбе, так как привык к частоте, которая составляет в зависимости от числа шагов в секунду 1,7…2,5 Гц. При спокойной ходьбе средние значения ускорений туловища вверх находятся в пределах 8…12 м/с^2, а вниз – 3…7 м/с^2. Средние ускорения колебаний головы вверх и вниз при ходьбе примерно одинаковы и составляют 5…8 м/с^2. Влияние знакопеременных ускорений колебаний на организм человека в большой степени зависит от их частоты. С увеличением частоты (например, при быстром беге) даже небольшие ускорения колебаний могут вызвать неприятные ощущения. Максимальные ускорения в естественных условиях человек испытывает при спрыгивании с высоты. При спрыгивании с высоты 0,75 м ускорения достигают 30…35 м/с^2 в момент приземления. Но ускорения головы в этом случае примерно в 1,5 раза меньше, чем у туловища. Это объясняется тем, что центр тяжести головы смещён относительно позвоночника, и при вертикальных колебаниях туловища голова совершает угловые колебания. При длительной ходьбе человек утомляется не только от физической нагрузки, но и от колебаний туловища и головы. В тоже время ускорения колебаний, получаемые человеком при ходьбе и при беге, нельзя считать критериями оценки плавности хода транспортного средства.

При испытаниях по перемещениям отдельных точек автомобиля и циклограммам колебаний водителя или заменяющего его манекена можно определить виброскорости и ускорения колебаний кузова, колёс, сидений и водителя. Графическое определение скоростей, ускорений и скоростей изменения ускорений по записанным перемещениям отдельных точек является трудоёмкой операцией и не всегда обеспечивает необходимую точность.

Водителям и пассажирам автомобильного транспорта приходится длительное время находиться под воздействием колебаний и вибраций различной интенсивности. В этой связи особое значение приобретают испытания автомобилей на плавность хода, так как от их результатов зависят самочувствие человека и его утомляемость, а конечном итоге, его здоровье.

В процессе испытаний регистрация ускорений производится при помощи преобразователей, которые монтируются на кузове, мостах и плите, расположенной на подушке сиденья.

Преобразователи для регистрации виброскорости позволяют получить данные для оценки воздействий этого параметра на человека. Кроме того, для регистрации колебательных процессов используется киносъёмка. Периодические колебания кузова и колёс автомобиля создаются на вибростендах.

Вибростенды применяются преимущественно со следующими возбудителями

колебаний: с шатунно-кривошипными механизмами, с гидропульсаторами, с вибраторами, имеющими неуравновешенные вращающиеся массы направленного действия, с вращающимися беговыми барабанами переменного радиуса. Случайные колебания масс автомобиля могут возбуждаться на стендах с гидровибраторами или гидропульсаторами. Записав на ленту магнитографа микропрофиль дорожного покрытия, его можно воспроизвести на стенде с помощью гидропульсаторов. Таким образом, можно оценить плавность хода автомобиля в лабораторных условиях. Это особенно важно при доводке новой модели автомобиля. На колебания автомобиля влияют положение центра масс и момент инерции кузова автомобиля относительно поперечной оси.

В дорожных испытаниях определяются вертикальные и горизонтальные ускорения, виброскорости и перемещения. В отраслевом стандарте автомобильной промышленности в качестве основных параметров плавности хода приняты среднеквадратичные значения вертикальных и горизонтальных ускорений. По записям процессов колебаний устанавливаются среднеквадратичные величины вертикальных, продольных и поперечных ускорений в диапазонах частот 0,7…22,5 Гц.

