

С. М. БЕЛОВ
А. С. СОЛОНСКИЙ

ТРАКТОРЫ

ЧАСТЬ IV

ИСПЫТАНИЯ

Под общей редакцией
профессора В. В. Г у с ь к о в а

Допущено Министерством высшего и
среднего специального образования
БССР в качестве учебного пособия
для студентов высших технических
учебных заведений по специальности
«Автомобили и тракторы»

МИНСК
«ВЫШЭЙШАЯ ШКОЛА»
1986

ББК 39.34я73

Б 43

УДК 629.114.2(075.8)

Рецензенты: кафедра «Автомобили и тракторы» Челябинского политехнического института; М. С. Кринко — кандидат технических наук, зав. кафедрой «Эксплуатация машинно-тракторного парка» Белорусского института механизации сельского хозяйства

3603030000—045

Б. 55—86

М 304(05)—86

© Издательство «Высшая школа», 1986.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Испытания тракторов занимают одно из ведущих мест в системе их создания и доводки, так как дают возможность объективно оценивать функциональные качества, надежность систем и сборочных единиц еще на стадии поисковых работ и принимать решение о целесообразности использования их на тракторе, а также делать правильный выбор компоновочной схемы и основных параметров трактора. Наряду с этим испытания позволяют выявить производственную эффективность трактора при агрегатировании с различными сельхозмашинами в разных почвенно-климатических зонах, оценить эксплуатационную надежность тракторов и их элементов, согласование параметров тракторов и агрегатируемых с ними сельхозмашин, уровень производства и условия эксплуатации тракторов и разрабатывать рекомендации по их совершенствованию.

Поскольку производство отечественных тракторов массовое и крупносерийное, удовлетворение требований по отработке их конструктивных элементов, снижению материалоемкости, обеспечению нормативной надежности является первоочередной задачей. Значительную часть вопросов конструктивной отработки трактора и оценки его качества можно решить только при технически, методически и организационно правильно проведенных испытаниях.

Дальнейшее ускорение научно-технического прогресса в области создания тракторной техники предполагает повышение технического уровня, качества и надежности тракторов, сокращение сроков проектирования и снижение стоимости проектных работ. Испытания и конструкторско-экспериментальная доводка тракторов и их сборочных единиц — наиболее трудоемкий, дорогостоящий и длительный этап создания трактора. Поэтому вопросам теории испытаний, создания и совершенствования испытательного оборудования и измерительной аппаратуры, совершенствования методологии и организационных принципов испытаний, методам обработки и анализа результатов испытаний, автоматизации испытаний уделяется большое внимание. Решение этих задач неразрывно связано с подготовкой высококвалифицированных инженерных и научно-исследовательских кадров, чему в значительной мере должно способствовать усвоение основных положений курса «Испытания тракторов».

В книге приводятся основные сведения по теории и практике проведения испытаний тракторов, выбору современной измерительной аппаратуры, стендового оборудования, методов испытаний и оценки надежности, некоторые данные о научно-методических принципах испытаний тракторов.

Изложение материала в основном соответствует программе курса «Испытания трактора». Книга входит в серию учебных пособий, подготовленных кафедрами «Тракторы» и «Колесные тракторы» Белорусского политехнического института для специальности 0513 «Автомобили и тракторы», специализация «Тракторы».

Введение написали авторы совместно, параграфы 2.2...2.4, 7.3.4, 7.4, 7.5 и главы 4, 6, 8 — доцент С. М. Белов, параграфы 2.1, 7.1, 7.2, 7.3.1...7.3.3 и главы 1, 3, 5 — доцент А. С. Солонский.

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

К важным задачам, стоящим перед тракторостроением, относятся повышение технического уровня, качества, надежности, срока службы и конкурентоспособности тракторов, сокращение сроков их создания и освоения в производстве.

Испытания наряду с расчетами и моделированием позволяют оценивать качество конструкции, ее надежность и срок службы. При этом с помощью методов расчетов и моделирования можно производить сравнительную оценку различных вариантов конструктивных решений и выбирать оптимальные еще на ранних стадиях проектирования, задолго до изготовления опытных образцов. Методами моделирования можно оценивать весьма сложные явления, не поддающиеся аналитическим исследованиям, при ограниченных затратах времени и средств. Однако в системе создания перспективных моделей тракторов, модернизации и совершенствования серийно выпускаемых именно испытаниям отводится ведущее место, так как они позволяют наиболее объективно оценивать правильность выбора расчетно-конструктивных параметров тракторов, их сборочных единиц и систем, качество отработки конструкции, надежность. Поэтому испытания считаются одним из важнейших и наиболее трудоемких этапов создания трактора. По данным ведущего предприятия тракторостроения — Минского тракторного завода, — в общем цикле разработки и конструкторской подготовки производства тракторов примерно две трети времени приходится на период испытаний.

Испытания тракторов и их узлов позволяют дать ответ не только на вопросы качества конструкторских разработок и надежности, но и оценить технико-экономические показатели, тягово-сцепные качества, соответствие требованиям стандартов и техническим условиям, раскрыть природу некоторых явлений и дефектов, встречающихся в тракторах, оценить технический уровень производства.

Научно-технический прогресс открывает широкие возможности для совершенствования тракторной техники. Вместе с тем существующая система ее создания требует тщательной доводки и отработки конструкции трактора, которые, как правило, включают серию испытаний. Завершающим этапом являются приемочные государственные испытания, по результатам которых принимается

решение о постановке на производство новой или усовершенствованной модели трактора.

Как показывает опыт, этап испытаний при создании трактора является наиболее трудоемким и занимает много времени, поэтому вопрос о сокращении сроков и средств на их проведение возникает постоянно. Улучшение качества и сокращение времени испытаний требует более совершенной измерительной и регистрирующей аппаратуры, стендового оборудования, устройств, предназначенных для обработки опытных данных, разработки теории эксперимента, а также создания служб и учреждений, занимающихся испытанием тракторной техники.

ГОСТ 7057—81 «Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний» в значительной степени обобщает достижения современной испытательной науки и техники и опыт различных организаций.

Все больше при испытаниях уделяется внимания автоматизации работ. Электронные автоматические устройства, цифровые и аналоговые вычислительные машины позволяют ускорить обработку результатов испытаний, реализовать программы нагрузочных режимов, определить спектральные плотности процессов, корреляционные функции и др.

Начало испытаний тракторов в России связано с организацией в 1912 г. машиноиспытательной станции при Петровской (ныне имени К. А. Тимирязева) сельскохозяйственной академии. В первые годы Советской власти отдельные машиностроительные заводы выпускали тракторы небольшими сериями. Однако потребности коллективизированного сельского хозяйства вызвали необходимость создания отечественной тракторостроительной промышленности, способной в короткие сроки дать достаточное количество тракторов. Остро стал вопрос о выборе моделей тракторов для производства. С этой целью в 1927 г. в селе Персияновка под Новочеркасском были организованы широкие конкурсные испытания тракторов и сельскохозяйственных машин. Впервые были разработаны балльные методы оценки конструкции тракторов, а также методы и способы проведения испытаний. Важную роль в дальнейшем развитии тракторостроения и методов испытаний сыграли Всесоюзные конкурсные испытания дизельных тракторов, проведенные в 1934 г.

Большой вклад в развитие измерительной техники, применяемой при испытаниях тракторов, внес Государственный союзный тракторный научно-исследовательский институт (НАТИ). В НАТИ были созданы получившие общее признание конструкции стендов и приборов. Совершенствованию испытаний тракторов также способствовали работы Московского автомеханического института (МАМИ), Московского института инженеров сельскохозяйственного производства (МИИСП) и Ленинградского сельскохозяйственного института (ЛСХИ).

С 1949 г. испытания тракторов проводятся по зонам их применения на государственных машиноиспытательных станциях (МИС). Ведущим в области испытаний тракторов является Кубанский научно-исследовательский институт испытаний тракторов и сельско-

хозяйственных машин. В испытаниях принимают участие и другие организации, а также высшие учебные заведения. За последнее время серьезные испытания проводятся тракторными заводами и их конструкторскими организациями. Так, на Минском тракторном заводе основными являются параметрические и ресурсные испытания, которые в свою очередь подразделяются на ускоренные и обычные. Они осуществляются как на стендах, так и в полевых условиях (рис. В.1).

В целях повышения достоверности и обеспечения сопоставимости результатов испытаний, полученных различными организа-

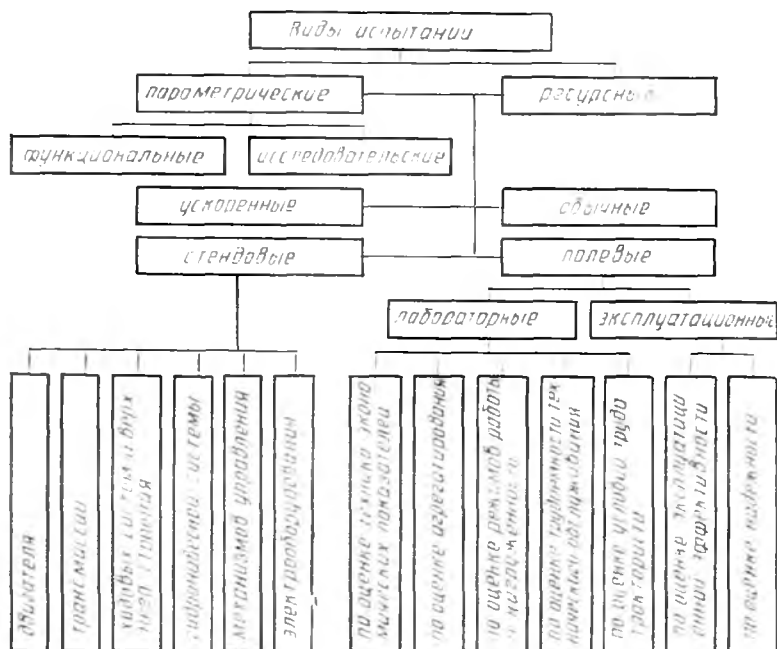


Рис. В.1. Схема видов испытаний тракторов и их узлов

циями, основные виды и методы испытаний тракторов стандартизированы. При этом Государственные стандарты, как правило, соответствуют стандартам стран — членов СЭВ. Широкие поставки тракторов в зарубежные страны потребовали унификации ряда положений отечественных методик испытаний с зарубежными. Так, например, тяговые испытания тракторов на искусственных дорожках со стабильными физико-механическими свойствами, проводимые на испытательных станциях НАТИ, являются составной частью сертификатных испытаний серийных тракторов. За рубежом этот вид испытаний также получил широкое распространение. Наибольшей известностью пользуются тяговые испытания на дорожках с искусственным покрытием на испытательных станциях в Линкольне штата Небраска (США) и Дармштадте (ФРГ).

Проведенными в Англии, Швеции и других странах исследованиями установлено, что результаты тяговых испытаний на дорожках с искусственным покрытием тракторов с пневматическими шинами сопоставимы с результатами испытаний, проводимых на стендах с беговыми барабанами. На таких стендах ведущие колеса трактора опираются на беговые барабаны или гусеницы, поверхность которых облицована бетоном, обеспечивающим коэффициент сцепления, близкий к коэффициенту сцепления колеса на искусственной дорожке.

Проведение тяговых испытаний колесных тракторов на стендах с беговыми барабанами предусматривается методикой испытаний тракторов на испытательных станциях стран Европейского экономического содружества (методика испытаний OECD) и методикой испытаний тракторов Международной организации стандартизации (рекомендации ISO).

Рекомендациями ISO предусмотрены дополнительные тяговые испытания на естественных фонах поля. Для таких испытаний рекомендуются почвы двух типов: плотная, обеспечивающая хорошее сцепление, и рыхлая обработанная.

Тяговые испытания на зарубежных испытательных станциях направлены прежде всего на выявление наивысших показателей трактора. Аналогичный характер носят сертификатные испытания отечественных серийных тракторов. В соответствии с этими задачами выбираются и режимы, при которых проводятся испытания. Например, при испытании в Небраске (США) сила тяги регистрируется при наибольшей тяговой мощности.

В значительной мере унифицированы методики и режимы испытаний при оценке защитных свойств кабины при опрокидывании трактора, лабораторных испытаний двигателя и др.

Глава 1. НАЗНАЧЕНИЕ И НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ **ПРИНЦИПЫ ИСПЫТАНИЙ**

1.1. НАЗНАЧЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

Испытание — понятие многозначное. Оно происходит от латинского слова *exāmpo*, что означает исследовать, испытывать, взвешивать.

Испытания машин и механизмов — это проверка их функциональных свойств и конструктивных параметров с целью установления соответствия техническим требованиям.

По ГОСТ 16504—81 под испытаниями продукции понимается «экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата воздействия на него, при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий». Такое определение применимо к продукции как обобщающему понятию.

Под испытаниями тракторов понимают экспериментальное исследование тракторов в целом, их отдельных сборочных единиц и систем. Теорию испытаний можно рассматривать как науку об эксперименте, о подготовке, проведении, обработке и анализе результатов эксперимента.

Назначение испытаний в получении информации о состоянии испытываемого объекта — трактора, сборочной единицы, системы, детали или ее элемента. Эта информация может быть использована для принятия решения о постановке трактора на серийное производство, оценки его технико-экономических показателей, срока службы или характеристик надежности, функциональных качеств сборочных единиц или систем, при доработке конструкции, уточнении методики расчета или математической модели и т. д.

1.2. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА И ЭФФЕКТИВНОСТИ **ТРАКТОРОВ**

Трактор как энергетическое средство предназначен для работы в составе машинно-тракторных агрегатов и является составной частью технической системы более высокого уровня иерархии. В связи с этим при разработке методики испытаний трактора следует учитывать силы взаимодействия машинно-тракторного агрегата с внешней средой и трактора с сельхозмашинами.

В свою очередь при разработке методики испытаний отдельных

систем, сборочных единиц и деталей трактора должны учитываться их наиболее существенные связи с техническими системами как более высокого, так и одинакового уровня иерархии. Например, при испытании коробки передач должны приниматься в расчет взаимосвязи, с одной стороны, с трактором как технической системой более высокого уровня иерархии, с другой — с муфтой сцепления и задним мостом как техническими системами одного и того же уровня иерархии. При этом для получения достоверных результатов испытаний должны учитываться также функциональные и монтажные связи этих сборочных единиц.

При таком подходе обеспечивается высокая эффективность испытаний, сокращаются затраты времени на их проведение, а достоверность получаемых результатов испытаний возрастает.

При создании новых и модернизации серийных сельскохозяйственных тракторов показатели качества задаются потребителем (Государственным агропромышленным комитетом СССР) и согласовываются с изготовителем (Министерством тракторного и сельскохозяйственного машиностроения СССР). Агротехнические требования основаны на глубоких научных изысканиях, отражающих технико-эксплуатационные и экономические требования сельскохозяйственного производства. Заданные таким образом показатели качества составляют критерии его оценки при испытаниях.

Системный подход к оценке качества тракторов предусматривает необходимость учета уровня инженерных решений и технико-экономических показателей изготовителя.

Структура показателей качества тракторов включает: показатели технического уровня, характеризующие прогрессивность новой разработки (степень повышения производительности, снижение удельной материалоемкости, надежность и др.); функциональные показатели, определяющие качество выполнения трактором основных функций и его универсальность (различные эксплуатационные и агротехнические показатели качества); эргономические и эстетические показатели (санитарно-гигиенические и физиологические, показатели безопасности, рациональность и выразительность формы, целостность композиции и др.); экономические показатели, характеризующие как частные издержки (потребителя и изготовителя) на единицу работы, так и интегральный показатель, отражающий соотношение суммарных затрат на создание нового трактора и получаемого экономического эффекта при его эксплуатации.

К инженерно-техническим вопросам оценки качества относится также выбор показателей эффективности. При этом рекомендуется учитывать влияние на показатели эффективности стохастических свойств естественно-производственных условий, а также обеспеченность испытаний метрологическим оборудованием, стендами, средствами механизации и автоматизации.

Для обеспечения высокой достоверности оценки испытания тракторов должны проводиться при характерных и экстремальных зональных условиях.

При испытаниях необходимо уделять внимание оценке степени

оптимальности выбранных решений по различным критериям и осуществлять всесторонний анализ эффективности трактора.

Для решения научно-технических задач испытаний тракторов все шире используются системные методы исследований, включающие такие необходимые понятия, как иерархия целей и показатели функционирования, оценка процессов функционирования при множестве условий, выявление степени оптимальности параметров тракторов и прогнозирование возможной их эффективности в перспективе.

Основными направлениями совершенствования методов испытаний являются установление рациональной структуры, последовательности и объема экспериментов, выявление связей между показателями эффективности, естественно-производственными условиями эксплуатации, режимами работы и параметрами испытываемых объектов. Основой совершенствования агротехнического, инженерного, эксплуатационно-технологического анализов могут служить методы аналитического описания процессов, математической статистики, теории массового обслуживания, планирования экспериментов и др.

В наиболее общем случае при испытаниях решаются две главные задачи: анализа и синтеза, т. е. прямая и обратная. Задачи объективного анализа на множестве внешних условий состоят в определении результатов функционирования тракторов и тракторных агрегатов при заданных значениях их параметров, а задачи синтеза заключаются в уточнении или определении оптимальных параметров, режимов и условий использования тракторов. Основные этапы решения задач анализа и синтеза: точная формулировка целей и установление организационно-производственных условий функционирования трактора; обоснование и выбор критериев и показателей эффективности; составление плана-схемы испытаний, а при необходимости построение математической модели системы и процессов ее функционирования; проведение натурных лабораторных и эксплуатационных испытаний; уточнение математической модели; оценка показателей эффективности и более широкое их изучение методом моделирования на ЭВМ; анализ результатов и принятие решений.

Испытания тракторов являются неотъемлемым и результативным этапом их конструктивной доводки. Наиболее эффективные результаты можно получить в том случае, если аналитическая оценка характеристик трактора и показателей его работы уточняется опытным путем, а экспериментальные данные анализируются и обобщаются на базе теоретических положений соответствующих научных дисциплин.

1.3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ ПРИ ИСПЫТАНИИ ТРАКТОРОВ

Рабочие процессы тракторов и сельхозмашин формируются в замкнутой системе тракторный агрегат — внешняя среда. Изменения характеристик трактора обуславливаются наряду с техническими параметрами факторами внешней среды, которые имеют ярко выраженный вероятностный характер. Поэтому технологические, эксплуатационные и технико-экономические параметры, связанные с условиями работы агрегатов, также относятся к категории случайных: к многомерным случайным величинам (при изучении статических моделей) и случайным функциям (при исследовании динамических процессов).

При разработке методик испытаний большие затруднения возникают при определении множества условий, для которых устанавливаются средние показатели.

Число состояний внешней стохастической среды и выходных параметров бесконечно. Однако для практических целей, учитывая технологические, мощностные, силовые, энергетические и другие ограничения, целесообразно сузить диапазон параметров внешних условий и каждый параметр входа и выхода ограничить некоторым конечным числом значений. Для этого осуществляют дискретизацию состояний агрегата. При этом наборы дискретных значений входа и параметров протекающего в машине процесса будут характеризовать его состояние.

Значения статистических величин, характеризующих вероятность появления тех или иных состояний и частоту их смены, зависят от свойств рассматриваемой системы и степени детализации процесса. Интервал дискретизации устанавливается исходя из характеристик условий работы или технологических и эксплуатационных показателей работы машины. Интервал дискретизации факторов рекомендуется выбирать таким образом, чтобы при переходе в следующий класс показатели эффективности изменялись меньше, чем агротехнический допуск (примерно на 10...25%).

Одним из условий правильного планирования и проведения испытаний является наличие достоверной информации о естественно-производственных условиях. В первую очередь требуется учет факторов, влияющих на тяговые свойства, рабочие сопротивления сельхозмашин и режимы работы агрегатов. Их характеристики определяются обычно, как средние значения. Большое влияние на показатели работы мобильных агрегатов оказывают физическое состояние почвы, микро- и макрорельеф полей, их размеры, расстояния перевозки убранного сырья и др.

Количество различных характеристик тракторов и тракторных агрегатов и место их определения целесообразно устанавливать методом случайных испытаний таким образом, чтобы охватить типичные для данной почвенно-климатической зоны условия и их экстремальные отклонения.

При принятии решений по критериям, характеризующим качество и технический уровень объекта испытаний, необходимо учитывать влияние зоны, в которой проходили испытания и на которую распространяются их результаты. Поэтому были разработаны общие принципы подхода к статистическому понятию зоны испытаний. Основными исходными положениями статистического анализа являются следующие:

1. Понятие «зона испытаний» имеет несколько разновидностей. Поэтому при его использовании необходимо уточнять смысл этого понятия.

Понятие «зона деятельности машиноиспытательной станции» широко используется в отчетах по результатам испытаний машин, однако не имеет четких границ. Другое понятие «зона возможного использования, или зона применения машины» более приемлемо.

Машиноиспытательные станции территориально входят или близки к зонам применения соответствующих машин, но это не дает оснований отождествлять понятия «зона деятельности МИС» (чисто географическое) и «зона применения машины» (специфическая для данной МИС). Поэтому понятие зоны должно быть увязано с видом машины, а запись «в зоне деятельности МИС» обычно приравнивается понятию «в зоне применения машины, обследованной данной МИС».

2. При реализации зонального принципа испытаний необходимо учитывать существование двух мнений об эффекте, достигаемом благодаря применению машины.

С точки зрения потребителя испытываемая машина должна увеличивать эффективность труда по сравнению с заменяемой в данном и во всех других хозяйствах района и области. В хозяйствах, где это условие не выполняется, целесообразно сохранить старую машину. С точки зрения производителя, при замене парка машин новыми должен обеспечиваться суммарный общегосударственный эффект.

Принятие решений по результатам испытаний базируется на показателях эффективности, подсчитанных для данной зоны с учетом точек зрения потребителя и производителя.

3. Одним из важных положений зонального принципа испытаний машин является понятие о случайном характере результатов, полученных при испытаниях образца. Поэтому показатели эффективности, например приведенные затраты, определяются как средние значения с той или иной достоверностью.

Экспериментально полученную информацию об объекте испытаний используют по-разному в зависимости от задач испытаний. Наиболее часто эти данные сопоставляют с эталонными агротехническими требованиями, соответствующими заданному техническому уровню, или с данными по объекту — аналогу. Результаты

сопоставления дают основания для решения вопросов об эффективности новой машины.

Значительная часть испытаний обеспечивает контроль стабильности показателей, характеризующих машину, на заданном уровне при ее массовом производстве. Экспериментальная информация в этом случае представляет собой сведения о степени соответствия комплекса эталонных (заданных техническими и другими условиями) показателей работы машины фактически полученным данным.

Глава 2. ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ И УСЛОВИЯ ИХ ПРОВЕДЕНИЯ

2.1. ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ

Испытаниям подвергаются серийные, модернизированные тракторы и их модификации, макетные и опытные образцы, а также тракторы после ремонта.

ГОСТ 25836—83 определены следующие виды испытаний тракторов:

на этапе разработки технических требований и обоснования параметров — исследовательские (поисковые) испытания макетных образцов;

на этапе проектирования — предварительные, приемочные государственные и доводочные испытания опытных образцов, а также эксплуатационные (опытная эксплуатация) испытания опытной партии;

на стадии производства — квалификационные испытания образцов установочной серии (первой промышленной партии), приемосдаточные, периодические кратковременные или длительные, сертификатные и эксплуатационные (подконтрольная эксплуатация) испытания серийных образцов, а также типовые испытания и испытания на соответствие требованиям экспорта;

отремонтированные образцы подвергают приемосдаточным, периодическим длительным, эксплуатационным (подконтрольная эксплуатация) и типовым испытаниям.