Автомобили перед испытаниями должны иметь пробег не более 10 000 км и износ рисунка протектора шины не более 20 %. Испытания автомобиля проводятся с номинальной полезной нагрузкой и в снаряженном состоянии с нагрузкой, которая включает водителя, экспериментатора и измерительную аппаратуру с питанием (масса аппаратуры и питания до 50 кг). При этом должны быть соблюдены заданные климатические и дорожные условия (температура воздуха – в пределах +5…+36° С, скорость ветра – до 5 м/с, осадки в виде снега и дождя исключаются). Испытания, как правило, проводятся на трех типах дорог, которые соответствуют дорогам 1-й категории, средним и тяжёлым дорожным условиям.

Легковые автомобили, междугородные и городские автобусы испытываются на асфальтобетонном покрытии хорошего состояния и на дороге с булыжным покрытием удовлетворительного качества, а легковые автомобили повышенной проходимости и автобусы местного сообщения – дополнительно на участках с изношенным асфальтовым покрытием. Для грузовых автомобилей используются дороги с асфальтобетонным покрытием с участками, имеющими хорошее состояние и изношенными. Дополнительно неполноприводные грузовые автомобили испытываются на булыжной мостовой плохого состояния (с буграми и ямами), а полноприводные – по разбитым грунтовым дорогам.

В качестве характеристик поверхности дорог принимаются спектральные плотности микропрофиля и другие показатели, определяющие степень воздействия дороги на автомобиль.

Скорости движения, при которых регистрируются показатели колебаний, устанавливаются с учётом категорий автомобиля и типа испытательного участка. Например, для легковых малолитражных автомобилей на дорогах с хорошим покрытием их принимают равными 50, 70 и 90 км/ч, а для городских автобусов – 30, 50 и 90 км/ч. На дорогах с изношенным асфальтовым покрытием для испытаний легковых малолитражных автомобилей установлены скорости 30, 45, 60 и 75 км/ч,

а для автобусов и грузовых автомобилей – 30, 45 и 60 км/ч. На участках с булыжным покрытием в плохом состоянии и на разбитых грунтовых дорогах скорости движения приняты равными 10, 20 и 30 км/ч. Длины испытательных участков, на которых записываются параметры плавности хода, установлены при испытаниях на хорошей дороге и ровном булыжном шоссе без выбоин равными 1000 м, а на дорогах других типов и меньших скоростях движения – 700, 500 и 250 м. Для измерения вертикальных ускорений на сиденьях водителя и пассажира устанавливается промежуточная плита, к которой прикрепляется преобразователь ускорений. У грузового автомобиля преобразователи ускорений располагаются на полу платформы над левым задним колесом и на левом лонжероне рамы над передней осью. Горизонтальные продольные ускорения определяются с помощью преобразователя ускорений, установленного на кронштейне кабины на уровне шеи водителя. Для обобщения показателей по плавности хода автомобиля по среднеквадратичным ускорениям, полученным на разных типах дорог с грузом и без груза, вводят весовые коэффициенты, учитывающие продолжительность испытаний на различных дорога.

Преимуществом испытаний автомобилей на испытательных трассах является реализация условий близких к действительным условиям эксплуатации, хотя результаты таких испытаний не всегда можно сравнивать, так как профиль и состояние дорог в процессе эксплуатации изменяются. Более сопоставимые результаты могут быть получены при переезде единичных неровностей с регистрацией перемещений отдельных точек автомобиля относительно опорной поверхности и ускорений этих точек. Регистрируются колебания отдельных точек автомобиля различными способами. Наиболее простым и доступным является способ записи процессов колебаний, при котором используются специальные колёса или тележки, прикрепленные к кузову так, что они могут свободно перемещаться в вертикальном направлении относительно кузова автомобиля. Самопишущее устройство, расположенное на измерительном колесе или тележке, соединено тягами в определенных точках с кузовом автомобиля и осями колёс, колебания которых определяются. При расположении специальных колёс рядом с передней и задней осями можно определять угловые колебания кузова в продольной плоскости, а при установке колёс по обе стороны автомобиля – в поперечной. Синхронизация записи колебаний различных точек по времени производится при помощи отметчиков времени.