Установлены цели и задачи отдельных видов испытаний и головные исполнители, а также количество представленных на испытания образцов.

Исследовательские (поисковые) испытания макетных образцов проводятся с целью обоснования параметров, конструктивных схем, компоновки, схем агрегатирования перспективного трактора; обоснования набора машин и технологического оборудования к трактору; отработки технических требований и включения их в исходные (агротехнические) требования потребителя (заказчика) и в техническое задание на разработку трактора.

Исследовательские испытания могут проводиться на полигонах, стендах, а также в условиях эксплуатации. Осуществляют их исследовательские организации отрасли или потребителя (специализированные отраслевые научно-исследовательские институты и со-

ответствующие кафедры высших учебных заведений), а также организация-разработчик.

Доводочные испытания проходят все создаваемые и модернизированные тракторы, их отдельные сборочные единицы и системы. Цель этих испытаний — оценка влияния вносимых изменений на заданные показатели качества. При этом проверяется соответствие выбранных параметров расчетным, выявляется правильность компоновочных решений, оцениваются художественное оформление трактора, удобство обслуживания, соблюдение техники безопасности и охраны труда. При доводочных испытаниях рассматриваются вопросы выбора конструкционных материалов, технологии изготовления деталей, степень унификации с предшествующими моделями и в семействе тракторов, уточняются регулировки систем и механизмов, определяются эксплуатационные свойства, прочность и надежность сборочных единиц и трактора в целом.

Доводочные испытания проводятся организацией-разработчиком. По их результатам в конструкцию трактора и отдельных его элементов вносятся изменения с целью устранения выявленных недостатков, улучшения функциональных качеств и повышения работоспособности и надежности.

Предварительные испытания опытных образцов осуществляются в два этапа. На первом этапе проверяется соответствие образцов трактора техническому заданию, нормативно-технической и технической документации, оценивается эффективность реализованных мероприятий, определяется готовность трактора ко второму этапу.

На втором этапе оценивается экономическая эффективность применения трактора с набором машин и технологического оборудования, а также решается вопрос о возможности представления его на приемочные государственные испытания.

Первый этап испытаний проводит организация-разработчик, второй — испытательные организации отрасли и организация-разработчик под руководством ведомственной комиссии.

Для испытаний сельскохозяйственных, лесохозяйственных, лесопромышленных и промышленных тракторов тяговых классов от 30 до 500 кН берут 5 образцов, из них для испытаний на надежность — 4, а промышленных тракторов тяговых классов свыше 500 кН — 2 на первом этапе испытаний и 3 на втором. Все образцы промышленных тракторов классов свыше 500 кН испытываются на надежность. Если основные сборочные единицы или трактор в целом подвергались стендовым или полигонным испытаниям на надежность, то по согласованию с головным институтом тракторостроения допускается на первом этапе предварительных испытаний уменьшать число образцов с 5 до 3, в том числе на надежность с четырех до двух.

Цель приемочных государственных испытаний опытных образцов — определение соответствия параметров трактора техническому заданию, требованиям стандартов и технической документации, оценка экономической эффективности работы трак-

тора с набором машин и технологического оборудования, установление возможности постановки трактора на производство, а также выработка рекомендаций по присвоению трактору категории качества.

На приемочные испытания представляются доработанные опытные образцы и откорректированная техническая документация.

Приемочные испытания сельскохозяйственных тракторов осуществляют головные организации по государственным испытаниям (научно-исследовательские институты и машиноиспытательные станции), остальных типов тракторов — также специализированные испытательные организации потребителя при участии организации-разработчика и изготовителя под руководством приемочной комиссии. В состав комиссии входят представители заказчика, головной организации, организации-разработчика и изготовителя, а также технической инспекции труда ЦК профсоюзов.

Испытания проводятся не менее чем в двух почвенно-климатических зонах. Количество испытываемых образцов зависит от назначения трактора, а также от того, является он модификацией или базовой моделью, вновь создаваемой или получаемой путем модернизации.

Для испытаний сельскохозяйственных тракторов представляют 8 образцов базовых вновь создаваемых моделей и 6 создаваемых путем модернизации, в том числе по 4 образца для испытаний на надежность. Для модификаций базовой модели установлены следующие нормы: при отличии типа ходовой системы (колесная или гусеничная) количество испытываемых образцов равно числу образцов базовой модели; если модификация отличается от базовой модели по назначению, например хлопковая модификация универсально-пропашного трактора, общее количество образцов должно составлять 6, в том числе 4 на надежность; если же модификация отличается от базовой модели только отдельными составными частями, например модификация универсально-пропашного трактора с передним ведущим мостом, испытываются 4 образца, в том числе 3 на надежность.

Для испытаний сельскохозяйственных, лесопромышленных и промышленных тракторов тяговых классов от 30 до 150 кН представляется 5 образцов базовых моделей и модификаций, в том числе 4 на надежность; для промышленных тракторов тяговых классов свыше 150 кН — 4 образца всех базовых моделей, в том числе 4 на надежность, а модификаций соответственно 4 и 3.

По результатам приемочных государственных испытаний комиссия составляет протокол испытаний, а на его основании — акт приемки опытного образца. Если опытный образец соответствует требованиям технического задания, стандартов и технической документации, то в акте приемки комиссия рекомендует трактор к постановке на производство. При выявлении возможности улучшения отдельных параметров трактора, не установленных в техническом задании, в акте может быть приведен перечень необходимых доработок со сроками их исполнения. Если показатели ниже

требований технического задания, в том числе по техническому уровню, трактор не может быть рекомендован для постановки на производство. В этом случае в акте приемочная комиссия указывает дальнейшие направления работ по совершенствованию трактора и рекомендует проведение повторных приемочных государственных испытаний или прекращение дальнейших работ по созданию трактора.

Результаты приемочных государственных испытаний рассматриваются научно-техническим советом (НТС) Министерства тракторного и сельскохозяйственного машиностроения совместно с потребителем.

Эксплуатационные испытания опытной партии (опытная эксплуатация) проводятся для получения дополнительной к результатам приемочных государственных испытаний информации по эксплуатационно-техническим показателям и надежности тракторов в различных эксплуатационных условиях.

Испытания проводятся специализированными испытательными организациями потребителя при участии организации-разработчика. Количество испытываемых образцов тракторов устанавливается по согласованию между организацией-разработчиком и потребителем с учетом рекомендаций приемочной комиссии по результатам приемочных государственных испытаний.

К в а л и ф и к а ц и о н н ы е испытания образцов установочной серии (первой промышленной партии) проводятся с целью определения готовности производства к серийному выпуску тракторов на основе отработанного производственного процесса.

Необходимость изготовления установочной серии указывается в акте приемки опытного образца и в приказе министерства о постановке трактора на производство. Количество испытываемых образцов определяют предприятие-изготовитель и организация-разработчик.

По результатам испытаний комиссия принимает решение об окончании освоения трактора. Если проведенные испытания не подтвердили готовности производственного процесса обеспечить выпуск серийных тракторов с показателями, установленными стандартами и техническими условиями, то комиссия дает рекомендации по его совершенствованию, устанавливает сроки устранения отмеченных недостатков и проведения повторных испытаний.

Ц е л ь п р и е м о - с д а т о ч н ы х испытаний серийных или отремонтированных образцов — оценка при приемочном контроле соответствия параметров тракторов требованиям технических условий на изготовление или ремонт и поставку потребителю.

Контроль серийных тракторов осуществляют службы технического контроля предприятия-изготовителя с последующим предъявлением результатов постоянному представителю заказчика, если это предусмотрено соответствующими документами. Количество испытываемых образцов устанавливается техническими условиями на конкретную модель трактора.

П е р и о д и ч е с к и е испытания серийных образцов трак-

торов могут быть кратковременными, длительными государственными и длительными.

Целью кратковременных испытаний является оперативный контроль качества и выявление производственных недостатков. Эти испытания проводятся предприятием-изготовителем по 60- и 480-часовым программам. Количество испытываемых образцов определяется объемом годового производства. При выпуске сельскохозяйственных, лесохозяйственных, лесопромышленных и промышленных тракторов тяговых классов от 30 до 150 кН более 1000 штук в год берется один трактор от месячного выпуска при 60-часовых испытаниях и один от квартального выпуска при 480-часовых, а при выпуске менее 1000 штук в год — один от квартального выпуска при 60-часовых испытаниях и один от полугодового при 480-часовых испытаниях. При выпуске промышленных тракторов тяговых классов свыше 150 кН испытывается один трактор от квартального выпуска при 60-часовых испытаниях и один от полугодового выпуска при 480-часовых испытаниях.

Периодические длительные государственные испытания серийных образцов проводятся с целью получения объективной информации для аттестации трактора, в том числе по показателям надежности, и для оценки эффективности мероприятий по устранению ранее выявленных недостатков. Осуществляют их головные организации по государственным испытаниям или специализированные испытательные организации потребителя с участием предприятия-изготовителя. На испытания представляется по 5 образцов каждые два года сельскохозяйственных, лесохозяйственных, лесопромышленных и промышленных тракторов тяговых классов от 30 до 150 кН, по 5 образцов каждые пять лет промышленных тракторов тяговых классов свыше 150 кН, а сельскохозяйственных тракторов первого и второго годов выпуска при объеме производства свыше 15 тысяч — не менее 8 образцов.

Периодические длительные испытания серийных образцов тракторов проводятся с той же целью, что и периодические длительные государственные. Однако осуществляют их предприятия-изготовители с привлечением, при необходимости, потребителя. Количество образцов сельскохозяйственных, лесохозяйственных, лесопромышленных и промышленных тракторов тяговых классов от 30 до 150 кН, представляемых на испытания, — по 5 каждые два года, а промышленных тракторов тяговых классов свыше 150 кН — по 5 каждые пять лет.

Периодические длительные испытания отремонтированных образцов необходимы для контроля соответствия показателей трактора нормативно-технической документации на ремонт и стабильности качества ремонта. Эти испытания проводятся головными организациями по государственным испытаниям, специализированными испытательными организациями потребителя с участием головного ремонтного предприятия, а также головным ремонтным предприятием. На испытания представляется по 5 отремонтированных образцов два раза в пять лет.

При типовых испытаниях серийных образцов после реализации конструктивно-технических мероприятий оценивается эффективность и целесообразность вносимых в конструкцию или технологический процесс изменений.

Испытаниями занимаются специализированные испытательные организации потребителя с участием организации-разработчика или испытательные организации отрасли и организации-разработчика. Количество испытываемых образцов тракторов устанавливается исходя из характера изменений, вносимых в конструкцию или технологию изготовления и ремонта. Если испытания должна проводить организация-изготовитель, их объем устанавливается планом научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а если организация потребителя — планом головного ремонтного предприятия.

Сертификатные испытания серийных образцов проводятся с целью определения соответствия показателей трактора нормативно-технической документации для составления сертификата на трактор.

Испытания проводятся головным научно-исследовательским институтом отрасли тракторостроения. Их объем — один трактор первого года выпуска и по одному трактору после внесения в конструкцию изменений, влияющих на показатели, включенные в сертификат.

Эксплуатационные испытания серийных и отремонтированных образцов (подконтрольная эксплуатация) необходимы для оценки надежности серийных и отремонтированных образцов тракторов при эксплуатации потребителем.

Испытания серийных образцов с начала эксплуатации до гарантийного срока осуществляются специализированными организациями потребителя, с начала эксплуатации до исчерпания моторесурса — предприятием-изготовителем, а отремонтированных образцов — головным ремонтным предприятием. Количество испытываемых образцов сельскохозяйственных, лесохозяйственных, лесопромышленных и промышленных тракторов тяговых классов от 30 до 150 кН: серийных — по 20 каждого года выпуска при общем количестве 100...120 различных годов выпуска; отремонтированных — по 20 два раза в пятилетку; промышленных тракторов тяговых классов свыше 150 кН — по 20 каждого года выпуска.

Испытания на соответствие требованиям экспорта — оценка возможности производства тракторов для экспорта.

Для проведения испытаний министерством изготовителем создается комиссия с участием представителей внешнеторговых организаций, рассматривающая образцы тракторов с учетом требований экспорта, прошедшие приемо-сдаточные испытания.

Разрешением на изготовление тракторов для экспорта является утвержденный акт комиссии.

Проведение испытаний должно способствовать прогрессу тракторной техники, поэтому важны не только результаты испытаний, но и возможность получить ответ на вопрос: как соответствующие полученные результаты и характеристики испытываемого трактора тенденциям развития тракторной техники; насколько прогрессивно и целесообразно предложенное конструктивное решение; правильно ли выбрана кинематическая или гидравлическая схема; насколько улучшаются организация производства и условия эксплуатации трактора?

Поэтому наряду с разработкой методики и программы испытаний должен быть проведен всесторонний анализ образца на соответствие его тем прогрессивным направлениям, которые складываются в тракторной промышленности и технике. Кроме того, необходимо установить, как удовлетворяются современные агротехнические требования в сельскохозяйственном производстве и технологические в других областях народного хозяйства.

Анализ параметров трактора требует комплексного исследования основных составляющих системы конечный продукт — поле — человек — машина. Компоненты системы приведены в порядке обязательной очередности испытаний при равной их возможности. Очевидно, что при такой постановке недостаточно руководствоваться только техническими критериями. Необходимы технико-экономические критерии, которые наиболее полно охарактеризовали бы систему. Известно, например, что в свое время трактор работал в агрегате с прицепными машинами, поэтому наряду с трактористом на тракторном агрегате был занят и прицепщик. Появление навесных машин с механическим, а затем и гидравлическим приводом привело к упразднению функций прицепщика. В настоящее время, когда в стране имеется свыше 2 500 000 тракторов, высвобождено для народного хозяйства такое же количество работников, получивших возможность заняться более производительным трудом.

Основными направлениями современного развития тракторной техники можно признать: повышение энергонасыщенности; усиление роли ротационного привода по сравнению с тяговым при осуществлении технологических процессов в полеводстве; создание мобильных энергетических средств для новых передовых технологий в полеводстве; совмещение технологических операций; универсализацию и специализацию, применение промышленных технологий. Трактор постепенно утрачивает роль только тягового средства и все больше используется как мобильный источник энергии, которая реализуется через ротационный привод активных рабочих органов.

Развитие тракторной техники определяется рядом факторов, главными из которых являются: повышение производительности тракторных агрегатов за счет использования достижений науки и техники; совершенствование конструкции трактора; повышение его надежности; снижение расхода топлива и масла; улучшение усло-

вий труда тракториста при работе агрегата и обслуживания трактора при эксплуатации.

В условиях роста потребности в сельскохозяйственной продукции, уменьшения трудовых ресурсов, занятых в сельскохозяйственном производстве, более широкого применения тракторной техники в промышленности, строительстве и других отраслях народного хозяйства повышение производительности тракторной техники и снижение трудозатрат может быть достигнуто за счет роста энергонасыщенности тракторов.

Исходя из потребности в тракторной технике, в настоящее время промышленностью выпускаются три вида тракторов — колесные, гусеничные, самоходные шасси. Каждая группа включает разнообразные модели, типы и конструкции.

Современный трактор — универсальная машина, в агрегате с технологическими орудиями выполняющая самые разнообразные работы. Пахота, посев, скашивание хлебов производятся с помощью машин и орудий, навешиваемых на трактор. Уборка свеклы, кукурузы, картофеля ведется машинами, рабочие органы которых приводятся в действие от вала отбора мощности трактора через карданный вал. От трактора могут приводиться в действие и рабочие органы стационарных машин. Землеройные работы выполняются экскаватором или бульдозером, навешенным на трактор. Грузы перевозят на прицепах или полуприцепах, буксируемых трактором. На трактор навешивают подъемник или комбайн, машины для обработки междурядий высокостебельных и пропашных культур или полива растений.

В зависимости от назначения выпускаются тракторы нескольких типов.

Тракторы общего назначения служат для выполнения основных сельскохозяйственных работ, характерных для возделывания большинства растений (пахота, боронование, дискование, сплошная культивация, посев, уборка). Они отличаются двигателем большой мощности, широкими шинами или гусеницами и малым дорожным просветом.

На универсально-пропашных тракторах выполняются любые работы, в том числе и те, которые производятся тракторами общего назначения. Это прежде всего обработка междурядий пропашных культур, посадка рассады на скорости до 1 км/ч, уход за посевами, садами, транспортные работы и работа на животноводческих комплексах и фермах. Ходовая часть этих тракторов, как правило, колесная с большим агротехническим просветом. В ряде моделей предусмотрены сменные колеса с широкопрофильными машинами для выполнения работ общего назначения и с узкими шинами для работ в междурядьях небольших размеров. Особенность ходовой части тракторов этого типа — возможность изменять ширину колеи, а иногда и высоту дорожного просвета.

Тракторы специального назначения — это чаще всего модификации трактора общего назначения или универсально-пропашного. Предназначены они для выполнения одного вида работ или раз-

Табл. 2.1. Агротехнические качества

Качества	Оценочные показатели
Проходимость: общие показатели	Давление на почву гусеничных тракторов (среднее и максимальное), Па; дорожный просвет, мм; тип и показатели работы движителя
в горных условиях	Предельная крутизна обрабатываемого склона, град; увод вниз по склону
в междурядьях над растениями	Агротехнический просвет, мм; размер колес, мм; защитные зоны, мм; схема вписываемости; обтекаемость конструкции; относительное число поврежденных растений и характер повреждений
в междурядьях между растениями	Габаритная ширина трактора, мм
в междурядьях под растениями	Габаритная высота трактора, мм
Маневренность: управляемость	Наименьший радиус поворота, м; коэффициент использования времени движения
устойчивость прямолинейного движения	Отклонение от заданного направления движения, мм; минимальная защитная зона рабочих органов, мм
плавность хода	Среднее квадратическое отклонение глубины обработки, мм; частота и наибольшие угловые и линейные перемещения, Гц, рад, м; ускорения угловых и линейных перемещений, $1/c^2$ и m/c^2

ных, но в определенных условиях. К таким тракторам относятся: болотоходные для работы на малосвязанных почвах; порталные виноградниковые, состоящие из двух одногусеничных тракторов, соединенных между собой жесткой аркой; крутосклонные колесные или гусеничные для работы на склонах. Существуют промышленные и другие тракторы специального назначения: трелевочные, трюмные и т. д.

Совокупность тракторов, удовлетворяющих потребности народного хозяйства страны, образует типаж. Типаж включает девять классов, в каждом из которых имеется основная, или базовая, модель и ее модификации. За главный классификационный показатель типажа принято номинальное тяговое усилие. Все остальные параметры обуславливаются этим показателем.

Под номинальным тяговым усилием понимается усилие, при котором тракторный агрегат достигает максимального тягового КПД в пределах допустимого по технологическим (агротехническим) требованиям буксования движителей. Сила тяги, которую может развивать трактор, зависит как от мощности установленно-го на нем двигателя, так и от силы сцепления трактора с грунтом (тяга по сцеплению). При недостаточной силе сцепления трактор начинает буксовать. Сила сцепления ведущих колес или гусениц трактора с грунтом зависит от вида и состояния почвенного покрова, степени его увлажнения и от суммарного давления (сцепного веса), производимого ведущими колесами или гусеницами на грунт.

К тракторам в зависимости от их назначения и типа предъявляются разнообразные требования. Соответственно тракторы должны обладать определенными качествами.

Показатели качества трактора могут быть условно разделены на три основные группы: агротехнические (технологические); технико-экономические; общетехнические.

Агротехнические (технологические) качества характеризуют преимущественно приспособленность трактора к выполнению различных технологических процессов. Например, для сельскохозяйственного производства важными качествами являются проходимость в междурядьях, на склонах, управляемость и устойчивость движения, плавность хода; при лесоразработках — проходимость в условиях лесосек, маневренность; в мелиоративном строительстве — проходимость по слабым грунтам и маневренность; в горнодобывающей промышленности — продольная и поперечная устойчивость, плавность хода, маневренность и т. д.

Т а б л. 2.2. Техничко-экономические качества

Качества	Оценочные показатели
Производительность: общие показатели	Выработка, га/ч, м ³ /с; мощность двигателя, кВт; коэффициент эксплуатационной загрузки; коэффициент использования времени смены
тяговые качества	Тяговая мощность, кВт; тяговое усилие, кН; коэффициент приспособляемости двигателя; максимальный тяговый КПД; буксование
удобство агрегатирования	Общая компоновка трактора; диапазон, число и подбор передач; способ соединения трактора с машинами и управление ими; показатели гидравлического и пневматического оборудования. Тип устройства; тип привода и характеристики валов отбора мощности
Экономичность: топливная экономичность	Удельный расход топлива двигателем (минимальный оценочный), г/кВт; удельный расход топлива трактором (минимальный текущий), г/кВт; эксплуатационный удельный расход топлива, кг/га. Относительный расход масла, %
амортизационные расходы	Стоимость трактора, руб.; срок службы
надежность	Срок безремонтной службы, ч; коэффициент эксплуатационной надежности; безотказность; стабильность показателей; экономически оптимальный срок службы, лет; фактический срок службы, лет; ресурс сборочных единиц и систем
ремонтная характеристика	Пригодность конструкции трактора к плановому ремонту; стоимость ремонта и обслуживания, руб.; трудоемкость планового технического обслуживания, ч; стоимость запасных частей, руб./год, и их масса, кг/год; коэффициент равнопрочности конструктивных элементов; коэффициент стабильности форм и размеров ремонтируемых конструктивных элементов; коэффициент балластных работ

Табл. 2.3. Общетехнические качества

Качества	Оценочные показатели
Удобство работы и обслуживания, санитарно-гигиенические условия; защищенность обслуживающего персонала	Тип кабины или тента; наличие устройств, предотвращающих опрокидывание трактора; защита от шума, пыли и выхлопных газов; наличие вентиляции, отопления и кондиционирования воздуха
удобство работы	Комфортабельность сиденья; номенклатура и характеристики приборов; размеры невидимой зоны; число и размещение органов управления, частота воздействия на них, потребные усилия, Н
освещенность	Мощность, кВт; количество лампочек и сила света; оптические качества и размещение источников света (фар)
запас времени работы	Длительность работы без дополнительной заправки топливом, ч
готовность к работе	Длительность подготовки к работе и запуска двигателя, ч
легкость обслуживания	Время, затрачиваемое на технический уход и обслуживание, по отношению ко всему времени работы, %; наибольшие усилия, требующиеся при техническом уходе и обслуживании, Н; количество используемого инструмента; способ запуска двигателя; способ заправки двигателя; способ заправки топливного бака
Безопасность работы: устойчивость на склонах	Предельные и критические углы статической и динамической продольной и поперечной устойчивости, град; наличие устройств, сигнализирующих об опасности
эффективность торможения	Тормозной путь тракторного поезда, м; замедление, м/с^2
безопасность сцепки	Наличие и тип безопасной сцепки
техника безопасности	Наличие ограждений движущихся частей; наличие и характеристика звукового сигнала
противопожарная безопасность	Наличие искрогасителя огнетушителя

Технико-экономические качества определяют в основном производительность и экономичность трактора. Производительность трактора в агрегате с машиной или орудием характеризуется размером обработанной площади или объемом выполненных работ в единицу времени при соблюдении заданных качественных показателей. Экономичность трактора в агрегате определяют затраты, связанные с его применением, отнесенные к единице обработанной площади или к единице выполненной работы.

Общетехнические качества не влияют прямым образом на технологические показатели, производительность и экономичность трактора. Они характеризуют безопасность, удобство и гигиенические условия работы обслуживающего персонала, надежность трактора и оказывают косвенное влияние как на качество работы машинно-тракторного агрегата, так и на его производительность и экономичность.

Границу между группами качеств не всегда можно четко определить, так как отдельные качества могут быть отнесены к двум и более группам. Например, плавность хода является агротехническим качеством, поскольку влияет на равномерность глубины обработки почвы, заделку семян, качество междурядной обработки и т. д. Одновременно она определяет максимально допустимую скорость движения, надежность трактора. Кроме того, от плавности хода зависит комфорт обслуживающего персонала.

Трактор, как правило, не выполняет технологических процессов. Они выполняются машинами, орудиями и технологическим оборудованием, для которых трактор служит энергетической базой. Поэтому его качества должны, как правило, определяться при работе в агрегате. Например, плавность хода трактора без орудия или машины представляет малую практическую ценность. Решающее значение для оценки этого качества имеет плавность хода трактора в агрегате с орудием или машиной.

Однако устройство трактора в значительной степени предопределяет эксплуатационные качества тракторного агрегата. От его конструкции в значительной степени зависит тип агрегируемых с ним машин.

В табл. 2.1—2.3 приведен перечень основных качеств трактора и их оценочные показатели.

2.3. УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ТРАКТОРА

Условия работы трактора характеризуются чрезвычайным разнообразием. На режим его работы наибольшее влияние оказывают природно-климатические факторы, рациональность комплектования тракторного агрегата, уровень культуры земледелия, состояние дорог в хозяйстве и крутизна склонов обрабатываемых участков, обоснованность его использования на тех или иных работах, квалификация водителей и др. При выполнении трактором в составе агрегата различных работ сопротивление движению и нагруженность узлов непрерывно меняются.

Нагрузка на крюке трактора носит переменный, колебательный характер. Кроме того, понятие «нагрузка на крюке» часто условное, так как трактор все больше используется не только как тяговая машина, но и как мобильная энергонасыщенная с развитой системой отбора мощности. Поэтому при разработке методики испытаний условия работы трактора должны рассматриваться всесторонне, с учетом разных факторов. Так, на основе статистического анализа установлено распределение времени работы трактора «Беларусь» по основным видам работ для различных почвенно-климатических зон (табл. 2.4).

Испытания трактора должны проводиться в условиях, наиболее характерных для почвенно-климатической зоны страны, в которой он будет работать. Так, например, при тяговых испытаниях тракторов физико-механические свойства и плотность почвы, влияющие на их тягово-сцепные качества и сопротивление движению, а также

Табл. 2.4. Распределение времени работы трактора «Беларусь» по основным видам работ, %

Зона использования	Выполненная работа		
	Транспорт	Обработка почвы, посев, междурядная обработка	Уборка и работа с машинами, приводами от ВОМ
Московская область	53,2	24	19,6
Одесская область	42,2	32,5	17,1
Белорусская ССР	52,7	35	17,1
Краснодарский край	56,6	10,1	11,3
Волгоградская область	72,9	11,2	19,8
Горьковская область	44,8	16,7	35,1
Среднее значение	54	21,6	20

сопротивление рабочей машины, должны выбираться с учетом характеристик почв этой зоны. Для оценки технико-экономических показателей тракторов и их эксплуатационной надежности подбирают в первую очередь те виды работ, которые преобладают в общем балансе годовой занятости трактора, а размеры полей, их микрорельеф и длины гонов должны быть близкими к их средним значениям.

Программу и методику проведения испытаний составляют в соответствии с задачами. Несмотря на различие испытаний, в них должны отражаться содержание и объем всех этапов и последовательность их проведения. Указывается перечень приборов и оборудования, необходимых для испытаний, данные о персонале и его составе, распределение обязанностей и график проведения работ.

Многие виды испытаний тракторов стандартизованы, программы и методики их проведения также определены стандартами.

При разработке программы и методики следует использовать методы планирования эксперимента, которые позволяют с наименьшими затратами получить необходимые результаты. Эффективность испытания может быть повышена, если до начала их проведения спланировать эксперимент. Планирование эксперимента — это оптимальное управление экспериментом при неполном знании механизма явлений.

В области испытаний тракторов наряду с получением информации о состоянии испытываемого объекта проводятся эксперименты с целью получения математического описания того или иного процесса, выявления оптимальных условий его протекания и отыскания оптимальных параметров трактора, его сборочных единиц и систем.

При разработке программы и методики испытаний трактора должны быть решены три основные задачи — планирование, проведение и обработка результатов испытаний.

Объем и, следовательно, трудоемкость испытаний определяют количественными показателями: числом исследуемых параметров с учетом их сложности, количеством опытов, видом испытаний и т. д.

Рационально построенная система испытаний является эффективным средством ускорения создания и обработки моделей тракторов, их сборочных единиц, механизмов и систем, определения надежности разработанных конструкций.

2.4. ПОРЯДОК ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТРАКТОРА НА ИСПЫТАНИЕ

На испытание представляется необходимое количество тракторов. Часть образцов проходит испытания в испытывающей организации по полной программе, а остальные могут использоваться только для определения эксплуатационно-технических показателей.

В свою очередь часть тракторов, испытываемых в одной организации, подвергается лабораторно-полевым и эксплуатационно-технологическим испытаниям, а часть — испытаниям на надежность под нагрузкой в объеме 3000 ч. Объем лабораторно-полевых и эксплуатационно-технологических испытаний устанавливается программой для каждого отдельного случая.

Показатели испытываемого трактора следует определять методом сравнительных испытаний. Трактор-аналог должен быть серийного производства из числа наиболее эффективных по эксплуатационным показателям и, как правило, одного и того же тягового класса, типа и назначения. Отклонение по номинальному тяговому усилию не должно превышать 25%. Если тяговый класс вновь спроектированного трактора отличается от серийно выпускаемых, то его основные показатели, особенно эффективности и надежности, можно сравнивать с аналогичными показателями тракторов смежных тяговых классов.

Допускается проводить испытания без сравнения с трактором-аналогом при определении тех показателей, которые нормируются технической документацией.

На испытания представляются тракторы, изготовленные в соответствии с нормативной и технической документацией и прошедшие обкатку, при условии устранения всех недостатков, выявленных в предыдущих испытаниях.

С трактором представляется следующая техническая документация: паспорт трактора, руководство или инструкция завода-изготовителя по эксплуатации и уходу за трактором, комплект чертежей общих видов, узлов и основных деталей, каталог или спецификация трактора, ведомость размеров сопряженных деталей с чертежными допусками, ведомость инструмента и индивидуального комплекта запасных частей, руководство по разработке и сборке трактора, отчет об испытаниях, протокол испытания, проведенного заводом перед отправкой трактора, с указанием регулировок двигателя и сборочных единиц.

Трактористы должны быть ознакомлены с особенностями работы на испытываемом тракторе и пройти подготовку для приобретения навыков по управлению и техническому обслуживанию.

Тракторы подвергаются наружному осмотру и проверке сборочных единиц и механизмов в действии. Осмотр производится без

разборки механизмов. При наружном осмотре устанавливается комплектность трактора в целом, его оборудования, инструмента, запасных частей и технической документации. Проверяется также наличие видимых повреждений отдельных деталей, арматуры, декоративных изделий и течи уплотнений, некачественного выполнения сборки, сварочных швов, окраски и других дефектов, пломб на механизмах и сборочных единицах, подлежащих опломбированию.

Эксплуатация тракторов и агрегатируемых с ними машин при испытаниях, включая обкатку, проводится в соответствии с рекомендациями предприятий-изготовителей. При апробировании трактора на ходу проверяется: работа двигателя на различных оборотах с диагностикой шумов и стуков взаимодействующих деталей, сборочных единиц трансмиссии (механической, гидравлической или комбинированной), механизмов управления, механизма включения шкивов и валов отбора мощности, пневмо- и гидрооборудования и др. Осуществляется контроль качества топлив, масел и специальных охлаждающих жидкостей каждой поступающей партии.

При испытаниях должны быть предусмотрены меры, обеспечивающие безопасное проведение работ, в соответствии с технической документацией. Применяемые измерительные приборы, оборудование и аппаратура по точности измерений должны удовлетворять требованиям соответствующих стандартов, их проверка и тарировка осуществляются в соответствии с установленными правилами контроля.

Глава 3. ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА И ОБОРУДОВАНИЕ

3.1. ЗАМЕЛЯЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ТРЕБОВАНИЯ К АППАРАТУРЕ

При испытаниях тракторов, их сборочных единиц и систем измеряют силовые, кинематические, тепловые и другие параметры. Из силовых параметров основными являются: крутящие моменты на валу двигателя, на ведущих органах движителей или на валах их привода, на валах отбора мощности и др.; изгибающие моменты на полуосях, элементах рамы, рукавах полуосей и др.; усилия растяжения и сжатия — тяговое сопротивление, усилие в элементах навесных систем, болтовых соединений и др.; давление жидкости в элементах гидроприводов; давление ходовых систем на почву и др. Из кинематических параметров подлежат замеру частоты вращения коленчатого вала двигателя, ведущих колес, валов отбора мощности; линейные скорости, ускорения, перемещения и пройденный путь; угловые ускорения; колебания остова трактора и его элементов и т. д. Из тепловых параметров наиболее часто измеряют температуру окружающей среды, в которой работает элемент конструкции, масла в гидросистемах, температуру в элементах трения (фрикционных муфтах и тормозах, подшипниках скольжения) и др. При специальных исследованиях могут замеряться напряжения в элементах конструкции, износы пар трения и т. д.

Для получения достоверных результатов испытаний выбор измерительных устройств и составление измерительных схем должны производиться с учетом метрологических и динамических характеристик измерительных устройств. Под метрологическими характеристиками понимают гостимуемые числовые показатели точности прибора, которые определяют погрешность статических измерений, т. е. измерений величин, не изменяющихся во времени. Основными метрологическими характеристиками измерительного устройства являются класс точности, вариации показаний, чувствительность, пределы измерений и собственное потребление энергии.

Класс прибора показывает допустимую статическую погрешность при нормальных условиях (температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, атмосферном давлении (760 ± 20) мм рт. ст.).

Вариация показаний — наибольшее отличие показаний прибора от показаний образцового прибора при многократных повторных статических измерениях. Вариации характеризуют степень устойчивости показаний прибора.

Чувствительность — отношение приращения показания прибора $d\alpha$ к изменению dx измеряемой величины, вызвавшему это приращение:

$$S = d\alpha/dx.$$

Порог чувствительности — наименьшее значение измеряемой величины, которое может вызвать заметное отклонение указателя прибора при статическом испытании.

Пределы измерения — рабочий диапазон шкалы прибора.

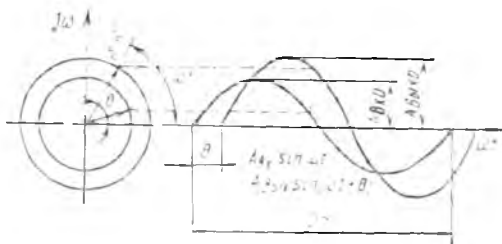


Рис. 3.1. Синусоидальный сигнал на входе и выходе системы и в комплексной плоскости



Рис. 3.2. Амплитудно-частотные характеристики

1—реальной системы с усилением;
2—идеального фильтра; $\omega_{ср}$ —частота среза; $\omega_{ф}$ —частота фильтрации

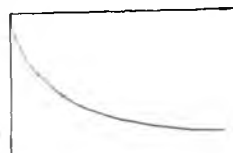


Рис. 3.3. Фазово-частотная характеристика

Собственное потребление энергии — это энергия, затрачиваемая на потери в самом приборе.

Динамическая характеристика прибора показывает амплитудные и фазовые искажения изменяющегося во времени сигнала при прохождении его через измерительную систему. Основными динамическими характеристиками являются характеристики переходного процесса, частотные характеристики (амплитудно-частотная, фазово-частотная и амплитудно-фазовая) и передаточная функция системы.

Характеристика переходного процесса — это график изменения сигнала на выходе системы при скачкообразном нарастании сигнала на входе до номинального значения.

Частотные характеристики отражают поведение прибора при различных входных воздействиях. Если на вход системы подавать синусоидальный сигнал (рис. 3.1)

$$x = A_{вх} \sin \omega t,$$

то на выходе получим сигнал другой амплитуды со сдвигом фаз:

$$y = A_{\text{вых}} \sin(\omega t + \theta),$$

где $A_{\text{вх}}$, $A_{\text{вых}}$ — амплитуды входного и выходного сигналов; ω — круговая частота колебаний сигнала; t — текущее время.

Поскольку колебания любой формы можно представить в виде суммы гармонических колебаний различной амплитуды и частоты, то прохождение гармонических колебаний через линейную систему (какими являются большинство измерительных систем) полностью характеризует ее поведение при воздействиях любого вида.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) — это зависимость изменения амплитуды сигнала при прохождении его через систему от частоты.

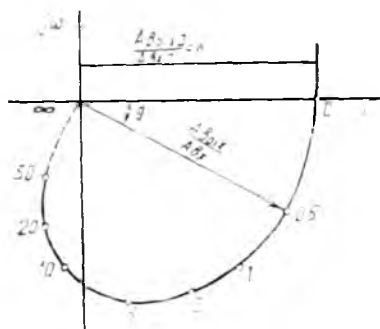


Рис. 3.4. Амплитудно-фазовая частотная характеристика

ты гармонических колебаний (рис. 3.2). Изменение амплитуды обычно характеризуют отношением амплитуды сигнала на выходе системы к амплитуде входного сигнала $A_{\text{вых}}/A_{\text{вх}}$. В реальных системах при неограниченном возрастании частоты входного сигнала происходит уменьшение амплитуды сигнала на выходе. При некоторой достаточно высокой частоте $A_{\text{вых}}/A_{\text{вх}}=1$ при коэффициенте усиления $k>1$. Эту частоту называют частотой среза. Диапазон частот, ограничиваемых частотой среза, называют полосой пропускаемых системой частот или полосой пропускания частот.

Фазово-частотная характеристика (ФЧХ) — это зависимость изменения фазы синусоидального колебательного сигнала при прохождении его через систему от частоты (рис. 3.3). Она характеризует инерционность системы, вызывающую задержку сигнала тем большую, чем выше частота его колебаний.

Амплитудно-фазовая характеристика (АФХ) — это объединенная амплитудно-частотная и фазово-частотная характеристика. Она представляет собой годограф с модулем $M(\omega) = \frac{A_{\text{вых}}}{A_{\text{вх}}}(\omega)$ и аргументом $\theta(\omega)$ (рис. 3.4) и определяет все динамические качества системы, работающей в условиях колебательных воздействий.

Переходная и частотные характеристики математически тесно связаны и могут быть получены друг из друга. Снятие частотных характеристик входит в обязательный объем подготовительных операций при использовании измерительных устройств.

Передаточная функция характеризует динамические свойства системы. Она связывает математически входной и выходной сигналами.

лы и может быть получена из дифференциального уравнения движения системы, записанного по Лапласу, как отношение изображения выходной величины $Y(p)$ к изображению входной $X(p)$:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}.$$

Откуда

$$Y(p) = W(p) X(p),$$

т. е. для получения изображения выходной величины необходимо умножить передаточную функцию на изображение входного сигнала.

Передаточная функция характеризует быстроедействие и переходный процесс измерительного устройства.

3.2. МЕТОДЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ

Общие положения. При испытаниях тракторов и их сборочных единиц приходится иметь дело с измерением механических величин: крутящих моментов, усилий, частот вращения, скоростей, ускорений, перемещений и др. На современном этапе развития измерительной техники эти величины преобразуются, как правило, в электрические сигналы, которые в процессе испытаний записываются на фотографическую или магнитную ленту.

Преобразователь механической величины в электрическую является одним из основных элементов измерительного прибора. Выбор преобразователя в значительной степени предопределяет выбор схемы усилительного устройства и блока питания. Более того, параметры измерительного устройства в первую очередь зависят от возможностей преобразователя. Поэтому выбору преобразователя следует уделять особое внимание.

По принципу действия преобразователи делятся на две основные группы: активные, или генераторные, и пассивные, или параметрические. В первых входная величина преобразуется непосредственно в электрический сигнал; во вторых электрические параметры изменяются в зависимости от сопротивлений, емкостей, частоты и т. д. К первому классу относятся, например, пьезоэлектрические и индукционные преобразователи, а ко второму — емкостные, индуктивные и др. В отличие от параметрических, питаемых от внешнего источника, активные преобразователи под воздействием измеряемой величины сами генерируют ЭДС.

Если непосредственное преобразование входной величины в выходную произвести не удается, применяется промежуточное преобразование (по типу тензометрических преобразователей), при котором под действием измеряемого параметра (например, силы) деформируется упругий элемент и тензодатчик, что приводит к изменению электрического сопротивления.

Преобразователь должен удовлетворять целому ряду требова-

ний; иметь достаточную чувствительность и удовлетворительную стабильность, допускать широкий диапазон изменений входной величины, согласовываться с измерительной аппаратурой и не должен оказывать заметного влияния на измеряемую величину.

Для измерения одной и той же механической величины могут быть использованы датчики с различными принципами преобразования, не всегда равнозначные по обеспечению точности и т. д. Поэтому в дальнейшем будут рассматриваться только преобразователи и датчики простые, надежные и достаточно апробированные.

Рассмотрим наиболее часто используемые преобразователи.

Реостатный преобразователь. Реостатный преобразователь представляет собой реостат, движок которого перемещается в соответствии с изменением измеряемой неэлектрической величины. Перемещение движка может быть линейным или угловым. Если оно возникает вследствие воздействия какого-либо промежуточного элемента (например, мембраны или поршня), то входной величиной может быть давление, усилие, ускорение и т. д. Выходной величиной реостатных преобразователей является активное сопротивление, изменяющееся в зависимости от перемещения движка линейно или по некоторому закону.

Реостатные преобразователи изготавливают либо в виде намотанных на каркас обмоток, либо реоходного типа. Для изготовления реостатов обычно применяют константановые и манганиновые проволоки.

Каркас преобразователя выполняют из текстолита, стеклотекстолита или пресс-порошка; применяют также каркасы из алюминиевых сплавов, покрытых изоляционным лаком или оксидной пленкой. Последние более термоустойчивы и позволяют за счет лучшей теплопроводности увеличить плотность тока в обмотке и тем самым повысить чувствительность преобразователя. Каркасы имеют вид плоской или цилиндрической пластины, плоского или цилиндрического кольца, плоского сегмента и т. д.

Индуктивное и емкостное сопротивления реостатных преобразователей обычно весьма малы, вследствие чего реактивное сопротивление можно не принимать во внимание до частот порядка нескольких десятков тысяч герц.

Недостаток реостатных преобразователей в том, что они дискретные (за исключением преобразователей реоходного типа), поскольку непрерывному изменению измеряемой величины соответствует ступенчатое изменение сопротивления, равное сопротивлению одного витка. Это вызывает определенную погрешность измерения, уменьшающуюся с увеличением числа витков преобразователя. Обще число витков преобразователя должно быть не менее 100...200.

Наиболее распространенные схемы включения реостатных преобразователей показаны на рис. 3,5, а—д. Недостатком первых трех схем является нелинейная зависимость тока от перемещения движка. Степень нелинейности зависит от соотношения внутренне-

го сопротивления гальванометра R_r , добавочного сопротивления R_1 и сопротивления преобразователя R . Лишь при $R_r \rightarrow \infty$, например в случае использования лампового вольтметра с большим входным сопротивлением или в потенциометрических схемах (см. рис. 3.5, б, в), связь между выходным напряжением $U_{\text{вых}}$ и смещением l_1 становится линейной:

$$U_{\text{вых}} = U \cdot \frac{R}{R - R_1} \cdot \frac{l_1}{l}.$$

Нелинейность мостовых схем (см. рис. 3.5, г, д) обычно невелика. Наряду с большей чувствительностью (по сравнению с пер-

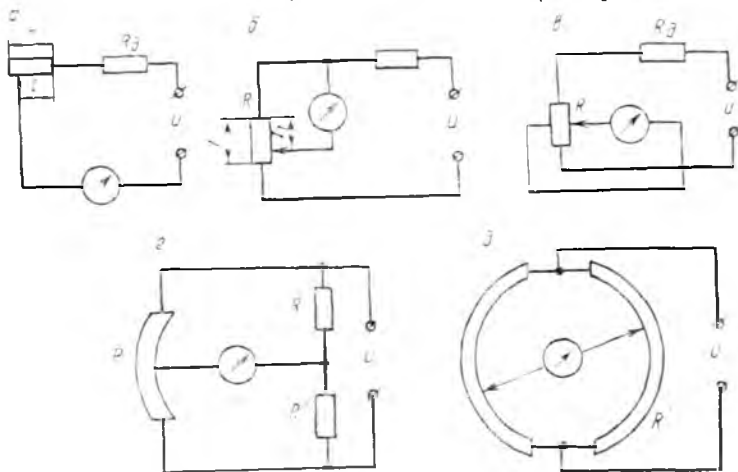


Рис. 3.5. Схемы включения реостатных преобразователей

выми тремя схемами) это также является причиной их преимущественного распространения.

Тензорезисторы. Широкое распространение в качестве измерительных преобразователей получили тензорезисторы. Принцип их работы основан на свойстве материалов изменять свое электрическое сопротивление под воздействием приложенной к ним растягивающей или сжимающей силы. Преимущество тензорезисторов в их малых размерах и массе, в возможности измерения статических и динамических деформаций и т. д.

В настоящее время в практике измерений используются проволочные, фольговые и полупроводниковые тензорезисторы.

Проволочные тензорезисторы представляют собой отрезок проволоки, концы которой (или весь отрезок) жестко закрепляются с помощью клея или цемента на упругодеформируемой детали. Сжатие или растяжение последней вызывает пропорциональное сжатие и растяжение проволоки, в результате чего изменяются ее длина, поперечное сечение и удельное электрическое сопротивление, и это приводит в конечном итоге к изменению электрическо-

го сопротивления проволоки. Так, если в исходном состоянии электрическое сопротивление проволоки

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где ρ — удельное электрическое сопротивление материала проволоки, l — начальная длина деформируемого участка проволоки, S — площадь ее сечения, то при растяжении проволоки ее сопротивление изменится на ΔR и составит $R + \Delta R$.

Относительное изменение сопротивления тензорезистора определяется соотношением

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

где Δl — изменение длины; μ — коэффициент Пуассона; $\Delta \rho$ — изменение удельного электрического сопротивления.

Частное от деления относительного изменения сопротивления тензорезистора на относительное изменение длины проводника в пределах упругой деформации характеризуется постоянной величиной:

$$\frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} = \frac{\Delta R/R}{\epsilon} = K,$$

где ϵ — относительная деформация преобразователя.

Коэффициент тензочувствительности K зависит от свойств материала тензорезистора и технологии его изготовления. Большое влияние на тензочувствительность оказывает качество подложки (основы) и клея.