Поскольку колебания автомобиля возникают в основном при движении по дорожным неровностям, то при наезде жёстким колесом на неровность возникает сопротивление движению. При большой высоте неровности и малой скорости движения колесо может остановиться. В точке контакта колеса с неровностью возникают вертикальная и горизонтальная реакции. Для преодоления препятствия необходима вертикальная сила, способная поднять вес на высоту дорожной неровности. Часть веса кузова, приходящаяся на данное колесо, и есть вертикальная нагрузка со стороны автомобиля. Вертикальная сила, которая противоположна гравитационной силе, может быть вызвана энергией поступательного движения

автомобиля, то есть кинетической энергией, которая должна быть больше, чем необходимая для поднятия автомобиля на высоту неровности.

Энергия горизонтальной составляющей расходуется на поступательное движение и подъём колеса на неровность. Если автомобиль движется с достаточной скоростью, то после достижения колесом верхней точки препятствия вертикальная скорость колеса не равна нулю и колесо подскакивает вверх. Гравитационная сила останавливает вертикальное перемещение колеса и возвращает его в исходную позицию до контакта колеса опорной поверхностью.

Эластичное колесо, нагруженное упругим элементом подвески, например пружиной, и кузов автомобиля не поднимаются на высоту неровности. Вертикальная жёсткость колеса и пружины при определённых их параметрах не даёт колесу оторваться от дорожной неровности. Энергия, аккумулированная в упругом элементе подвески и в шине, после преодоления препятствия расходуется на поступательное движение автомобиля. В процессе деформации упругие элементы подвески и шины нагреваются из-за внутримолекулярного трения, и часть энергии безвозвратно теряется.

На твердом ровном дорожном покрытии применение жёстких шин способствуют уменьшению потерь, обусловленных сопротивлением качению. На дорогах с большими неровностями жёсткость колеса и подвески увеличивают энергию, затраченную на движение. В этом случае целесообразно иметь «мягкие» шины (с «мягкой» боковиной и низким давлением), которые достаточно хорошо сглаживают дорожные неровности. Вертикальная жёсткость как передней, так и задней подвесок современных автомобилей находится в пределах 20…60 кН/м, а вертикальная жёсткость шин – 200…450 кН/м (меньшие значения жёсткостей относятся к легковым, а большие – к грузовым автомобилям).

Некоторые современные модели автомобилей имеют подвески с регулируемой жёсткостью. «Мягкая» подвеска в момент переезда препятствия значительно деформируется. После переезда через препятствие колебания кузова при наличии «мягкой» подвески продолжаются, затухая весьма медленно. Для гашения начавшихся колебаний устанавливаются амортизаторы, которые могут иметь регулируемое сопротивление (активное демпфирование).

Шины влияют на высокочастотные колебания автомобиля. Для улучшения плавности хода целесообразно иметь шины возможно меньшей жёсткости. Для этого увеличивается ширина профиля шин и снижается давление воздуха в них. Применение независимой подвески передних колёс позволяет получить отношение статических прогибов передней и задней подвесок, близкое к единице. В результате при наезде автомобиля на препятствие галопирования практически не происходит, так как кузов перемещается параллельно самому себе. Установка независимой подвески для задних ведущих колёс значительно усложняет конструкцию привода колёс, поэтому в настоящее время она применяется для заднеприводных автомобилей только среднего и большого классов.

В качестве упругого элемента независимой подвески используются пружины, а в последнее время и упругие пневмоэлементы, реже – торсионы. Пружины и

торсионы имеют большую долговечность, практически не имеют внутреннего трения, просты в изготовлении и не нуждаются в техническом обслуживании.

Пневмоподвеска обеспечивает высокую плавность хода благодаря небольшой жёсткости, благоприятному характеру изменения упругой характеристики, а главное возможности регулирования в широких пределах жёсткости подвески и положения кузова. Испытания автомобиля на стендах и на дорогах дают возможность оценить негативное влияние колебаний на человека и автомобиль, благодаря чему выбирается наиболее рациональная конструкция ходовой части.