Для изготовления проволоочных тензорезисторов применяют материалы, имеющие высокий коэффициент тензочувствительности и малый температурный коэффициент сопротивления. Наиболее употребима для изготовления тензорезисторов константановая проволока диаметром 0,02...0,03 мм.

Проволоочные тензорезисторы представляют собой спираль 2 из нескольких петель проволоки, наклеенной на тонкую бумажную или лаковую (пленочную) основу 1. Сверху ее закрывают такой же тонкой бумагой или пленкой 3 (рис. 3.6). В качестве основы для пленки используют бакелитовый лак, клей БФ-2 и специальные композиции. Резисторы, изготовленные на пленке из клея БФ-2, способны работать в диапазоне температур от -40 до $+70^\circ\text{C}$, а на бакелитовом лаке — до 200°C .

Обозначение тензорезисторов, например 2ПКБ-5-50Х(Г) или 2ПКП-5-50, осуществляется следующим образом: первая буква указывает на то, что решетка выполнена из проволоки; материал тензорешетки представлен второй буквой (К—константан); третья буква определяет основу (Б — бумажная, П — пленочная); далее следуют размер базы и номинальное сопротивление решетки. Последняя буква, например у резисторов серии ПКБ, характеризует

температуру наклейки (X — не более 30°C , Γ — не более 180°C).

Коэффициент тензочувствительности K всех тензорезисторов равен $2 \pm 0,2$. Номинальный рабочий ток (при наклейке на металлические детали) составляет примерно 30 мА (точное значение указывается в паспорте). Максимальные допускаемые относительные деформации не превышают $0,3\%$.

Из рис. 3.6 видно, что радиусы изгиба петель малые, однако при деформировании спирали в поперечном направлении это приводит к появлению поперечной чувствительности, которая у проволочных тензорезисторов составляет 2% продольной и в большинстве случаев может не учитываться.

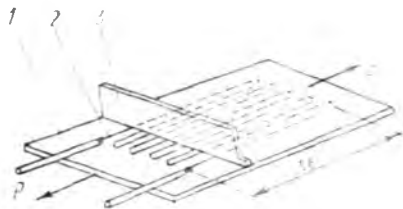


Рис. 3.6. Конструкция проволочного тензорезистора

Иногда используются тензорезисторы, не имеющие подложки, со свободным подвесом проволоки. Основным их достоинством является большая стабильность показаний при длительных измерениях. Однако из-за сложности изготовления, требующего определенных навыков, применение таких тензорезисторов ограничено.

Фольговые тензорезисторы в отличие от проволочных имеют решетку из полосок фольги прямоугольного сечения толщиной $4 \dots 12\text{ мкм}$, которые наносят на лаковую основу. Благодаря большей площади контакта полосок фольгового тензорезистора с объектом измерения его теплоотдача значительно выше, чем проволочного, что позволяет увеличить силу тока, протекающего через резистор, до $0,5\text{ А}$ и тем самым повысить чувствительность тензопреобразователя.

Другим преимуществом фольговых тензорезисторов является возможность изготовления решеток сложного профиля (рис. 3.7), которые наиболее полно удовлетворяют условиям измерений. Так, прямоугольные решетки (см. рис. 3.7, а, г) больше подходят для измерения линейных деформаций, розеточные (см. рис. 3.7, б, д) — для крутящих моментов на круглых валах, а мембранные (см. рис. 3.7, в, е) — для наклейки на мембраны.

Обозначение фольговых тензорезисторов, например, $2\text{ФКПА-100X}(\Gamma)$, $2\text{ФКРГ-10-100X}(\Gamma)$ или $2\text{ФКМВ-10-100X}(\Gamma)$: Φ — фольговая тензорешетка; K — константан; Π — тип решетки прямоугольной, P — розеточный, M — мембранный; $A, B, \Gamma, Д$ — подтип (конструктивные особенности); база, номинальное сопротивление и температура наклейки (X — не более 30°C , Γ — не более 180°C).

Тензочувствительность фольговых тензорезисторов такая же, как проволочных ($K = 2,1 \pm 0,25$), предел измеряемых деформаций $0,3\%$; температурный диапазон измерений от -40 до $+70^\circ\text{C}$. Рабо-

чий ток тензорезисторов разных типов находится в пределах 15... 80 мА и приводится в их паспортах.

Наряду с указанными тензорезисторами широкое распространение получили термокомпенсированные фольговые преобразователи типа ФКТК, аналогичные преобразователям 2ФКПА. Однако технология их изготовления такова, что в собранном виде они име-

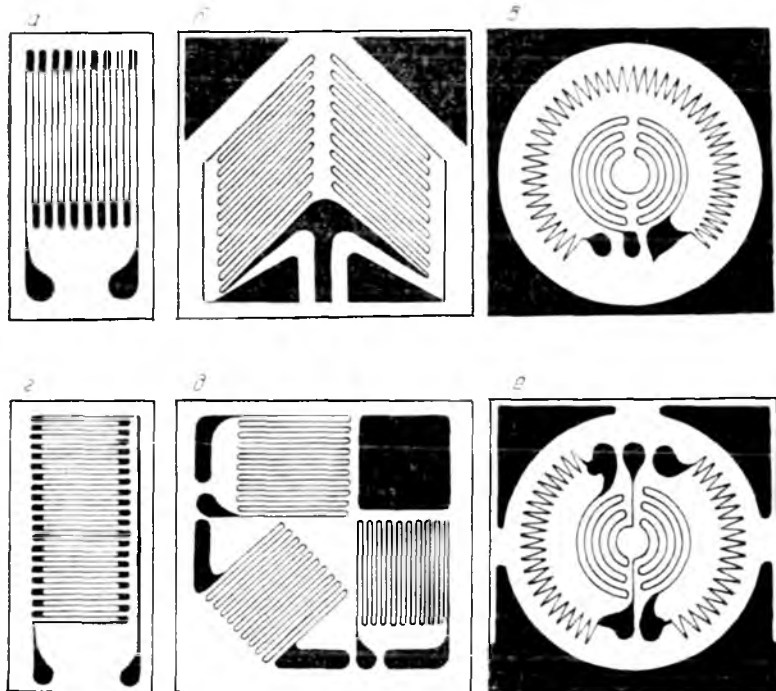


Рис. 3.7. Конструкции фольговых тензорезисторов:
а—2ФКПА; б—2ФКПД; в—2ФКПВ; г—2ФКРГ; д—2ФКМВ; е—2ФКМГ

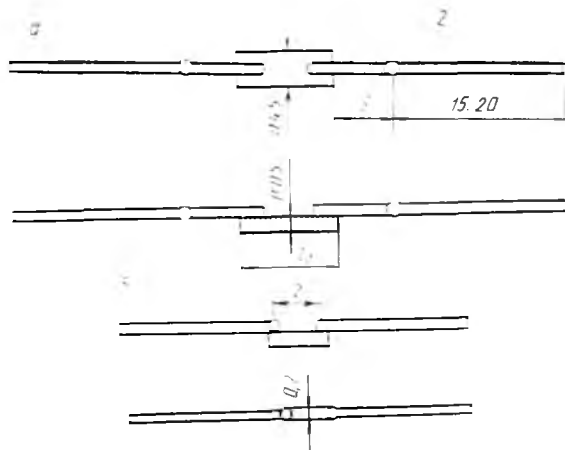
ют примерно такой же температурный коэффициент, что и материал.

Температурный диапазон тензорезисторов 1ФКТК и 2ФКТК меняется от -50 до $+50$ °С, а 3ФКТК — от 10 до 200 °С; предельная измеряемая относительная деформация не превышает 0,3%.

Для измерения деформаций в области краевых эффектов или местах концентрации напряжений, а также на микродеталях разработаны и выпускаются малобазные проволочные тензорезисторы типа МПБ. Малая база, отсутствие поперечной чувствительности и относительно небольшая жесткость позволяют применять их в тонкостенных конструкциях и производить тензометрирование деталей из материалов с малым модулем упругости.

Размеры тензорезисторов МПБ равны $4,6 \times 2$ мм, рабочий ток — не более 4 мА, предельная измеряемая деформация не превышает 0,1%.

Полупроводниковые тензорезисторы. По сравнению с рассмотренными выше полупроводниковые тензорезисторы имеют ряд существенных преимуществ: их чувствительность в 50...60 раз превышает чувствительность проволоочных; размеры существенно меньше, а высокий уровень выходного сигнала измерительных схем в ряде случаев не требует применения сложных и дорогих усилителей. Кроме того, сопротивление тензорезистора при одних и тех же



Р и с. 3.8. Конструкции полупроводниковых тензорезисторов:

а—серии КТЭ и КТД; б—серии Ю-8

размерах путем добавления соответствующих присадок и изменения технологии изготовления может меняться в широких пределах (от 100 Ом до 50 кОм) при коэффициенте тензочувствительности от -100 до $+200$.

Основным отличием полупроводниковых тензорезисторов от проволоочных является большее изменение сопротивления тензопреобразователя при деформировании. Для их изготовления применяют в основном кремний и германий, отличающиеся высокой тензочувствительностью, химической инертностью, способностью выдерживать нагрев до $500...540^{\circ}\text{C}$. Эти материалы позволяют получать тензорезисторы различной формы.

Свойства и характеристики полупроводниковых тензорезисторов определяются материалом, кристаллографическим направлением, удельным сопротивлением и типом проводимости. Знак тензоэффекта (при растяжении) в полупроводниках n -типа отрицательный, а p -типа — положительный.

Конструкции серийно выпускаемых полупроводниковых тензорезисторов приведены на рис. 3.8. Из рис. 3.8, а видно, что вывод тензорезистора имеет два участка 1 и 2. Первый (полоска из золота) служит для сварки с полупроводником, а с помощью второго (из меди) осуществляется монтаж в схемах.

Тензорезисторы типа КТД имеют проводимость p -типа, а КТЭ — n -типа. Коэффициент тензочувствительности указанных тензорезисторов равен 120 ± 20 ; номинальный ток 15 мА; рабочий диапазон температур от -160 до $+300$ °С. Температурный коэффициент тензочувствительности при диапазоне температур от 0 до 80 °С не превышает 0,4%/1 °С для полупроводника n -типа и 0,25%/1 °С — для полупроводника p -типа. Линейность изменения сопротивления сохраняется при относительных деформациях до 0,1%, а предельная деформация не превышает 0,4%. Масса тензорезистора — 6 мг.

Для измерения деформаций в условиях повышенной концентрации напряжений могут быть использованы малогабаритные кремниевые тензорезисторы серии Ю-8 с базой, равной 2 мм (рис. 3.8, б), или Ю-12 гантельного типа.

Коэффициент тензочувствительности малогабаритных кремниевых тензорезисторов составляет 100 ± 10 ; номинальный рабочий ток 15 мА, максимальный (при наклейке на стальную балку) — 100 мА; предельно допустимая деформация 0,3%. Тензорезисторы рассчитаны на работу в диапазоне температур от -60 до $+115$ °С. Наклеивают их на исследуемую поверхность с помощью лака ВЛ-931.

К недостаткам полупроводниковых тензорезисторов следует отнести их малые механическую прочность и гибкость. (В настоящее время ведутся работы по созданию гибких пленочных тензорезисторов.) Большую тензочувствительность этих тензорезисторов реализовать сложно из-за нелинейности характеристики, высокой чувствительности к воздействию внешних условий (температуры, осевания и т. д.) и существенного отличия характеристик.

Емкостный преобразователь. В его основу положена зависимость емкости электрического конденсатора от измеряемой величины. Емкость (пФ) плоского конденсатора определяется соотношением

$$C = 0,08 \frac{\epsilon F}{s},$$

где ϵ — относительная диэлектрическая проницаемость (для воздуха $\epsilon = 1$), пФ/см; F — площадь обкладок, составляющих конденсатор, см²; s — толщина диэлектрика (или зазора), см.

В зависимости от того, на какой параметр воздействует измеряемая величина, емкостный преобразователь может работать с изменением площади F , расстояния между пластинами s или диэлектрической проницаемости ϵ .

Датчики, в которых преобразование измеряемой величины происходит за счет изменения площади (рис. 3.9, а), наиболее применимы для измерения линейного перемещения.

Если обозначить емкость в начале процесса C_0 , а в момент измерения C_1 , то изменение емкости

$$\Delta C = C_0 - C_1 = 0,08 \frac{\epsilon}{s} \Delta F.$$

Если считать (как это делалось при рассмотрении работы тензорезисторов), что относительное изменение используемого параметра преобразователя в известной степени характеризует коэффициент преобразования, то в емкостных преобразователях с переменной площадью

$$\Delta C/C = \Delta F/F,$$

т. е. будет тем больше, чем больше относительное изменение площади измерительного конденсатора при единичном изменении входного сигнала.

Наряду с плоскими конденсаторами для измерения перемещения широко применяются цилиндрические (рис. 3.9, б), в которых име-

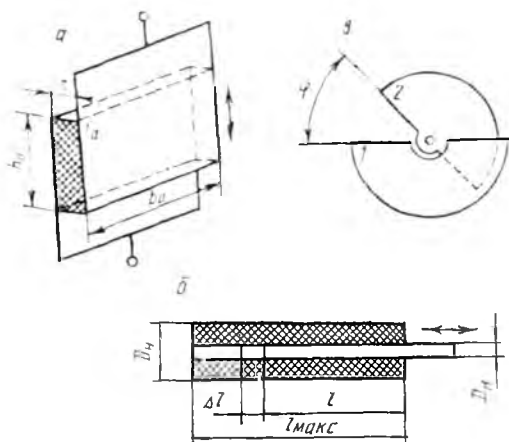


Рис. 3.9. Емкостные преобразователи с изменяемой площадью:

а—плоский; б—цилиндрический; в—вращающийся

ются два концентрических цилиндра, сдвигаемые друг относительно друга. Внутренний цилиндр диаметром 2...4 мм отделен от внешнего изоляционным слоем с большой диэлектрической проницаемостью ϵ . Емкость цилиндрического конденсатора

$$C = 0,088 \frac{2\pi \epsilon l}{\ln(D_H/D_B)},$$

а изменение емкости при смещении на Δl

$$\Delta C = 0,088 \frac{2\pi \epsilon}{\ln(D_H/D_B)} \Delta l.$$

Таким образом, во всех случаях наблюдается линейная зависимость между изменением емкости ΔC и изменением площади ΔF или перемещения Δl .

При измерениях, связанных с вращением или поворотом исследуемого узла, используются преобразователи, подобные переменным конденсаторам. Статор I этих конденсаторов (рис. 3.9, в)

обычно жестко закрепляется на неподвижной детали, а ротор 2 жестко связывается с узлом, угол поворота которого подлежит измерению.

Характеристика такого преобразователя определяется формулой

$$C = C_0 + 0,088 \frac{eq\psi}{s},$$

где C_0 — начальная емкость преобразователя; φ — угол поворота подвижных пластин относительно неподвижных; ψ — изменение площади на единицу угла поворота.

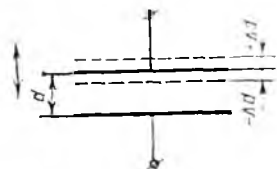


Рис. 3.10. Емкостный преобразователь с переменным зазором

Наиболее удобны преобразователи с линейной зависимостью изменения емкости, а в случае применения частотной модуляции — с линейной зависимостью изменения частоты.

Принцип действия преобразователя с переменным зазором показан на рис. 3.10. Найдем абсолютное изменение емкости:

$$\Delta C = 0,088 \frac{\Delta F}{d} \frac{\Delta d}{d \pm \Delta d},$$

а относительное изменение

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta d}{d \pm \Delta d}$$

(в уравнениях знак «плюс» соответствует уменьшению емкости, а «минус» — увеличению).

При изменении зазора не более чем на 5% ($\Delta d_{\max} = \pm 0,05 d$) относительное изменение емкости практически равно относительному изменению зазора, независимо от направления перемещения подвижного электрода.

Индуктивный преобразователь. Это дроссель с изменяющимся воздушным зазором δ (рис. 3.11, а) или площадью F поперечного сечения магнитопровода (рис. 3.11, б). В качестве выходного параметра в нем выступает изменение индуктивности (или полного сопротивления Z) обмотки, надетой на сердечник.

При небольшом зазоре δ индуктивность дросселя с переменным зазором (без учета реактивного сопротивления, обусловленного потерями на вихревые токи и гистерезис)

$$L = \frac{n^2}{R_{\text{ж}} + R_0} = \frac{n^2}{l_{\text{ж}}/(\mu_{\text{ж}}F) + 2\delta/(\mu_0 F_0)}$$

где n — число витков обмотки; $R_{\text{ж}}$, R_0 — магнитное сопротивление соответственно сердечника и воздушного зазора; $l_{\text{ж}}$ — средняя длина магнитной силовой линии в ярме и якоре; F , F_0 — площадь сечения соответственно сердечника и воздушного зазора; $\mu_{\text{ж}}$, μ_0 —

магнитная проницаемость материала сердечника и воздушного зазора.

Когда магнитное сопротивление воздушного зазора значительно больше магнитного сопротивления магнитопровода, т. е. $R_0 \gg R_{ж}$,

$$L = \frac{n^2 F_0 \mu_0}{2\delta}.$$

Отсюда видно, что зависимость индуктивности катушки L от

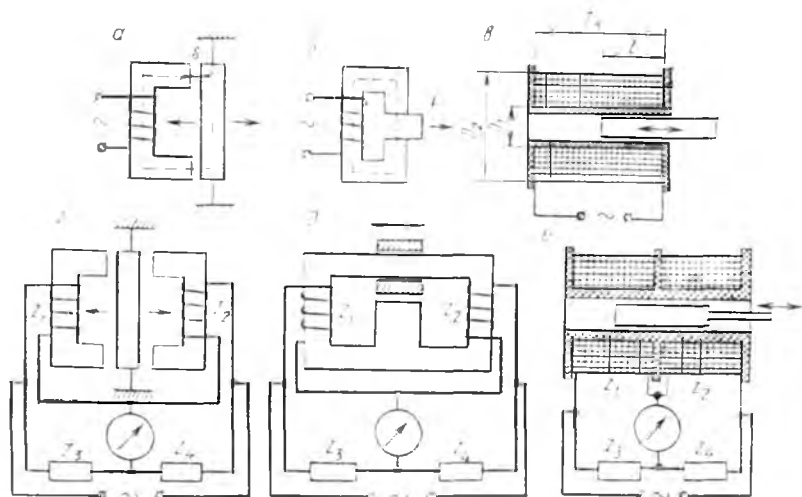


Рис. 3.11. Схемы индуктивных преобразователей:

а, б—с переменным зазором; *б, д*—с переменной площадью; *в, е*—соленоидного типа

зазора δ нелинейна. Удовлетворительная линейность имеет место при условии, что $\Delta\delta \ll \delta$ и

$$\frac{2\delta}{\mu_0 F_0} \gg \frac{I_{ж}}{\mu F}.$$

Полное сопротивление обмотки преобразователя на частоте ω

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2},$$

где R — активная составляющая сопротивления; ω — круговая частота переменного тока.

Соответственно ток в обмотке

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}.$$

Таким образом, относительное изменение Z и I будет тем больше, чем меньше сопротивление R , т. е. чем выше $Q = \omega L/R$.

Чувствительность индуктивного преобразователя

$$S_L = \frac{n^2 \mu_0 F_0}{2\delta^2}$$

и, как видно, обратно пропорциональна квадрату зазора. Поэтому индуктивные преобразователи особенно чувствительны при малых зазорах и реагируют при его изменении на 0,1...0,5 мкм. Диапазон измерений перемещений индуктивными преобразователями с переменным зазором меняется от 0,01 до 2 мм. При большем зазоре зависимость $L=f(\delta)$ становится нелинейной. Поэтому при измерении больших перемещений (до 5...8 мм) используют преобразова-

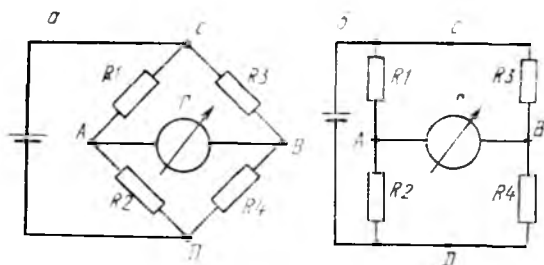


Рис. 3.12. Мостовые измерительные схемы

тели с регулируемой площадью (см. рис. 3.11, б, д), которые имеют большую линейность.

Распространены также индуктивные преобразователи соленоидного типа с разомкнутой магнитной цепью (см. рис. 3.11, в, е). Изменение индуктивности обмотки вызывается в них перемещением в катушке ферромагнитного сердечника. При введении внутрь катушки сердечника ее индуктивность изменяется приблизительно пропорционально массе сердечника:

$$L = \mu_{\text{ж}} \omega^2 (D_2 - D_1) \frac{l}{l_{\text{ж}}},$$

где D_1 , D_2 — внутренний и наружный диаметры катушки; $l_{\text{ж}}$ — длина катушки; l — длина введенного в отверстие катушки ферромагнитного сердечника.

Преимущество соленоидных преобразователей в возможности измерения больших (до 50...60 мм) перемещений.

Существенный недостаток рассмотренных преобразователей — наличие на выходе значительного начального сигнала. Для его компенсации применяют мостовые (см. рис. 3.11, г, д, е) или дифференциальные схемы (их обмотки включены встречно), имеющие более широкий линейный участок рабочей характеристики, большую чувствительность и меньшую погрешность измерения.

Принцип работы мостовых измерительных схем. Для преобразования изменений сопротивления тензорезистора в изменения электрического тока используют мостовую измерительную схему. Мостовая схема изображается в виде ромба (рис. 3.12, а) или прямоугольника (рис. 3.12, б). На диагональ CD подается напряжение питания (питающая диагональ), а в AB включается гальванометр или усилитель (измерительная диагональ). Каждое из четырех сопротивлений мостовой схемы называют плечом моста.

Пары датчиков R_1 и R_2 , а также R_3 и R_4 являются полумостами. Часто бывает так, что один полумост (R_3 и R_4) устанавливается в самом приборе, а для измерения применяется выносной полумост (R_1 и R_2).

В практике тензометрирования, как правило, принимают

$$R_1/R_2 = R_3/R_4 = 1, \quad R_1 = R_2 \quad \text{и} \quad R_3 = R_4,$$

т. е. в полумостах сопротивления плеч равны.

После подсоединения моста к источнику питания он редко оказывается точно сбалансированным. Объясняется это тем, что тензорезисторы имеют небольшие отклонения по сопротивлению R_d , поэтому любой тензометрический мост снабжается балансирующим устройством. В простейшем виде — это обычный переменный резистор. Мост балансируют изменением положения ползунка $R_{бал}$. Сопротивление резистора $R_{бал}$ в десятки раз больше R_d , поэтому не оказывает значительного шунтирующего влияния на сами тензорезисторы.

В тензометрическом мосте может быть один активный тензорезистор, а остальные, необходимые для создания мостовой схемы, — пассивные, или компенсационные. Если оба тензорезистора моста R_1 и R_2 сделать активными, причем они должны подвергаться равнозначному деформированию (один — сжатию, другой — растяжению), то в измерительной диагонали ток будет в 2 раза больше. При четырех активных тензорезисторах (R_1 и R_4 подвергаются деформированию одного знака, R_2 и R_3 — другого) ток в измерительной диагонали будет в 4 раза больше, чем при одном активном.

Различают два метода измерений. Для мостовых схем применяют нулевой метод (исключительно для статических измерений) и метод разбалансировки, или отклонения (преимущественно для динамических измерений). При нулевом методе мост устанавливается на нуль дважды: первый раз перед измерением, а второй — в процессе измерения. Приборы, принцип действия которых основан на нулевом методе, называются статическими тензомерами. При измерениях методом разбаланса мост балансируется на нуль один раз, когда деталь не нагружена. При нагружении детали возникает ток разбаланса, который и используется для приведения в действие гальванометра магнитоэлектрического осциллографа. Нулевой метод позволяет получить более высокую точность измерений.

Питание измерительных мостов осуществляется постоянным и переменным током, соответственно различаются мосты постоянного и переменного тока.

При обработке результатов тензоизмерений часто возникает необходимость суммировать или вычитать найденные значения величин или исключать влияние тех или иных факторов. Свойства мостовых схем позволяют производить такие действия автоматически, путем сложения соответствующих тензоэффектов.

При пользовании полным мостом тензосигналы от двух тензорезисторов, включенных в противоположные плечи моста (R_1 и R_3

или R_2 и R_4), складываются, а от включенных в смежные плечи (R_1 и R_2 или R_3 и R_4) вычитаются. Сложение тензосигналов относится только к полному мосту, тогда как вычитание справедливо и для полумостов.

3.3. РЕГИСТРИРУЮЩАЯ И УСИЛИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

Общие сведения. При испытаниях тракторов и их сборочных единиц электрические сигналы, поступающие от измерительных устройств, подаются непосредственно на регистрирующее устройство, если их мощность достаточна для этого, или предварительно усиливаются.

Для регистрации измеряемых параметров применяются магнитоэлектрические светолучевые осциллографы и магнитографы, для усиления сигналов измерительных устройств — тензометрические усилители. Особенность указанной регистрирующей и усилительной аппаратуры в том, что она позволяет вести одновременную запись параметров нескольких исследуемых процессов.

Осциллографы. Магнитоэлектрический осциллограф включает пять функциональных устройств: гальванометр, преобразующий колебания электрического сигнала в колебания светового луча; оптическую систему для образования и передачи светового луча; механизм развертки; лентопротяжный механизм с кассетой для светочувствительной бумаги или киноплёнки; устройство для отметки времени на осциллографе.

Принципиальная схема магнитоэлектрического осциллографа приведена на рис. 3.13. Основными его рабочими элементами являются рамочные гальванометры, включаемые в измерительные диагонали электрических мостов. (На схеме показан только один

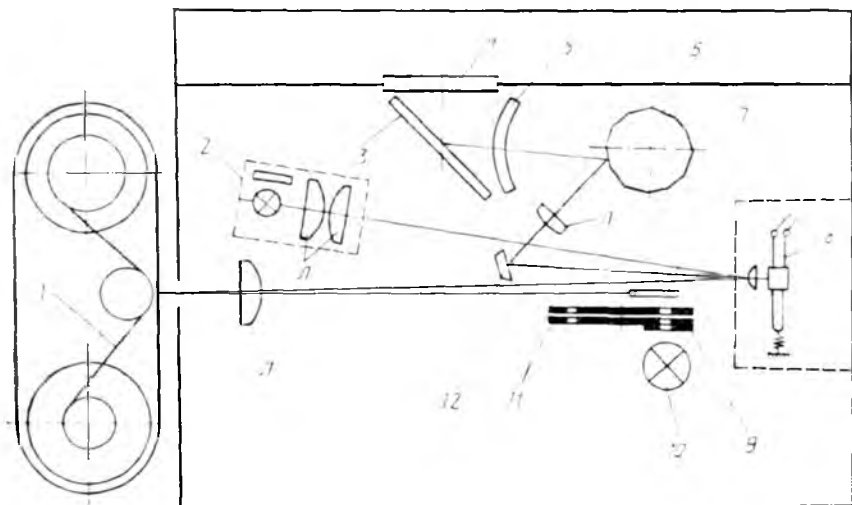


Рис. 3.13. Принципиальная оптическая схема магнитоэлектрического осциллографа

Табл. 3.1. Технические характеристики осциллографов

Показатель	Осциллограф		
	Н-700	Н-104	К-20-21
Количество гальванометров	14	20	20
Ширина фотоленты, мм	120	200	190
Длина фотоленты, м	12	20	30
Скорость протяжки ленты, мм/с	2,5...2500	1...2500	1...2500
Число скоростей протяжки ленты	5	8	8
Напряжение питания постоянным током, В	24	24	27
Масса, кг	18	29	27

канал осциллографа с гальванометром 8.) Они расположены в поле постоянного магнита, и к каждому из них прикреплено зеркальце площадью около 1 мм². Луч света, источником которого является лампа 2, пройдя через систему линз, попадает на зеркальце и, отразившись от него, поступает на движущуюся светочувствительную ленту 1. Положение световой точки на ленте зависит от положения зеркальца. В свою очередь положение зеркальца зависит от силы тока, проходящего по проволочной петле гальванометра, так как изменение его вызывает соответствующее отклонение проволоки в магнитном поле, в результате чего зеркальце поворачивается на угол, пропорциональный проходящему току, т. е. на угол, пропорциональный деформации тензорезистора. Таким образом, световой луч перемещается в плоскости, перпендикулярной к чертежу, и записывает на ленте кривую измеряемого параметра.

Одновременно часть светового луча, идущего от гальванометра, отсекается зеркалом 12 и направляется на вращающийся многогранный зеркальный барабан 6. Отражаясь от граней барабана, луч падает на цилиндрический матовый экран 5 и дает на нем изображение исследуемой кривой. Кривая видна в зеркале 3, за ней можно наблюдать через защитное стекло 4.

Осциллограф снабжен отметчиком времени, основным элементом которого является электрический мотор со стабилизированной частотой вращения. Мотор вращает два диска 11 со щелями. Под дисками расположена неподвижная щелевая диафрагма 9, освещаемая лампой 10. Через определенные интервалы времени щели на вращающихся дисках совмещаются со щелью диафрагмы. Сквозь них проходит световой луч, который через систему зеркал 7 попадает на линзу, расположенную перед лентопротяжным механизмом, и фокусируется на диаграмме в виде тонкой поперечной линии. Смещая один вращающийся диск относительно другого, можно менять частоту отметок. Линзы, установленные в различных местах осциллографа, обозначены буквой Л.

Основные технические характеристики осциллографов, наиболее часто применяемых при испытаниях тракторов, приведены в табл. 3.1.

Для измерения динамических процессов с минимальными погрешностями основная частота исследуемого процесса должна

Табл. 3.2. Технические характеристики гальванометров осциллографа Н-700

Показатель	Гальванометр				
	М001.1А	М001.2	М001.3	М01.4	М01.5
Собственная частота, Гц	120	400	1200	2500	5000
Рабочий диапазон частот, Гц	0...40	0...200	0...400	0...800	0...1700
Чувствительность, мм _г (мА·м)	1400	270	35	6	1
Спротивление, Ом:					
внутреннее	35±7	50±10	13±4	15±3	8±1,5
внешнее	180	30	—	—	—
Максимально допустимая сила тока, мА	0,3	1,5	12	60	100

быть в 5...10 раз меньше частоты собственных колебаний гальванометра. Технические характеристики гальванометров наиболее распространенного осциллографа Н-700 приведены в табл. 3.2.

Магнитографы. В практике измерений различных параметров при испытаниях тракторов все чаще используются регистраторы различных типов с ферромагнитной лентой в качестве носителя информации. Полученная магнитная запись для обработки вводится в электронные анализаторы, ЭВМ и вычислительные устройства. При необходимости она может быть воспроизведена с помощью электронного осциллоскопа или переписана на фотоленту. Магнитографы также упрощают сравнительно сложную техническую и математическую обработку параметров быстропротекающих случайных процессов.

Из промышленных следует выделить магнитограф общего назначения НО-36 и РФ ВНИИВ Рижского филиала ВНИИВагоностроения (табл. 3.3).

В настоящее время магнитографы широко применяются в полевых измерительно-информационных комплексах, используемых при испытании тракторов на машиноиспытательных станциях, в НИИ и на предприятиях отрасли тракторостроения.

Усилители. В практике испытаний тракторов используются универсальные тензометрические усилители переменного тока, работающие на несущей частоте. Из них широко распространены четырехканальный усилитель ТА-5 и восьмиканальный 8АНЧ-7М.

Функциональная схема одного канала усилителя 8АНЧ-7М показана на рис. 3.14.

Ламповый генератор G несущей частоты, питаемый постоянным напряжением 270 В от блока питания SI , вырабатывает переменный ток с частотой 3500 Гц (несущая частота). Этот ток усиливается в усилителе мощности I и подается через трансформатор на полумост 2, который с датчиком D образует измерительный мост. Когда создается разбаланс моста, в его диагональ поступает напряжение несущей частоты, амплитуда которого изменяется пропорционально сопротивлению датчика с частотой, соответствующей частоте исследуемого процесса. Таким образом, на несущую

Табл. 3.3. Технические характеристики магнитографов

Параметр	Магнитограф	
	РФ ВНИИВ	НО-36
Количество дорожек	9	7
Ширина магнитной ленты, мм	35	12,7
Запас ленты в рулоне, м	320	750
Число скоростей записи	3	4
Скорость ленты, см/с	45,5...71,2	4,76...38,1
Колебания скорости, %	0,1	0,4
Скольжение, %	0,4	2
Полоса регистрируемых частот при максимальной скорости ленты, кГц:		
прямая запись (ПЗ)	0,04...12	0,3...16
запись с модуляцией (ЧИМ)	0...0,2	0...4
Динамический диапазон, дБ	40	26...38*
Неравномерность частотной характеристики, дБ:		
прямая запись	—	10
запись с модуляцией	5	3
Коэффициент гармоник, %	2	3
Наибольшее напряжение, В:		
входное	1	1,0 (ЧИМ); 0,01 (ПЗ)
выходное	10	5
Сопротивление, Ом:		
входное	2300	20 000 (ЧИМ); 50 000 (ПЗ)
выходное	30	100
Несущая частота модулятора, кГц	3	1,35...10,8*
Максимальная девиация частоты, %	+40	—40
Напряжение питания, В	220	220/27
Потребляемая мощность, Вт	2000	300
Габариты, мм	600×1100×1250	865×630×465
Масса, кг	200	109

* — значение определяется выбранной скоростью записи.

частоту накладывается частота исследуемого процесса. С измерительного моста теперь снимается напряжение несущей частоты, модулированное по амплитуде напряжением сигнала датчика.

Напряжение модулированной частоты подается в усилитель канала 3, а после усилителя — в фазочувствительный детектор 4. В последний одновременно от усилителя мощности подается напряжение несущей частоты, сдвинутое на полупериод по фазе. Это напряжение коммутирует работу диодов детектора 4, и он работает как выпрямитель, пропуская напряжение только одного знака.

Выпрямленный сигнал модулированной частоты от детектора 4 поступает на фильтр 5, который пропускает лишь напряжение низкой частоты и выделяет таким образом усиленное напряжение сигнала датчика, подаваемое на осциллограф.

Табл. 3.4. Технические характеристики усилителей

Параметр	8АНЧ-7М	ТА-5
Количество каналов усиления (число одновременно усиливаемых процессов)	8	4
Несущая частота, кГц	3,5	7
Диапазон регистрируемых частот, Гц	0...500	0...1000
Максимальный выходной ток, мА	30	30
Нелинейность амплитудной характеристики, %	± 1	± 1 ; на пределе $0,25 \times 10^3 \pm 3$
Погрешность частотной характеристики, %	± 3 (относительно 100 Гц)	± 3 (относительно 200 Гц)
Сопротивление тензорезисторов, Ом	200...400	100...400
Источник питания	115 В; 400 Гц 110/220 В; 50 Гц	115 В; 400 Гц 110/220В; 50 Гц
Максимальная потребляемая мощность, Вт	270	120
Допускаемое отклонение напряжения питания, %	± 10	± 10
Масса, кг:		
усилителя	45	15
блока питания	15,5	—
Длина кабелей от усилителя до тензорезисторов, м	15	15

во T , которое при необходимости подает масштабный сигнал в канал.

На рис. 3.15 показана принципиальная электрическая схема одного канала усилителя 8АНЧ-7М.

Технические характеристики усилителей приведены в табл. 3.4.

3.4. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЯГОВОГО УСИЛИЯ

Для измерения тягового усилия на крюке трактора используют динамографы. Они состоят из силового звена, воспринимающего замеряемое усилие, и регистрирующего механизма, записывающего значения тяговых усилий на движущейся ленте. Получающаяся диаграмма называется тяговой. При испытаниях тракторов применяются преимущественно гидравлические и электрические динамографы.

Из гидравлических динамографов наиболее распространены приборы, выполненные по схеме, приведенной на рис. 3.16. Силовое звено **б** у них состоит из цилиндра с поршнем, пространство между которыми заполнено маслом. Под действием тягового усилия $P_{\text{тр}}$ масло сжимается и давит на плунжерный манометр **5**. Плунжер упирается в рамку **4**, подвешенную на пружине. Опускаясь под давлением масла, он перемещает рамку вместе со стрелкой **3** ре-

гистрирующего механизма на отрезок, пропорциональный замеряемой силе $P_{кр}$. Конеч стрелки воспроизводит перемещение рамки в увеличенном масштабе на градуированной шкале 9, по которой ведется визуальное наблюдение за тяговой нагрузкой. Одновременно на движущейся бумажной ленте динамографа игла 1 пишет тяговую диаграмму. Лента подается перпендикулярно к направлению движения иглы лентопротяжным механизмом. Привод осуществляется гибким валом 8. Игла 2 пишет на ленте нулевую линию.

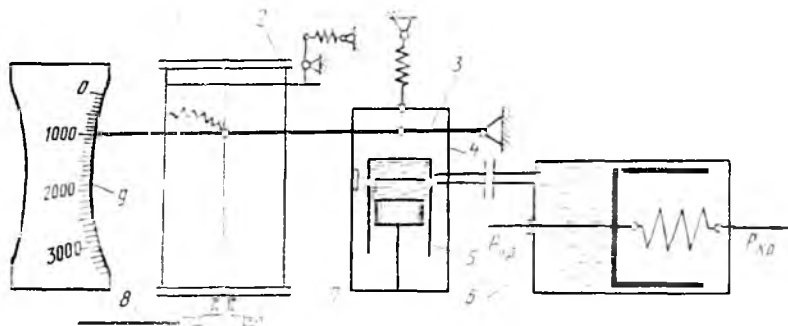


Рис. 3.16. Принципиальная схема гидравлического тягового динамографа

Игольчатый клапан 7 служит для дросселирования масла и гашения таким образом колебаний давлений в манометре.

Полученные тяговые диаграммы обрабатывают для определения средних значений тягового усилия. Так как длина диаграммы при надлежащем приводе лентопротяжного механизма пропорциональна пройденному пути, а ординаты — тяговым усилиям в отдельных точках гона, площадь диаграммы отражает в некотором масштабе работу на крюке трактора за опыт. Зная площадь, можно вычислить среднее тяговое усилие (кН):

$$P_{кр} = k_d \frac{F}{l_d}$$

где F — площадь тяговой диаграммы, мм²; l_d — длина диаграммы, мм; k_d — масштаб ординат диаграммы, устанавливаемый предварительной тарировкой динамографа, Н/мм.

Электрический тяговый динамограф конструкции НАТИ и его принципиальная схема показаны на рис. 3.17. Он представляет собой кольцевой динамометр с проушинами для присоединения прицепных серег. На внутренней поверхности кольца (рис. 3.17, б) наклеены проволочные тензорезисторы R .

При приложении растягивающей силы $P_{кр}$ тензорезисторы R_1 и R_3 будут испытывать сжатие, а R_2 и R_4 — растяжение. Соответствующим соединением этих тензорезисторов можно получить мостовую или полумостовую схему измерения. После наклейки тензорезисторов отверстия звена закрываются крышками с резиновой прокладкой для герметизации. На одной из крышек установлен

разъем для соединения измерительного моста с тензометрическим усилителем. Тяговые звенья изготавливаются на пределы измерения от нуля до 10, 30, 50, 100 кН. Погрешность при измерении не более $\pm 1\%$. Сопротивление изоляции не менее 100 МОм. Тарировка тяговых звеньев проводится на разрывной машине типа ГСМ-50.

На рис. 3.18 показано универсальное тензометрическое тяговое звено для тяговых усилий до 20 кН. Оно представляет собой двухопорную балку равного сопротивления изгибу, устанавливаемую

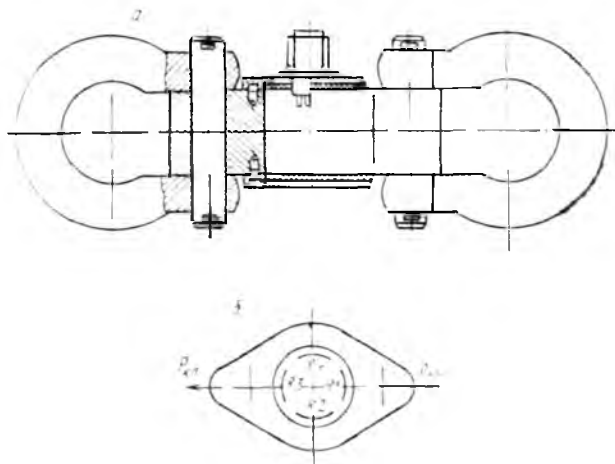


Рис. 3.17. Тяговое тензометрическое звено:
а—конструктивная схема; б—принципиальная схема

взамен прицепного бруса на трактор МТЗ-50. Щеки и концевые полубалки звена скрепляются болтами. Прицепная скоба машины закрепляется штырем между щеками звена. На вертикальные плоскости полубалок (зачерненные на рисунке) наклеивают тензорезисторы для четырех плеч моста сопротивлением по 50 Ом в каждом плече для измерения горизонтальной составляющей тягового усилия. Второй мост для измерения вертикальной нагрузки при динамометрировании полунавесных машин составляют тензорезисторы, наклеенные на горизонтальные плоскости полубалок. Проводники от тензорезисторов укладывают в профрезерованную в щеке канавку и выводят к розетке разъема. Тензорезисторы должны быть расклеены строго симметрично относительно осей симметрии граней полубалок, чтобы компенсировать влияние деформаций в плоскостях, перпендикулярных к плоскости наклейки тензорезисторов.

Методика динамометрирования навесных агрегатов основывается на измерении усилий в шарнирах, соединяющих навесную машину с трактором. При этом методы динамометрирования должны обеспечивать получение тягового сопротивления $P_{\text{тяг}}$ и вертикальной догрузки трактора ΔG , что возможно при замере горизонталь-

но-продольных Q_x и вертикальных Q_y сил, действующих в присоединительных шарнирах навесного устройства.

Существуют два метода динамометрирования тракторов с навесными машинами — ВИСХОМа и НАТИ. По методу ВИСХОМа усилия в присоединительных шарнирах навесной машины измеряются при помощи динамографов или тензометрических звеньев, включаемых в тяги навесного устройства. Метод НАТИ заключа-

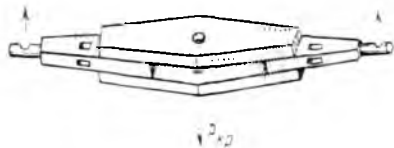


Рис. 3.18. Универсальное тензометрическое тяговое звено

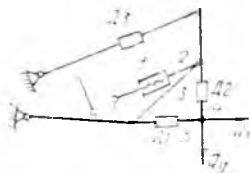


Рис. 3.19. Установка динамометров в тягах навесного устройства трактора по схеме ВИСХОМа

ется в непосредственном замере указанных усилий с помощью устанавливаемых в шарнирах тензометрических пальцев.

На рис. 3.19 приведена схема устройства для динамометрирования навесных агрегатов, разработанного в ВИСХОМе. Замер усилий Q_x и Q_y в шарнирах нижних тяг осуществляется при помощи электрических динамометров D_1 и D_2 с тензорезисторами, установленных в нижних тягах навесного устройства трактора. Тяги специальной конструкции состоят из трех звеньев 5, 4 и 3, шарнирно соединенных между собой и образующих прямоугольный треугольник. Чтобы замеры давали истинное значение Q_x и Q_y , нижние динамометры при проведении опытов должны занимать горизонтальное положение. Необходимая их установка достигается регулировкой звена 2 при помощи винтовой пары 1. Сила, действующая в верхнем присоединительном шарнире, замеряется динамометром D_3 , включенным в верхнюю тягу навесного устройства.

Принцип работы тензометрических пальцев может быть рассмотрен на примере тензометрического пальца консольного типа (рис. 3.20). Пальцы могут выполняться также в виде балок на двух опорах.

На палец вдоль его образующей наклеиваются два тензорезистора 1 и 2 на расстоянии l один от другого (рис. 3.20, а). Они могут быть расположены в любом месте между зашпеченным концом пальца и точкой приложения действующей на него силы Q .

Тензометрические пальцы дают возможность измерять изгибающие усилия в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Для этого на пальцы нужно наклеивать по две пары тензорезисторов, располагая их по образующим, находящимся под углом 90° друг к другу. Одна пара тензорезисторов должна устанавливаться в плоскости, параллельной опорной поверхности рабочих органов навесной машины, другая — в плоскости, к ней перпендикулярной. В этом случае при любом направлении усилия, действующего в

шарнире, замеряться будут его горизонтальная и вертикальная составляющие. Каждая пара тензорезисторов должна включаться в отдельный измерительный мост. Следовательно, для замера усилий Q_x и Q_y во всех трех присоединительных шарнирах навесного устройства нужно иметь шесть таких измерительных мостов.

Суммарные силы $P_{\text{тяг}} = \Sigma Q_x$ и $\Delta G = \Sigma Q_y$ определяют методом электрического суммирования составляющих усилий Q_x и Q_y , действующих во всех трех присоединительных шарнирах. Электриче-

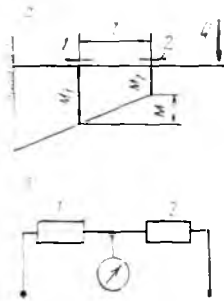


Рис. 3.20. Схемы тензометрического пальца консольного типа (а) и включения тензорезисторов в измерительный мост (б)

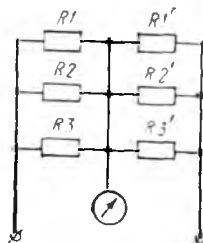


Рис. 3.21. Схема суммирующего измерительного полумоста

ское суммирование осуществляется путем включения тензорезисторов, замеряющих одноименные усилия в отдельных шарнирах, в общие электроизмерительные мосты: в один суммирующий мост входят тензорезисторы, замеряющие силы Q_x , в другой — силы Q_y .

На рис. 3.21 приведена схема суммирующего полумоста, составленного из трех соединенных параллельно плеч, в каждое из которых входят тензорезисторы, наклеенные для замера соответствующего усилия на одном из тензометрических пальцев. Каждый тензорезистор обозначен на схеме своим порядковым номером с цифровым индексом, указывающим номер присоединительного шарнира. Напряжение, возникающее в измерительной диагонали суммирующего моста, пропорционально замеряемой результирующей силе. На диаграмме записывается ее итоговое значение.