Надёжность деталей подвески обычно определяет при испытаниях всего автомобиля в комплексе, однако, в ряде случаев возникает необходимость в специальных испытаниях подвески. Эти испытания осуществляются на дорогах, представляющих собой комплекс участков с разным покрытием, включая асфальт как хорошего качества, на котором автомобиль может развить высокую скорость, так и с выбоинами, вызывающими периодические ударные нагрузки. Значительная часть маршрута приходится на участки с булыжным покрытием, при движении по которым интенсивно нагружаются детали подвески. Кроме того, используются дороги со щебёночным покрытием, а также грунтовые дороги, имеющие загрязненные участки. При этом для легковых автомобилей и автобусов маршрут по дорогам с неровным покрытием является минимальным, а для грузовых автомобилей, особенно для полноприводных, – довольно значительным. Грунтовые дороги позволяют в полной степени проверить работу шарниров и других трущихся элементов подвески в условиях загрязнения и пыли. В некоторых случаях, когда требуется осуществить испытания в сжатые сроки, организуются ускоренные испытания. Они на автомобильном полигоне в г. Дмитрове проводятся на комплексе специальных дорог («бельгийская» мостовая и «стиральная доска»), а в условиях дорог общего пользования, как правило, на булыжных покрытиях с просевшим основанием, вызывающих дополнительные нагрузки от «клевков» и кренов автомобиля, что особенно важно при испытаниях шарниров и стабилизаторов поперечной устойчивости.

Перед испытаниями упругие элементы подвески подвергаются тарировке, снимаются характеристики амортизаторов. Затем они устанавливаются на автомобиль, который должен иметь номинальную нагрузку, распределенную по осям, как указано в паспорте, при этом давление воздуха в шинах должно соответствовать инструкции. Перед проведением испытаний автомобиль совершает обкаточный пробег 300…500 км по гладкой дороге с умеренной скоростью для осадки пружин и рессор, а также приработки трущихся поверхностей шарниров подвески и амортизаторов.

По результатам испытаний даётся заключение о соответствии параметров надёжности подвески или её элементов техническим условиям и, если это необходимо, разрабатываются рекомендации по её доработке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бахмутов С.В. Оценка основных реакций автомобиля на управляющее воздействие / С.В. Бахмутов – МО РФ, 2001. – 205 с.

1. Беляев В.П. Автоматизированные системы испытаний автомобилей и тракторов. Учебное пособие. Часть 1 / В.П. Беляев. – Челябинск: ЮУрГУ, 2000. – 63 с.

2. Беляев В.П. Автоматизированные системы испытаний автомобилей и тракторов. Учебное пособие. Часть 11 / В.П. Беляев. – Челябинск: ЮУрГУ, 2001. – 53 с.

3. Беляев В.П., Быков Р.В. Испытания тракторов. Учебное пособие. Часть 111 / В.П. Беляев, Р.В. Быков. – Челябинск: ЮУрГУ, 2005. – 59 с.

4. Беляев В.П. Стендовые испытания автомобилей и тракторов. Учебное пособие. / В.П. Беляев. – Челябинск: ЮУрГУ, 2008. – 56 с.

5. Гудцов В.Н. Современный легковой автомобиль. Экология, экономичность, электроника, эргономика (тенденции и перспективы развития) / В.Н. Гудцов. – М: ООО КноРус, 2012. – 447 с.

6. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: учебник для вузов / Г.Д. Крылова 3-е издание, переработанное и дополненное – М: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. – 711 с.

7. Кушвид Р.П. Испытания автомобиля. Учебник / Р.П. Кушвид – М: МГИУ, 2011. – 351 с.

8. Хусаинов А.Ш. Эксплуатационные свойства автомобиля / А.Ш. Хусаинов. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 115 с.