3.5. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ КРУТЯЩИХ МОМЕНТОВ

При испытаниях тракторов возникает необходимость замерять крутящие моменты на валах трансмиссий, полуосях ведущих колес, ступицах звездочек, валах отбора мощности и др. Это делают обычно с помощью тензорезисторов, наклеенных на вал, полуось или ступицу и включенных в измерительный мост. На рис. 3.22 приведена схема наклейки тензорезисторов на среднюю часть ступицы звездочки гусеничного трактора и соединения их в полумо-

стовую схему. Диаметр ступицы уменьшен для повышения чувствительности к передаваемому крутящему моменту.

На вал, деформация которого измеряется, обычно наклеиваются четыре тензорезистора, попарно на двух диаметрально противоположных образующих вала под углом 45° к его оси. Тензорезисторы R_1 и R'_1 (рис. 3.23), расположенные на двух параллельных винтовых линиях, смещенных друг относительно друга на угол 180° , при передаче валом крутящего момента растягиваются. Тен-

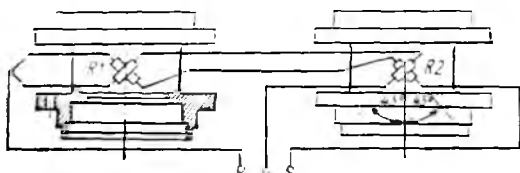


Рис. 3.22. Схема расположения тензорезисторов на ступице ведущей звездочки гусеничного трактора

зорезисторы R_2 и R'_2 , расположенные перпендикулярно к R_1 и R'_1 , при скручивании вала сжимаются. Тензорезисторы, воспринимающие деформацию одного знака, соединяются в рабочие плечи измерительного моста последовательно (схема II) или параллельно (схема I).

При таком способе наклеивания и соединения тензорезисторы, испытывающие при изгибе вала одинаковое деформирование, но противоположного знака, оказываются включенными в одно рабочее плечо измерительного моста. Суммарное сопротивление рабочего плеча поэтому остается постоянным независимо от изгибающего момента и угла поворота вала.

Чтобы компенсировать погрешности от влияния деформации изгиба валов, особенно полуосей колесных тракторов, необходимо обеспечивать высокую точность расположения тензорезисторов относительно оси симметрии и по длине вала.

Для осуществления электрической связи тензорезисторов, наклеенных на вал, с усилительной и регистрирующей аппаратурой применяют токосъемные устройства. Основное требование, предъявляемое к ним,— стабильность переходного сопротивления в месте контакта вращающихся и неподвижных деталей.

При испытаниях тракторов широко используются токосъемники ртутно-амальгамированные: проходные (ТРАП) для установки на валах различных диаметров и концевые (ТРАК) для установки на концах валов.

В ртутно-амальгамированном токосъемнике (рис. 3.24) неподвижные 1 и вращающиеся 2 медные контактные кольца размещаются в корпусе с радиальным зазором 0,1 мм. Их контактные поверхности амальгамированы, ртуть между ними удерживается за счет свойств капиллярности. Для заполнения контактного зазора

вывертывают винты 9 и в отверстия заливают по несколько капель ртути.

Контактные кольца 2 и 1 собраны в блок с кольцами соответственно 3 и 4 из органического стекла. Подвижную часть 7 корпуса токосъемника надевают на вал с тензорезисторами. Неподвижная часть 8 сопряжена с подвижной через подшипники. Проводники 6 от вращающихся колец подключаются к тензорезисторам, проводники 5 от неподвижных колец — к прибору.

При эксплуатации токосъемников типа ТРАП и ТРАК часто

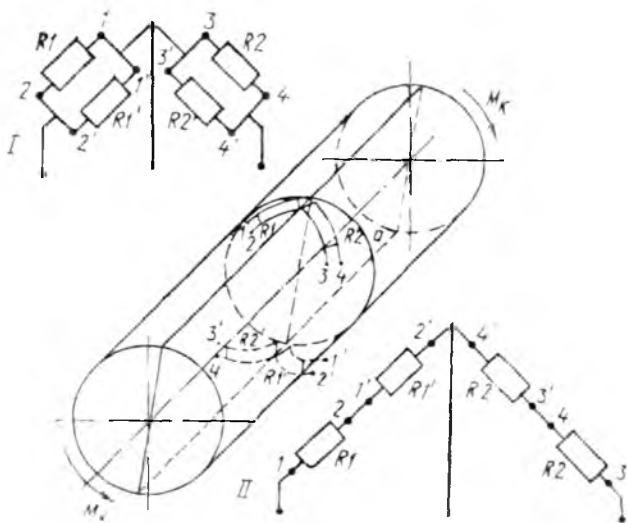


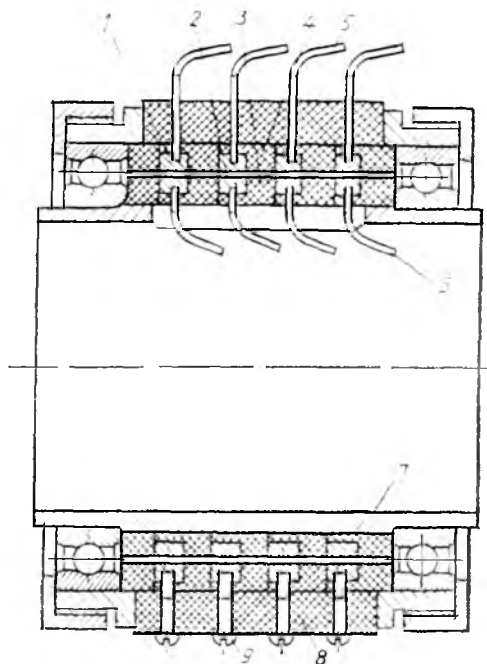
Рис. 3.23. Тензоэлемент для измерения крутящего момента:
I—схема параллельного соединения тензорезисторов; II—схема последовательного соединения тензорезисторов

нарушаются электрические контакты между кольцами (обрыв цепи из-за недостатка ртути или ее загрязнения, замыкание между кольцами при избытке ртути). Для устранения неполадок приходится систематически добавлять ртуть или разбирать токосъемник. Поэтому эти токосъемники пригодны только для установки в легко доступных местах.

На рис. 3.25 показано устройство проходного токосъемника с ртутной ванной. На втулке 1, вращающейся вместе с деформируемым валом, установлены изолирующие втулки 8 с закрепленными на них медными контактными дисками 6 толщиной 4 мм. В неподвижном корпусе против каждого диска размещаются наружные медные контактные кольца 4. Радиальный зазор между кольцом и диском принимается порядка 0,3 мм. Контактные диски устанавливаются на текстолитовых втулках. Для предохранения от проворачивания медного диска относительно втулки на посадочных поверхностях деталей имеются штифты. Все контактные диски

удерживаются от проворачивания относительно втулки 1 силами трения, возникающими при затягивании гайки 9. Провода от резисторов крепятся к контактным дискам винтами 5 или с помощью конусных штифтов.

При изготовлении токосъемника вращающиеся медные диски, сделанные с припуском по наружному диаметру и торцам, вместе с текстолитовыми втулками насаживают на втулку 1 и стягивают гайкой 9. В таком виде втулку помещают на специальную оправку



Р и с. 3.24. Проходной ртутно-амальгамированный токосъемник

или вал. Медные диски обрабатывают по наружному диаметру до нужного размера и по торцам до выбора биения.

Неподвижная часть токосъемника состоит из двух корпусов 2, в которых установлены подшипники, набора изолирующих колец 3 из текстолита и контактных колец 4 из высококачественной меди М-1. После сборки все детали неподвижного корпуса стягиваются четырьмя болтами.

Наружные контактные кольца имеют резьбовые отверстия, плотно закрываемые винтами 7 и предназначенные для заправки токосъемников ртутью и для подсоединения проводов.

Смежные поверхности контактных медных дисков и колец, а также торцовые поверхности дисков при сборке покрывают ртутной амальгамой. Кроме того, в каждый отсек, образованный кольцом 4 и двумя изолирующими кольцами 3, заливают ртуть. Полу-

ченная при этом ртутная ванна позволяет осуществить надежную электрическую связь тензорезисторов с измерительной аппаратурой.

Опыт использования токосъемников с ртутной ванной показал, что они обеспечивают надежную и стабильную электрическую связь резисторов с измерительной аппаратурой.

Работа с ртутно-амальгамированными токосъемниками и их хранение требуют особой осторожности ввиду токсичности паров

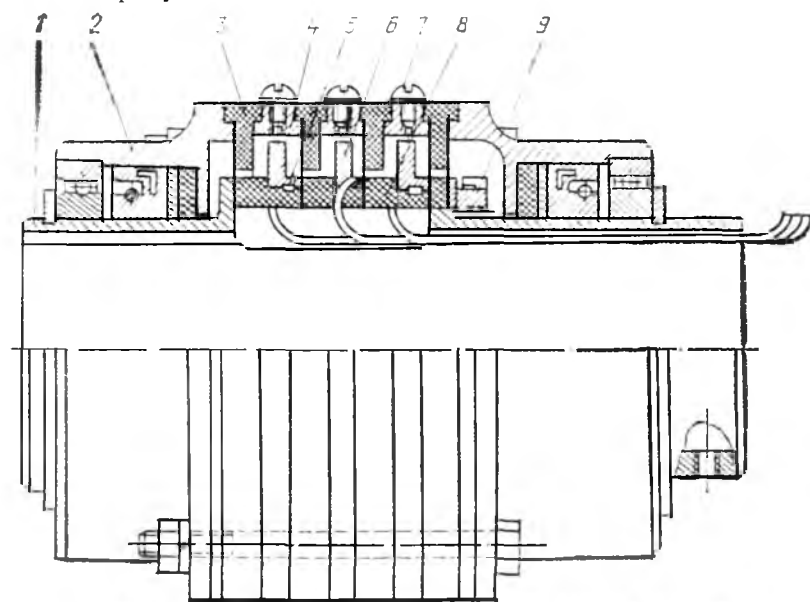


Рис. 3.25. Проходной токосъемник с ртутной ванной

ртути. Амальгмирование должно производиться в закрытом вытяжном шкафу с помощью манипуляторов или рукавов-перчаток. Хранить токосъемники следует в герметичной таре. В закрытом помещении при наличии на тракторах ртутно-амальгамированных токосъемников зараженность воздуха парами ртути при отсутствии вентиляции может в несколько раз превысить допустимые нормы. В полевых условиях работа с ртутно-амальгамированными токосъемниками, установленными на внешних валах и осях, опасности не представляет.

В настоящее время все чаще находят применение токосъемники с серебряными кольцами (толщиной менее 2 мм) и серебряно-графитовыми токосъемными щетками, безопасные с точки зрения санитарных требований, но более дорогие и с несколько худшими характеристиками.

3.6. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОМПЛЕКСНЫХ ИСПЫТАНИЙ ТРАКТОРОВ

Современные измерительные приборы и специальные системы используются при испытаниях тракторов для измерения физических величин электрическими методами с различными вариантами фиксирования, отображения и обработки информации. К ним относятся самописцы, осциллографы, магнитографы и другие устройства для записи и хранения полученной информации.

В настоящее время повсеместного применения вероятностных методов и расширения работ по планированию эксперимента, изучению надежности и ускорению испытаний ограниченное число регистрируемых параметров и время записи процессов на магнито-электрическом осциллографе увеличивают длительность испытаний, трудоемкость обработки материалов. С целью повышения оперативности испытаний разработана и внедрена мобильная система ЧЕК-1, позволяющая измерять, регистрировать и выдавать непосредственно после окончания опыта на цифровую печать средние значения силовых и скоростных параметров (шесть независимых измерительных каналов).

Система ЧЕК может обеспечить неограниченное число усредненных замеров дискретных значений 12 параметров с продолжительностью усреднения 7, 5, 15, 30, 60, 120 и 240, что приемлемо для оценки главным образом статических характеристик тракторов и сельхозмашин.

Телеметрический информационно-измерительный комплекс ЧЕК-3-5 для энергетической оценки тракторов и других машин позволяет при лабораторно-полевых испытаниях проводить измерения, передавать информацию по радиоканалу, обрабатывать данные измерений и выдавать на цифровую печать средние результаты.

Назначение многоцелевого информационно-измерительного комплекса ЧЕК-6 в оценке внешних факторов в рабочей зоне механизатора и их соответствия требованиям техники безопасности и производственной санитарии. В состав системы входит комплекс аппаратуры, позволяющий измерять вибрацию и акустический шум, усилия на органах управления, температуру и оценивать эффективность тормозных и других устройств.

Универсальная многоцелевая информационно-измерительная система «Урожай-11, 12, 13» служит для продолжительной записи и дешифровки эксплуатационных, энергетических и других характеристик машинно-тракторных агрегатов. В нее входит набор бортовых автономных устройств «Урожай-11» для регистрации параметров на магнитной ленте, передвижная лаборатория «Урожай-12» для оперативной обработки и перезаписи информации, аппарата «Урожай-13» для ввода информации в серийные ЭВМ и система датчиков.

Доработанная с учетом специфики испытаний тракторов и сельхозмашин магниторегистрирующая аппаратура «Урожай-11» и

аппаратура предварительной обработки информации «Урожай-12» позволяют регистрировать на магнитной ленте результаты измерений, оперативно перезаписывать информацию на соответствующие устройства передвижной лаборатории, осуществлять визуальный просмотр информации и выдачу ее на бумажную ленту в виде осциллограмм.

«Урожай-11» представляет собой малогабаритное магниторегистрирующее устройство, устанавливаемое непосредственно на машинах или в кабинах тракторов. Бортовое устройство состоит из типовых подсистем: магнитного накопителя для многократной записи информации, поступающей от установленных на объекте датчиков; блоков электроники и питания, коммутаторов, наборного поля, нормализаторов; блока усилителей записи и самоконтроля; блока служебных параметров. Методом последовательного опроса регистратор производит 255 измерений в секунду, при этом три измерения — параметров самоконтроля, три — текущего времени (часы, минуты, секунды), восемь — частоты переменных напряжений, одно — служебных параметров, 240 измерений — постоянных напряжений. Погрешность регистрации напряжений (без учета погрешности датчиков) 1%. Результат измерения постоянно напряжения преобразуется в восьмиразрядный двоичный код, частоты — в пятнадцатиразрядный. Общее время записи — 3 ч. При уменьшении количества применяемых датчиков соответственно можно увеличить частоту опроса и фиксирования параметров. Питание от источника постоянного тока — 18...31 В.

Система «Урожай-12», размещаемая в кузове автомобиля ГАЗ-66, состоит из функциональных устройств перезаписи, воспроизведения и преобразования информации; визуального и графического отображения информации. При перемещении от объекта к объекту устройство считывает информацию с нескольких регистраторов, находящихся на борту или снятых с объекта. Скорость считывания в 15 раз выше скорости записи регистратора. Результаты испытаний могут быть дешифрованы и выведены на бумажную ленту в виде графиков (до 32 шт.) в масштабе реального времени, в виде ординат на экране телевизора (для 16 параметров) и в цифровой десятичной форме (для одного параметра).

Система «Урожай-13» представляет собой устройство сопряжения с серийной ЭВМ. Каждый из блоков связи осуществляет прием кода от блока коммутации и передачу его в ЭВМ по поступающим командам и управляющим сигналам.

По сравнению с существующими техническими средствами система «Урожай-11, 12, 13» имеет ряд преимуществ. Основными из них являются: многоцелевое назначение; малые габаритные размеры регистраторов и высокая универсальность; возможность накопления информации за продолжительный период наблюдения (смена, декада, месяц) при наличии большого числа каналов ее получения; максимальная механизация и автоматизация эксперимента; значительное сокращение сроков получения конечных результатов; сопоставимость результатов испытаний и др.

При испытаниях тракторов используются три многоцелевых информационно-измерительных комплекса: ЧЕК-2М, ЧЕК-4М и ЧЕК-6М.

Комплекс ЧЕК-2М, предназначенный для накопления измерительной информации при эксплуатационных и полигонных испытаниях тракторов с последующим вводом ее в ЭВМ типа ЕС, позволяет выполнять следующие операции: регистрировать мгновенные значения измеряемых параметров на магнитную ленту одновременно по 18 аналоговым и 10 частотным каналам; вводить в автоматическом режиме полученную информацию в ЭВМ ЕС для обработки по требуемым программам; вычислять с последующим выводом на цифровую печать и цифровую индексацию средние за время опыта значения измеряемых величин по всем 28 каналам и среднеквадратические отклонения по 18 аналоговым каналам; вычислять с одновременным выводом на экран электронно-лучевого осциллографа знаковую корреляционную функцию или «текущие» значения математического ожидания по одному из каналов; воспроизводить на магнитоэлектрических осциллографах измеряемые параметры по всем 18 аналоговым каналам и по любым двум частотным, а также контролировать любую измеряемую величину на экране электронно-лучевого осциллографа; контролировать с помощью цифровой индикации текущее время и путь, пройденный испытываемым агрегатом.

Этот комплекс позволяет измерять деформации деталей и элементов конструкций, усилия растяжения и сжатия, крутящие и изгибающие моменты (с помощью тензорезисторов), перемещение деталей и механизмов (потенциометрическими или индуктивными преобразователями), частоты вращения (частотными тахогенераторами), пройденный путь (по отметчику путеизмерительного колеса), расход топлива (порционным объемным расходомером), избыточные давления (тензорезистивными или потенциометрическими преобразователями), температуру окружающей среды, двигателя, трансмиссии (термометрами сопротивления), время опыта, а также любые другие величины с помощью преобразователей, выходные параметры которых согласованы с входом тензоусилителей аналоговых каналов или формирователей частотных каналов по амплитудному и частотному диапазонам.

Погрешность измерения силовых параметров не превышает $\pm 1,5\%$, перемещений $\pm 3\%$, мгновенных значений частот вращения $\pm 2\%$, температуры жидкостей и газов $\pm 1^\circ\text{C}$, поверхностной температуры $\pm 2^\circ\text{C}$, пройденного пути ± 1 отметки. Погрешность вычисления средних значений параметров, измеряемых по аналоговым каналам, не превышает $\pm 1\%$, а их среднеквадратических отклонений $\pm 10\%$, а погрешность вычисления средних значений параметров, измеряемых по частотным каналам, $\pm 1\%$.

Основными режимами работы комплекса являются: измерение; вывод результатов измерений и вычислений на индикацию; запись на магнитную ленту; ввод в ЭВМ.

Запись на магнитную ленту осуществляется одновременно с

проведением измерений. В процессе измерений может также производиться индикация замеряемых величин с помощью цифрового табло и электронно-лучевого осциллографа, регистрация — с помощью магнитоэлектрического осциллографа и обработка результатов измерений в анализаторе. Вывод результатов обработки на цифровые табло и печать осуществляется непосредственно после окончания измерений. Ввод записанной на магнитную ленту информации в ЭВМ возможен после установки кассеты с лентой в устройство ввода и подключения его к ЭВМ типа ЕС.

В процессе измерений может производиться вычисление средних значений и среднеквадратических отклонений замеряемых параметров за время опыта. Вычисления осуществляются анализатором, средние значения подсчитываются по всем используемым в процессе опыта аналоговым и частотным измерительным каналам, среднеквадратические отклонения — по всем используемым аналоговым измерительным каналам. Обработка результатов измерений производится в два этапа: накопление сотни отсчетов по каждому каналу и нахождение частного среднего значения; усреднение частных средних значений и нахождение среднего за опыт.

Мгновенные значения замеряемых параметров по всем используемым каналам, а также сигналы разметки ленты, необходимые для адресации информации при ее воспроизведении, записываются на магнитную ленту двоичным кодом последовательно во времени.

Аппаратура для измерения, преобразования, накопления, предварительной обработки и отображения информации размещается на автомобиле ГАЗ-66. Для обеспечения связи между оператором, водителем автомобиля и трактористом используется переговорное устройство. Комплекс ЧЕК-4М предназначен для накопления информации при тяговых испытаниях тракторов классов 6...20 кН. При этом вычисляются и регистрируются следующие параметры: среднее значение тягового усилия за время опыта; средние значения частот вращения коленчатого вала двигателя, вала отбора мощности, каждого переднего и заднего колеса; расход топлива за время опыта; путь, пройденный трактором; продолжительность опыта; температура масла и охлаждающей жидкости в двигателе; температура масла в трансмиссии, гидросистеме навески, гидромеханизмах и окружающей среды; давление масла в пределах 0...2,5 МПа, 0...25 МПа, 0...45 МПа по двум каналам каждого диапазона измерений; атмосферное давление.

Средние значения тягового усилия получают интегрированием его мгновенных значений за время опыта. Предусмотрена возможность останова измерений через определенное количество отметок пути: 250, 500, 1000 и 2000 с погрешностью ± 1 отметка (цена отметки пути — 0,1 м). Время опыта может меняться от 10 до 500 с с погрешностью $\pm 0,1\%$. Температура и давление масла замеряются один раз за время опыта с погрешностью $\pm 2\%$. Суммарный расход топлива определяется как сумма импульсов от измерителя расхода топлива за время опыта. Погрешность измерения ± 1 импульс.

Аппаратура комплекса ЧЕК-4М обеспечивает визуальную индикацию тягового усилия с погрешностью $\pm 3\%$ и частоты вращения коленчатого вала двигателя с погрешностью $\pm 1\%$, вычисление с погрешностью $\pm 0,5\%$ скорости движения, тяговой мощности, коэффициента буксования ведущих колес по четырем каналам, часового и удельного расхода топлива, а также регистрацию на бумажной ленте в цифровом виде следующих параметров: среднего значения тягового усилия; тяговой мощности, частот вращения коленчатого вала, вала отбора мощности и колес по четырем каналам; часового и удельного расхода и плотности топлива, расхода топлива за время опыта; скорости движения; длины пути; коэффициента буксования по четырем каналам; продолжительности, номера и даты проведения опыта; температуры по семи каналам; давления масла по шести каналам; передаточных отношений приводов передних и задних колес; атмосферного давления.

Комплекс ЧЕК-4М размещен на автомобиле ЗИЛ-131. Для обеспечения связи между оператором, водителем автомобиля и трактористом используется переговорное устройство.

Алгоритм функционирования комплекса при накоплении информации в условиях тяговых испытаний следующий: после нажатия кнопки «Пуск» все ячейки оперативной памяти автоматически принимают нулевые значения; вводятся исходные данные и производится переход из десятичного кода в двоичный; производится накопление информации от частотных измерителей и измерителей тягового усилия и усреднение накопленных за определенное время значений параметров; происходит накопление усредненных значений тягового усилия, вычисление частоты вращения коленчатого вала и накопление значений тяговой мощности; проверяется необходимость индикации, вызывается и наблюдается нужный параметр; по окончании индикации или минуя ее проверяется, окончен ли опыт (если опыт не закончен, программа возвращается к подпрограмме накопления информации от частотных измерителей и измерителей тягового усилия, если опыт закончен, производится усреднение параметров за время опыта); снимается информация от температурных измерителей и измерителей давления; осуществляется переход из двоичного кода в десятичный; производится печатание параметров на бумажную ленту и останов системы.

Комплекс ЧЕК-6М предназначен для комплексных исследований влияния на условия труда тракториста и физиологические функции его организма эксплуатационных и конструктивных параметров тракторов тяговых классов 6...20 кН. При этом замеряются следующие параметры: микроклимат кабины и тепловые потоки; физико-химический состав воздуха; уровень вибраций и акустических шумов; тормозные качества трактора; усилия на органах управления; физиологические параметры.

Комплекс аппаратуры для замеров параметров микроклимата и тепловых потоков включает 49 измерительных каналов, из которых 12 могут быть использованы для замера температуры воздуха,

14 — поверхностной температуры, 12 — плотности тепловых потоков, 3 — скорости воздушного потока, 2 — суммарной солнечной радиации, по одному — температуры двигателя, воды, масла, относительной влажности воздуха наружного и в кабине, перепада давления в кабине.

Погрешности измерения (без учета погрешностей преобразователей) составляют: температуры воздушных и жидких сред $\pm 1\%$, поверхностной температуры $\pm 2\%$, относительной влажности $\pm 10\%$, скорости воздушных потоков $\pm 5\%$, суммарной солнечной радиации $\pm 10\%$, плотности тепловых потоков $\pm 5\%$.

Режим работы аппаратуры ручной, когда параметр замеряется по одному измерительному каналу (в основном для проведения калибровки, проверки, балансировки), или автоматический, когда параметры замеряются по 32 измерительным каналам по установленной оператором программе. При ручном режиме работы возможен визуальный контроль.

Параметры микроклимата накапливаются в процессе измерения, а затем могут быть выведены на цифровую печать или перфоратор. Максимальный объем замеряемых параметров — 2048 шестнадцатиразрядных чисел. Сигналы от измерителей, коммутируясь поочередно по заданной программе, поступают на дифференциальный усилитель, нормируются по амплитуде, с помощью аналого-цифрового преобразователя и пересчетных устройств преобразуются в параллельный двоично-десятичный код, поступают в блок накопления и далее в аппаратуру обработки и регистрации.

С помощью аппаратуры для исследования физико-химического состава воздуха анализируют наличие примесей концентрацией от 4 до 400 мг/м³ при отборе воздуха 1 л/мин. Время отбора проб воздуха регистрируется электромеханическим счетчиком.

Аппаратура для измерения уровней вибраций и акустических шумов имеет 15 каналов, из которых 12 могут быть использованы для замера вибраций и 3 — для акустических шумов. Погрешность измерительных каналов ± 2 дБ.

Сигналы от измерителей поступают через согласующие усилители на входной коммутатор каналов и далее через центральный измерительный усилитель на систему параллельно включенных третьоктавных или октавных фильтров, а также на интегральные фильтры, с выхода которых поступают на систему детекторов. Опрос детекторов осуществляется быстродействующим коммутатором, с выхода которого сигнал поступает на схему вычисления среднеквадратического значения и далее на аналого-цифровой преобразователь аналогового сигнала в цифровой код. После преобразователя информация попадает в аппаратуру обработки и регистрации и может быть выведена на цифровой индикатор, цифровую печать, перфоленгу или панорамный индикатор.

Аппаратура для исследования тормозных качеств тракторов имеет 10 измерительных каналов: по одному для замера тормозного пути, времени торможения, замедления, начальной скорости движения и усилия на педали тормозов и 5 каналов — для давле-

ния в тормозных магистралях. Одновременно может замеряться не более 8 параметров.

Погрешности измерения параметров: начальной скорости $\pm 0,14$ м/с, времени торможения $\pm 0,5$ с, замедления $\pm 3\%$, давления в тормозных магистралях $\pm 3\%$, усилия на педали $\pm 2\%$, тормозного пути $\pm 0,2$ м.

Тормозные качества трактора оцениваются следующим образом. По команде «Пуск» замеряется начальная скорость трактора от путеизмерительного колеса и регистрируется стрелочным индикатором на пульте тракториста. Загорается сигнальная лампа, и тракторист начинает давить на педаль тормоза. С этого момента замеряются длина тормозного пути, замедление, давление в гидро- и пневмомагистралях, усилие на тормозных педалях. После остановки трактора тракторист отпускает педаль. Время ее нажатия фиксируется счетчиком. Измеряемая в процессе торможения информация поступает в блок накопления и далее в аппаратуру обработки и регистрации.

Аппаратура для измерения усилий на органах управления имеет 14 измерительных каналов, из которых 9 — для усилий на рычагах управления (одно- и двухкомпонентных), 4 — на педалях тормоза и 1 — на рулевом колесе.

По окончании восьми циклов производится перезапись информации из регистров в блок накопления. В дальнейшем этот процесс повторяется. По окончании опыта может быть построена гистограмма распределения максимальных усилий по классовым промежуткам.

Аппаратура для исследования состояния тракториста позволяет регистрировать: электрокардиограммы, электроокулограммы, электромиограммы, пневмограммы. Эти данные могут передаваться от объекта исследований — тракториста — по радиотелеметрической связи на расстояние до 1 км или по кабельной связи до 20 м и регистрируются на самописце или магнитной ленте.

Комплекс аппаратуры включает прибор пациента, ретранслятор, прибор исследователя, калибратор, комплект измерителей, самописец. На автомобиле ГАЗ-66 устанавливается стандартная медицинская аппаратура.

Прибор пациента, закрепляемый на пояс тракториста, усиливает сигналы измерителей, преобразовывает их и передает по радиоканалу. Ретранслятор принимает эти радиосигналы, излучает их на другой частоте и усиливает. Прибор исследователя принимает их, формирует, разделяет по каналам и производит дешифровку полезной информации. Для контроля амплитудных и переходных характеристик измерительных каналов служит калибратор, также размещаемый на пояс тракториста. Через определенные промежутки времени на вход прибора пациента вместо биологических сигналов поступают импульсы с частотой и амплитудой, достаточными для проверки физиологической аппаратуры. Благодаря этому осуществляется автоматическая проверка коэффициента передачи и переходной характеристики всего физиологического тракта.

Глава 4. ИСПЫТАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРАКТОРА

4.1. КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТРАКТОРА

Определение конструктивных параметров производится при предварительных и приемочных государственных испытаниях в соответствии с государственными стандартами для сельскохозяйственных и промышленных тракторов, а также при других видах испытаний.

К конструктивным параметрам трактора, рассматриваемым при испытаниях, относятся: габаритные размеры, колея, база и дорожный просвет, объемы емкостей, конструктивная и эксплуатационная масса и статическая нагрузка на движители, массы балластных грузов и дополнительного оборудования, давление на грунт, координаты центра тяжести и статическая устойчивость трактора.

Размеры трактора определяются при установке его на горизонтальной площадке с покрытием, не допускающим погружения грунтозацепов на глубину более 3 мм. Уклон площадки не должен превышать 1°, а высота неровностей поверхности — 3 мм. Погрешность измерений линейных размеров не должна быть более 0,5%, а объемов — 1%. Для измерений используют мерные ленты, линейки, эталоны.

При ступенчатом изменении габаритных размеров, колеи, базы и дорожного просвета производят замеры всех предусмотренных конструкцией трактора значений этих параметров. Если регулировки бесступенчатые, определяют пределы изменения данных параметров. При измерении дорожного просвета трактор должен быть заправлен, укомплектован балластными грузами и инструментом, на сиденье водителя установлен груз массой 75 кг. При определении габаритных размеров все это исключается. Измеряя дорожный просвет, не учитывают элементов трактора, находящихся вне зоны, ограниченной плоскостями (на рис. 4.1 не заштрихована).

При определении габаритных размеров, колеи, базы, дорожного просвета, кроме того, необходимо учитывать следующее: положение управляемых колес или элементов шарнирной рамы должно соответствовать прямолинейному движению трактора; давление в шинах — нормам завода-изготовителя, указанным для работы трактора на транспорте; если в конструкции предусмотрена регу-

лировка тягово-сцепного устройства, то при измерениях следует устанавливать его в такие положения, при которых трактор имеет наибольший и наименьший габаритные размеры.

Базу и колею колесного трактора вычисляют как среднеарифметическое значение горизонтальных размеров (рис. 4.2). При определении базы измеряемые размеры должны быть параллельны продольной вертикальной плоскости симметрии расположения движителей, а колеи — нормальными к этой плоскости. Размеры



Рис. 4.1. Зона измерения дорожного просвета

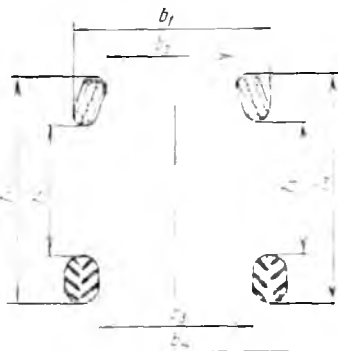


Рис. 4.2. Определение базы и колеи колесного трактора

замеряются внутри и снаружи контуров отпечатков колес на опорной площадке или на высоте не более 70 мм. Если колеса установлены параллельно вертикальной плоскости симметрии, то колею можно замерять как расстояние между колесами с добавлением ширины колеса по линии измерения.

Объем заправочных емкостей соответствует объему жидкости, заливаемой в специальную пустую емкость до уровня, рекомендуемого заводом-изготовителем. Трактор должен быть установлен на горизонтальной площадке, микропрофиль которой и допустимый уклон указаны выше. Погрешности измерений мерных емкостей с различными пределами измерений при этом не должны превышать 1%. Для установления рабочей емкости топливного бака необходимо измерять объем топлива, слитого через расходный штуцер из полностью заправленного бака.

Массу оценивают непосредственным взвешиванием на автомобильных весах с соответствующими пределами измерений, а статическое давление на почву гусеничного трактора — расчетом на основании измерений. Допускаемые погрешности средств измерений при определении массы, размеров и объемов должны соответствовать табл. 4.1.

При оценке показателей массы необходимо учитывать следующее:

на тракторах с реверсивным управлением измерения выполняют при установке сиденья и органов управления для движения трактора передним и задним ходом. Положение управляемых ко-

Т а б л. 4.1. Допускаемые погрешности средств измерения при определении массы, размеров и объемов

Измеряемый параметр	Абсолютное значение погрешности средств измерений, не более
Габаритные размеры:	
колея B , мм	0,005 B
база L , мм	0,005 L
дорожный просвет $h_{пр}$, мм	0,01 $h_{пр}$
Объем жидкости V , л	0,01 V
Угловые размеры α	1°
Масса трактора и его элементов m , кг	0,005 m
Длина участка гусеницы l_y , ширина гусеницы b_T , м	0,005 l_y (b_T)
Площадь опорной поверхности пневматического колеса F , м ²	0,015 F

лес или шарнирной рамы управления поворотом должно соответствовать прямолинейному движению. При измерениях должно сохраняться горизонтальное положение трактора. Угол его наклона — не более 0,5°;

нагрузку на одно колесо трактора определяют на основе поочередного взвешивания правого и левого бортов или колес передней и задней осей; нагрузку на один движитель гусеничного трактора — на основе взвешивания правого и левого бортов.

Среднее условное давление (кПа) одиночного движителя трактора на жесткое основание рассчитывают по формуле

$$\gamma = \frac{m_{дв}g}{10^3 F},$$

где $m_{дв}$ — масса, влияющая на нагрузку каждого движителя, кг; g — ускорение свободного падения, м/с²; F — контурная площадь контакта протектора шины для колесного трактора; для гусеничного трактора $F = l_y b_T$; b_T — ширина гусеницы, м; l_y — условная длина участка гусеницы, находящегося в контакте с основанием, м; $l_y = l_1 + l_2 + l_3$; l_1 — проекция на опорную площадку межцентрового расстояния между ведущим колесом и задним опорным катком (при наклоне ветви гусеницы между ними к опорной площадке более 2° l_1 принимается равной нулю), м; l_2 — проекция на опорную площадку межцентрового расстояния между крайними опорными катками, м; l_3 — проекция на опорную площадку межцентрового расстояния между направляющим колесом и передним опорным катком (при наклоне ветви гусеницы между ними к опорной площадке более 5° l_3 принимается равной нулю), м.

При оценке контурной площади контакта протектора шины трактор устанавливается на горизонтальной площадке, при этом ее неровности в пределах контурной площади не должны превышать 1 мм. Положение колес должно соответствовать прямолинейному движению.

Отпечаток контурной площади ведущего колеса получают при многократном его опускании (до полного заполнения отпечатка)

домкратом. При этом должно отсутствовать смещение трактора в горизонтальной плоскости в опущенном положении. После каждого опускания колеса поворачивают на угол, соответствующий ширине выступа протектора. Красящее вещество наносится на выступы протектора так, чтобы был обеспечен четкий отпечаток без подтеков.

Контурную площадь протектора ведомого колеса устанавливают очерчиванием отпечатка плавной кривой, охватывающей выступы.

Координаты центра тяжести трактора определяют взвешиванием на весах при различных углах его наклона. Рекомендуемая

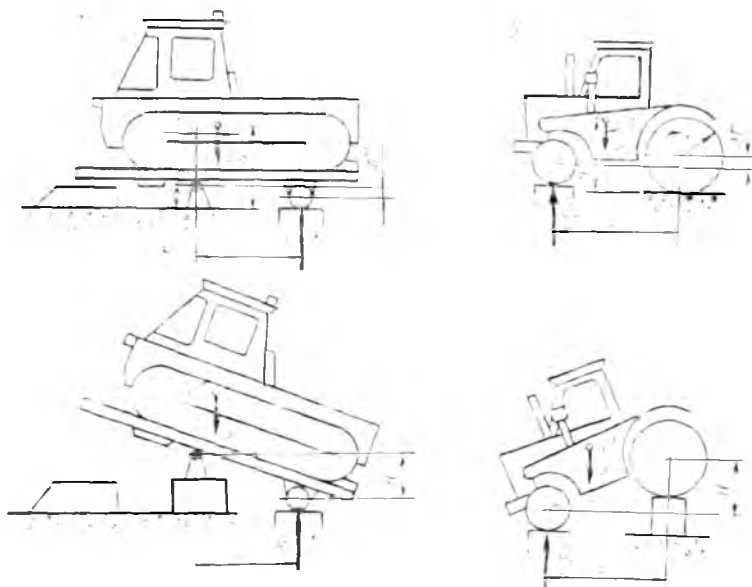


Рис. 4.3. Схема установки для определения координат центра тяжести:

а—гусеничного трактора; б—колесного трактора; 1—весы или динамометр

схема установки для определения координат центра тяжести гусеничного и колесного тракторов показана на рис. 4.3. При этом должны соблюдаться следующие правила:

измерения следует проводить при эксплуатационной массе трактора. Давление в шинах колесных тракторов устанавливается по рекомендациям завода-изготовителя применительно к работе на транспорте;

положение управляемых колес трактора должно быть приведено в соответствие его прямолинейному движению. Боковая устойчивость тракторов с шарнирной рамой управлением поворотом проверяется также при максимальном угле поворота вершины рамы в сторону наклона;

платформа, на которой устанавливается трактор, должна быть сбалансирована относительно оси качания.

Положение центра тяжести определяется тремя координатами: продольной l относительно оси ведущих колес, поперечной S относительно вертикальной продольной плоскости симметрии трактора, высотой h .

Продольная координата центра тяжести

$$l = \frac{m_1}{m} L,$$

где m_1 — часть массы трактора, кг; m — масса трактора, кг; L — база колесного трактора, м.

Поперечная координата центра тяжести

$$S = \frac{m_2 - m_3}{m} \frac{B}{2}$$

где m_2, m_3 — массы, расположенные соответственно ближе и дальше от центра тяжести трактора, кг; B — колея трактора, м.

Высота центра тяжести

$$h = r + \frac{L(LI' + \Delta rH)}{LH - \Delta rL'} \frac{m'_1 - m_1}{m} - \frac{\Delta r m'_1}{m}$$

где r — статический радиус качения ведущего колеса или расстояние от центра шарнира уравновешенной рамы до площадки, м; L — база трактора или расстояние по горизонтали между шарнирами и осью катка, м; L' — расстояние между осями колес или шарниром рамы и осью катка по горизонтали: $L' = \sqrt{L^2 - H^2} + \Delta r^2$; Δr — разность статических радиусов колес или расстояние между шарниром и осью катка уравновешенной рамы при горизонтальном положении трактора, м; H — расстояние по вертикали между осями колес или осью катка и шарниром уравновешенной рамы при наклонном тракторе, м; m'_1 — масса, приходящаяся на колеса передней оси или катка рамы трактора при его расположении под углом, кг; m_1 — масса, приходящаяся на колеса передней оси или катка уравновешенной рамы трактора при горизонтальном его положении, кг.

4.2. СТАТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ

Статическая устойчивость определяется на стенде с платформой соответствующих грузоподъемности и размеров, имеющей наклон от 0 до 50° к горизонтальной поверхности.

Трактор на платформе устанавливают так, чтобы условная ось его опрокидывания была параллельна оси качения платформы. Несоосность не должна превышать 0,01 м. При определении статической устойчивости угол наклона платформы изменяют до тех пор, пока показания весового устройства не совпадут с суммарной массой трактора и платформы. Полученный угол будет соответственно предельным углом подъема трактора α_{lim} , предельным углом спуска трактора α'_{lim} или предельным углом бокового крена ϕ_{lim} .

Допускается статическую устойчивость гусеничного трактора без поддрессирования остова определять по данным измерений координат центра масс, которые осуществляют с помощью мерных лент с различными пределами измерений, угломеров, весов автомобильных. Погрешности измерений допускаются не более: для угла наклона сбалансированной платформы $\pm 0,5^\circ$, для углов продольной и поперечной устойчивости $\pm 1^\circ$, для линейных размеров $\pm 0,005$, для масс $\pm 0,002$ значения измеряемой величины.

4.3. ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА ВОДИТЕЛЯ

Общие положения. Параметры, характеризующие удобство управления трактором и условия труда тракториста, проверяются измерением и апробированием. Эргономические свойства трактора определяются факторами, оказывающими влияние на функциональное состояние, работоспособность и безопасность человека. К ним относятся: состав воздуха и отсутствие в нем вредных веществ в виде пыли, паров и газов; метеорологические условия; радиация; ускорения и перегрузки; шумы; вибрация; освещение; удобство управления механизмами; зоны комфорта труда при эксплуатации машины; производственная эстетика и др.

Поскольку при самой высокой степени механизации и автоматизации производства главенствующее положение занимает человек, эргономические свойства трактора должны рассматриваться с точки зрения создания для него комфортных и безопасных условий труда. Управление тракторным агрегатом связано с постоянным нервным напряжением и влияет на зрение, слух, обоняние и осязание.

Без учета психологических факторов сложность управления тракторным агрегатом оценивается затрачиваемой в течение смены работой на испытываемом тракторе по сравнению с трактором-аналогом, находящимся в эксплуатации. Ее принято определять по формуле

$$A = \sum_1 P l m T,$$

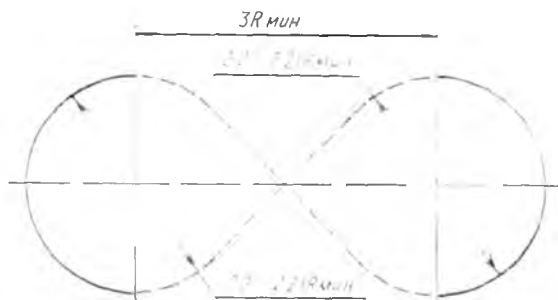
где n — число рычагов; P — усилие на рычаге, Н; l — длина хода рычага, м; m — число включений рычага за час работы трактора; T — продолжительность рабочей смены, ч.

Эта формула справедлива также для учета работы по включению педалей.

Линейные размеры отдельных сборочных единиц и элементов трактора, от которых зависят удобство обслуживания и условия труда, координаты (линейные и угловые) взаимного расположения этих сборочных единиц и элементов, ход органов управления, измеряются на неподвижном тракторе. На сиденье устанавливается груз массой 75 кг. При этом измеряются: внутренние размеры кабины, размеры сиденья, линейные координаты его расположения относительно органов управления и стенок кабины, угловые ко-

ординаты точек расположения относительно элементов рабочего места водителя, полный ход органов управления. Номенклатура размеров, определяющих вышеуказанные параметры, должна соответствовать «Единым требованиям к конструкции тракторов и сельскохозяйственных машин по безопасности и гигиене труда».

При измерении линейных размеров применяют ленты с различными пределами измерений, линейки, эталоны; угловых размеров—



Р и с. 4.4. Траектория движения трактора при измерении усилия на рулевом колесе

угломеры. Погрешности линейных измерений не должны превышать $\pm 0,5\%$, а угловых $\pm 1^\circ$.

Измерение усилий на органах управления производится методом динамометрирования. Усилия на органах управления поворотом и тормозами трактора определяют во время движения. Усилия на остальных органах управления допускается устанавливать при неподвижном тракторе. Максимальное усилие определяется при перемещении органа управления до пределов, обеспечивающих полное выполнение функций управляемого механизма. При этом измеряются: усилия на штурвалах, рычагах и педалях управления режимом двигателя (акселератор, рейка топливного насоса), рычагах и педалях управления поворотом гусеничного трактора, на тормозных педалях, на педали муфты сцепления, рычагах переключения передач, рычагах вала отбора мощности и т. д. Предельные усилия для различных групп рычагов и педалей органов управления указаны в «Единых требованиях».

Усилия на рулевом колесе измеряются при движении трактора по дорогам или площадке с асфальтовым или асфальтобетонным покрытием по криволинейной траектории (рис. 4.4) со скоростью $(3 \pm 0,5)$ км/ч. Комплектация трактора должна соответствовать эксплуатационной массе, количество опытов — не менее трех. Для промышленных и специальных тракторов фон поверхности и траектории движения могут быть оговорены особо.

Измерение усилий на органах управления поворотом гусеничного трактора следует производить во время поворота его на месте вправо и влево.

В качестве измерительных приборов для определения усилий на рулевом колесе, рычагах и педалях используются динамомет-

рические устройства стрелочные и с регистрацией результатов типа динамометрических штурвалов, динамометров и т. д. Погрешность измерений при этом не должна превышать $\pm 0,3\%$.

Испытания по определению частоты пользования органами управления осуществляются при выполнении тракторами общего назначения пахоты, а универсально-пропашными — междурядной обработки пропашных культур. Испытания специальных тракторов, например трелевочных, должны происходить при наиболее типичных условиях работы, т. е. при трелевке древесины. Скорость движения должна быть максимальной из рекомендованных заводом-изготовителем для данных видов работ, а длительность испытаний — не менее 4 ч.

При выполнении этих работ определяется суммарное количество воздействий на органы управления поворотом и производится фотографирование поз тракториста, позволяющих судить об удобстве управления трактором.

Обзорность. Под обзорностью понимается невидимая с места водителя зона вокруг трактора. Чем меньше невидимая зона, тем лучше обзорность. Общая обзорность трактора может быть оценена коэффициентом

$$K_0 = \frac{F_K}{F_K - F_C}$$

где F_K — площадь контура трактора в плане; F_C — площадь невидимой зоны (силуэта).

Обзорность определяется светотеневым методом или методом панорамного фотографирования через всю площадь окон кабины и отдельно через секторы окон, очищаемых стеклоочистителями.

Испытания проводят на горизонтальной площадке с бетонным или асфальтобетонным покрытием с наклоном не более 1° к горизонтальной поверхности. В конце площадки перпендикулярно к ее поверхности и к продольной оси симметрии должен быть установлен щит шириной 10 м и высотой 5 м. На поверхность площадки и щита наносится координатная сетка со стороной квадрата 1 м.

Во время опытов трактор устанавливается неподвижно таким образом, чтобы оси симметрии вертикального щита, площадки и колес располагались в одной вертикальной плоскости. Расстояние от центра сиденья до вертикального щита по ходу движения трактора должно быть 15 м. Источник света или объектив фотоаппарата располагается в продольной вертикальной плоскости, условно проходящей через сиденье водителя. Координаты точки K показаны на рис. 4.5. При определении точки K на сиденье должен находиться груз массой 75 кг.

При светотеневом методе определения обзорности мощность источника света в точке K должна быть не менее 200 Вт. Освещенность площадки посторонним источником не выше 0,1 лк. Панорамное фотографирование осуществляется при восьми положениях объектива через каждые 45° поворота его в горизонтальной плоскости.

При испытаниях определяется граница перехода невидимой части на поверхности площадки и плоскости щита в видимую.

Результаты испытаний светотеневым методом оформляются в виде схемы обзорности, как показано на рис. 4.6. При применении метода панорамного фотографирования результаты испытаний представляются в виде фотографий.

Эффективность наружного освещения. Эффективность наружного освещения определяется методом непосредственных измерений освещенности. Испытания проводятся на той же площадке, что и при определении обзорности, при таком же положении трактора. Координаты источника света и его мощность соответствуют правилам определения обзорности. Освещенность должна измеряться в точках, координаты которых указаны в «Единых требованиях».

Напряжение на клеммах источника тока во время опытов не ниже номинального, превышение напряжения над номинальным не более 5%. Источники света работают в режиме дальнего света. Для измерения освещенности применяются люксометры с допустимой погрешностью измерений не более $\pm 0,25$ лк.

Микроклимат на рабочем месте. Микроклимат на рабочем месте водителя определяется путем измерения температуры, скорости и относительной влажности воздуха в кабине трактора во время его работы. Испытания проводятся в зимний и летний периоды.

В летний период соблюдаются следующие условия и режимы работы:

температура воздуха должна быть не более чем на 5°C ниже средней температуры наружного воздуха в 13 ч местного времени самого жаркого месяца, характерного для данной климатической зоны;

погода — солнечная;

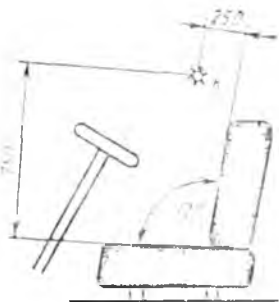
скорость ветра не более чем на 25% выше средней скорости ветра в период работы трактора в данной зоне испытаний;

трактор (сельскохозяйственный) должен выполнять один из видов работ по обработке почвы или другие технологические операции (специальные тракторы) при скорости движения в пределах 1,5...3 м/с;

средняя нагрузка двигателя должна быть $(70 \pm 15) \%$ номинальной мощности;

направления движения трактора — навстречу и по потоку окружающего воздуха, отклонение от этого направления не должно превышать 30° ;

двери и окна кабины закрыты;



Р и с. 4.5. Координаты точки К расположения источника света или объектива фотоаппарата при определении обзорности

средства нормализации температуры воздуха в кабине (например, вентилятор, солнцезащитные средства) и все регулировки, предусмотренные в конструкции трактора, переведены на режим работы, соответствующий летнему периоду; опыты проводят при включенном и выключенном кондиционере или охладителе;

измерения проводятся в период от 11 до 16 ч, перед началом опытов трактор должен проработать не менее 4 ч.

Условия и режимы испытаний в зимний период должны быть следующими:

температура воздуха не более чем на 5°C выше минимальной температуры наружного воздуха в период работы трактора;

расстояние пробега трактора при внутрихозяйственных транспортных работах — 5...15 км;

тракторы, использование которых на транспортных работах не предусмотрено, выполняют работы, характерные для данной зоны в зимний период работы;

состав агрегатов соответствует рекомендациям завода-поставщика;

скорость движения на транспортных работах для колесных тракторов не ниже 60% и для гусеничных не ниже 70% от расчетной скорости на высшей транспортной передаче;

двери и окна кабины закрыты, отопитель кабины включен на режим, обеспечивающий максимальную теплопроизводительность;

установлены все средства теплоизоляции (например, капот на двигатель), а положение всех регулировок, предусмотренных в

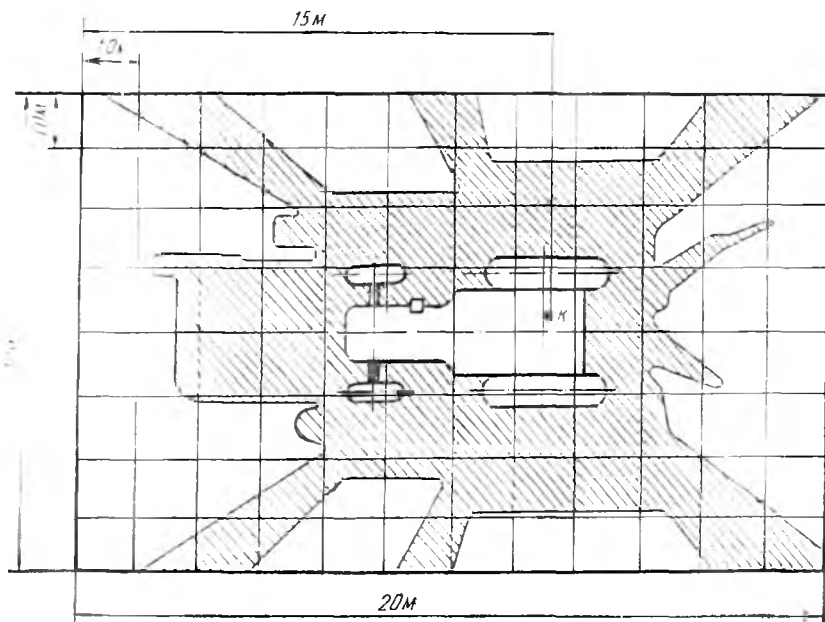


Рис. 4.6. Схема обзорности

Табл. 4.2. Измеряемые параметры и погрешности измерений

Измеряемый параметр	Рекомендуемый прибор	Погрешность измерения, не более
1. Температура воздуха в кабине в точках на продольной вертикальной плоскости, проходящей через середину сиденья водителя: на высоте 700 мм от пола на уровне груди водителя на высоте 100 мм от пола в зоне ступней водителя	Термометры	$\pm 1^\circ\text{C}$
2. Температура окружающей среды	То же	$\pm 1^\circ\text{C}$
3. Относительная влажность воздуха в геометрическом центре кабины	Аспирационные психрометры	2%
4. Относительная влажность окружающей среды	То же	$\pm 2\%$
5. Скорость движения воздуха в кабине на высоте 700 мм на уровне груди водителя	Анемометр, анемораф	$\pm 0,1$ м/с
6. Скорость ветра	То же	$\pm 0,1$ м/с
7. Продолжительность опыта	Секундомер	± 5 с
8. Продолжительность работы трактора	Часы с секундной стрелкой	± 1 мин

конструкции трактора, соответствует рекомендациям заводов-поставщиков при использовании трактора в зимнее время;

измерения проводятся через каждый час после начала работы трактора в течение четырех часов.

Параметры, определяемые в процессе испытаний, точность их измерений, а также рекомендуемые приборы приведены в табл. 4.2.

При измерениях температуры, влажности и скорости движения воздуха в кабине датчики приборов устанавливаются в точках, координаты которых указаны в пунктах 1, 3, 5 табл. 4.2, а при измерениях этих же параметров, но окружающей среды — на высоте 1,5 м от поверхности дороги или поля, на котором проводятся испытания. Разница во времени между измерениями параметров в кабине и окружающей среды не должна превышать 15 мин.

При измерениях влажности воздуха показания сухого и влажного термометров снимаются через 2...3 мин после начала работы аспирационного вентилятора. Относительная влажность воздуха определяется исходя из показаний сухого и влажного термометров по психрометрическим таблицам.

Погрешность определения скорости движения воздуха в кабине должна быть в пределах 30...60 с. Измерения следует начинать не ранее, чем через 15 с после фиксации прибора.

Для определения показателей сравниваются результаты опытов, выполненных при различных условиях окружающей среды и режимах работы трактора. Средняя температура воздуха в кабине соответствует среднеарифметическому значению, полученному по результатам измерений в трех точках с координатами, указан-

ными в пункте 1 табл. 4.2. Перепады температуры воздуха по высоте кабины определяются по разности температур воздуха на высоте 1000 и 100 мм от пола. Перепад между средней температурой воздуха в кабине и температурой окружающей среды равен их разности.

Предельные показатели микроклимата, характеризующие нормальные условия работы водителя, приведены в «Единых требованиях».

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Содержание вредных веществ (оксида углерода, акролеина, тетраэтилсвинца, углеводорода, паров топлива и т. д.) в кабине определяют методом отбора проб с последующим их анализом. Опыты проводят при работе трактора под нагрузкой, составляющей $(70 \pm 15) \%$ номинальной мощности двигателя, при этом окна и двери должны быть закрыты, а приборы регулирования микроклимата включены.

Пробы воздуха отбирают из зоны дыхания водителя на высоте (760 ± 50) мм от точки *K* не ранее чем через 1 ч после начала работы трактора. Количество проб должно быть не менее 5, интервал между их взятием — 5 мин. При отборе проб измеряются и регистрируются: температура и влажность окружающего воздуха; направление и сила ветра; вид выполняемой работы.

Для определения концентрации вредодействующих веществ в кабине применяют: аспирационный прибор (отбор проб воздуха); титрометрический газоанализатор типа ТГ-5 (состав воздуха); газоанализатор типа УГ-2 и ГХ-1 (содержание оксида углерода в воздухе). Анализ состава газа выполняют в соответствии с инструкциями, прилагаемыми к приборам. Предельно допустимые нормы концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны приведены в «Единых требованиях».

Определение содержания оксида углерода производится экспрессным методом. Если хотя бы в одной пробе концентрация оксида углерода превышает предельно допустимую, следует проверить не менее 5 дополнительных проб, взятых с интервалом 5 мин.

Степень запыленности воздуха в кабине. Запыленность воздуха в кабине определяется расчетом на основании результатов взвешивания пыли, отфильтрованной из воздуха заданного объема.

Перед началом испытаний внутренние поверхности кабины очищаются от пыли с помощью пылесоса или влажной ветоши. Опыты проводят при работе трактора на севе или культивации при влажности, соответствующей агротребованиям, и скорости ветра не более 5 м/с, относительная влажность окружающего воздуха при этом не должна быть выше 70%. Пробы воздуха отбираются при движении трактора по ветру и против ветра. Отклонение от указанного направления не должно превышать 30°. Окна и двери должны быть закрыты, приборы регулирования микроклимата в кабине включены. Содержание пыли в воздухе рабочей зоны определяется с 11 до 16 ч местного времени.

Пробы воздуха отбирают в кабине в точке *K* (см. рис. 4.5), из

окружающей среды — в точках, находящихся на расстоянии 100 мм от центров переднего и заднего смотровых окон кабины, через каждый час работы трактора на протяжении рабочего дня. На каждом рабочем месте производят не менее 5 измерений. Отбор проб проводится с помощью аспирационного прибора. Объем воздуха каждой пробы должен быть не менее 50...60 л. Длительность отбора пробы при этом должна составлять 2,5...3 мин.

Концентрация пыли в воздухе (мг/м^3) определяется по формуле

$$K_n = \frac{(m_2 - m_1) \cdot 6 \cdot 10^4}{v \cdot t}$$

где m_1, m_2 — масса фильтра соответственно до и после пропускания через него пробы воздуха, мг; v — скорость отбора пробы, л/мин; t — время отбора пробы, с.

Фильтр при определении загрязненности воздуха взвешивают на аналитических весах, при этом погрешность измерений не должна превышать ± 2 мг. Скорость отбора проб воздуха определяется реометром, погрешность измерений должна быть не более $\pm 0,2$ л/мин. Погрешность при измерении времени отбора пробы допускается не более ± 1 с.

Средняя концентрация пыли в воздухе на рабочем месте водителя — это средняя арифметическая всех измерений. Предельно допустимая концентрация пыли неорганического, животного и растительного происхождения приведена в «Единых требованиях».

Уровень шума на рабочем месте водителя. Шум на рабочем месте водителя измеряется при работе трактора на установленном режиме. Причем колесный трактор испытывается во время движения по дороге с бетонным или асфальтобетонным покрытием, а гусеничный — по глинистой дороге. Уклон дороги не должен превышать 2° .

Место испытаний должно быть удалено от сооружений и лесных посадок высотой более 5 м и шириной более 10 м не менее чем на 25 м, с тем чтобы избежать эффекта экрана. Уровень шума на месте испытаний, создаваемого посторонними источниками, включая загрузочное устройство, должен быть ниже уровня шума, создаваемого трактором, не менее чем на 4 дБ. При шумовых помехах до 9 дБ вводят поправку, которую вычитают из полученного значения. При превышении уровня шума трактора над уровнем шума помехи на 4...5 дБ поправка составляет 2 дБ, а при 6...9 дБ — 1 дБ. Не допускается проводить измерения при скорости ветра более 5 м/с и во время дождя, снегопада и грозы.

Измерения шума производят во время выполнения трактором технологической операции при нагрузке двигателя не менее 80% номинальной эксплуатационной мощности. Опыты должны проходить при закрытых окнах и дверях кабины с включенными приборами регулирования микроклимата, а при открытых окнах — с включенными приборами.

При испытаниях на каждой транспортной и рабочей передачах по частотной характеристике A устанавливается максимальный

уровень звука L_A . Уровень звукового давления в октавных полосах определяют на передаче, на которой скорость трактора близка к 2 м/с, и на той, на которой в рабочем диапазоне частот вращения двигателя уровень шума L_A окажется наибольшим.

При испытаниях применяют шумоизмерительную аппаратуру, соответствующую ГОСТ 17187—81 и ГОСТ 17168—82. Погрешность измерений уровня шума не должна быть выше 1 дБ.

При измерении шума на рабочем месте микрофон должен располагаться таким образом, чтобы центр мембраны был смещен от точки K вверх на (790 ± 50) мм, вперед по горизонтали на (150 ± 20) мм, вправо или влево (в сторону наибольшего уровня шума) по горизонтали на (200 ± 10) мм.

Шум измеряют не менее трех раз. Если разница между результатами измерений в каждой точке превышает 2 дБ для уровня звука и 3 дБ для звукового давления, то производят повторные трехкратные измерения, среднее арифметическое значение которых принимается за окончательный результат.

Уровень посторонних шумов и скорость воздуха окружающей среды измеряются в начале, середине и конце испытаний в центральной части дороги на высоте 1,2 м от ее полотна. Двигатель испытываемого трактора при этом должен быть включен.

Параметры вибрации рабочего места водителя. При работе трактора возникают вибрации за счет неуравновешенных масс двигателя. Эти вибрации имеют достаточно высокую частоту и передаются на органы управления, сиденье водителя и другие элементы кабины, что может привести к повышенной утомляемости водителя и снижению его работоспособности. Наибольшие вибрации наблюдаются при жестком креплении кабины к раме или корпусу трансмиссии и при жестком соединении двигателя с трансмиссией, что характерно для колесных тракторов классов 0,6...2 кН, у которых двигатель крепится к корпусу муфты сцепления.

Вибрации органов управления, сиденья и других элементов кабины, с которыми в процессе работы контактирует водитель, следует определять методом непосредственных измерений. Условия работы трактора при измерении вибраций должны выбираться в соответствии с табл. 4.3. Подвеска сиденья регулируется по массе водителя. Давление в шинах должно соответствовать номинальному для выбранной технологической операции, а износ почвозацепов шин не должен превышать 35% первоначальной их высоты. Перед началом испытаний все системы трактора прогреваются до рабочей температуры.

До начала измерений трактор разгоняют таким образом, чтобы при въезде на измерительный участок и на всем его протяжении он имел постоянную скорость движения.

При испытаниях следует измерять уровни виброскорости на сиденье и на полу кабины у ног водителя, у места обхвата обода рулевого колеса и рукояток рычагов поворота. Измерительная ось виброизмерительного преобразователя должна быть перпендикулярна к опорной поверхности подушки сиденья или совпадать с

Табл. 4.3. Условия работы трактора при измерении вибраций

Испытываемый трактор	Основная технологическая операция	Рельеф	Скорость движения, км/ч	Направление движения
Колесный универсально-пропашной тяговых классов 6... 20 кН	Транспортные работы	Искусственный трек или грунтовая дорога	15±2	—
Колесный общего назначения тяговых классов 30... 50 кН и более	Пахота	Искусственный трек или стерня злаковых культур	8...10	Вдоль направления предыдущей пахоты почвы
	Транспортные работы	Искусственный трек или грунтовая дорога среднего качества	15±2	—
Гусеничный общего назначения тяговых классов 30... 50 кН и более	Пахота	Стерня злаковых культур	4...6	Вдоль направления предыдущей пахоты почвы
	Стерня хлопчатника	Стерня хлопчатника	4...7	Вдоль рядков
Свекловодческий	Междурядная обработка посевов свеклы, вторая культивация	Свекловичное поле первой культивации	7±0,5	Вдоль рядков
Хлопководческий	Продольная культивация посевов хлопчатника	Поле хлопчатника	5±0,5	То же

Примечание. Параметры искусственных треков, имитирующих грунтовую дорогу и стерню злаковых культур, выбираются по нормативно-технической документации.

направлением управляющего воздействия руки водителя на орган управления.

Вибродатчики крепятся к объекту измерений способами, указанными в рекомендациях заводов-поставщиков по использованию виброизмерительной аппаратуры. При этом масса датчика не должна превышать 5% массы груза вибродатчика.

Измерение параметров вибраций на сиденье и на органах управления следует проводить не менее 3 раз с длительностью при частотном диапазоне 1,4...5,6 Гц — не менее 20 с, 5,6...22 Гц — не менее 2 с, при частотах более 22 Гц — не менее 1 с.

Оценочные параметры вибрации (m/s^2) на сиденье водителя колесных тракторов общего назначения при испытаниях в условиях, приведенных в табл. 4.3, рассчитывают по зависимости

$$\sigma_i^* = \sigma_i \frac{\sigma_{zi}^*}{\sigma_{zi}}$$

где σ_i^* — оценочное среднее квадратическое виброускорение в i -м диапазоне частот, m/s^2 ; σ_i — среднее квадратическое виброускорение

в i -м диапазоне частот, измеренное при испытаниях, м/с^2 ; σ_{zi}^* — средняя квадратическая высота неровностей типового микропрофиля агрофона или дороги в i -м диапазоне частот, см ; σ_{zi} — средняя квадратическая высота неровностей микропрофиля агрофона или дороги в i -м диапазоне частот, измеренная при испытаниях, см .

Во всех остальных случаях за оценочную вибрацию принимается среднее арифметическое результатов трех измерений.

Высота неровностей микропрофиля агрофона измеряется на длине 100 м с шагом 0,1 м после прохода трактора, а дороги — на длине 200 м до и после прохода трактора.

4.4. БЕЗОПАСНОСТЬ РАБОТЫ

Общие положения. Какой бы экономический эффект ни давала машина, как бы прогрессивна ни была технология, без удовлетворения требований безопасности и санитарных норм труда она не может быть рекомендована в серийное производство и снимается с испытаний.

Основные нормативные величины показателей безопасности и гигиены труда имеются в отраслевых, государственных стандартах и других нормативно-технических документах. Безопасность работы на тракторе определяется эффективностью торможения, безопасностью сцепки, техникой безопасности и противопожарной безопасностью. Общие требования по безопасности работ изложены в «Единых требованиях».

Наличие устройств и средств обеспечения техники безопасности и условий труда проверяется при осмотре трактора. Кроме того, проводятся специальные испытания по определению: эффективности тормозов трактора и тракторного поезда; защитных свойств кабины при опрокидывании трактора.

Эффективность действия тормозов трактора и тракторного поезда. Необходимость этого вида испытаний обусловлена ростом скоростей движения, увеличением объема транспортных работ, выполняемых тракторами, и использованием их на дорогах с интенсивным движением.

Комплектация трактора, тип протектора шин, состав тракторного поезда, регулировка тормозов трактора и прицепов должны соответствовать рекомендациям заводов-изготовителей. При испытаниях тракторного поезда прицепы загружаются в соответствии с их грузоподъемностью так, чтобы груз был равномерно распределен по площади прицепа. Плотность груза должна быть 1,2... 2 т/м³.

При определении эффективности действия остановочных тормозов трактора или тракторного поезда рекомендуются следующие условия и режимы:

опыты проводятся при движении трактора или тракторного поезда по ровной сухой дороге с асфальтобетонным покрытием на максимальной транспортной скорости, уклон дороги на участке

торможения — не более 1° , скорость ветра во время опытов — не более 3 м/с, температура окружающего воздуха от -5°C до $+30^\circ\text{C}$;

характер усилия воздействия на педаль управления тормозами соответствует рекомендациям завода-изготовителя применительно к экстренному торможению до полной остановки, во время торможения трансмиссия трактора должна быть разъединена с двигателем;

испытания проводятся при движении трактора в прямом и обратном направлениях на одном и том же участке дороги, для каждого направления проводятся три опыта с интервалами между отдельными торможениями не менее 5 мин.

При определении эффективности действия стояночного тормоза трактора условия и режимы должны быть следующими:

трактор или тракторный поезд испытывается при действии остановочных и стояночных тормозов на участке сухой укатанной дороги с уклоном 20° для колесных тракторов и 30° — для гусеничных; влажность почвы на глубине 5 и 10 см — не более 15%, твердость — не менее 3 МПа; скорость ветра — не выше 3 м/с;

после отключения остановочных тормозов торможение обеспечивается стояночным тормозом трактора при фиксированном положении рычага управления; усилие, прикладываемое к рычагу, должно соответствовать нормативному; тормоза прицепов выключены;

испытания трактора и тракторного поезда проходят при подъеме и спуске, на одном и том же участке дороги; при каждой остановке проводится по два опыта. Длительность каждого опыта и интервалы между отдельными торможениями — не менее 5 мин.

Параметры, измеряемые при определении эффективности остановочных тормозов, и их точность должны соответствовать указанным в табл. 4.4.

Для характеристики весовых параметров трактора или тракторного поезда перед началом испытаний следует определить их массу и распределение нагрузки по осям трактора и прицепов. Измерение скорости движения трактора производится при установившемся режиме перед началом торможения. Путь торможения соответствует расстоянию, пройденному одной из точек трактора от момента нажатия на педаль до полной остановки. Замедление трактора и усилие на педали тормоза и в сцепке трактора с прицепом непрерывно регистрируются в течение всего времени торможения. При наличии соответствующих приборов допускается измерять только максимальные замедления трактора и усилия сжатия в сцепке.

Начало отсчета времени опыта, проводимого при оценке стояночного тормоза, должно соответствовать моменту выключения остановочного тормоза. В процессе испытания отмечают проворачивание колеса или движение поезда, если они имели место. Усилие на рычаге управления стояночным тормозом регистрируется непрерывно до установки рычага на фиксатор.

Твердость и влажность почвы определяются в трех местах, рав-

**Табл. 4.4. Параметры, замерыемые при определении эффективности
остановочных тормозов**

Наименование параметра	Применяемые приборы	Погрешность измерений, не более
Скорость движения трактора в начале торможения	«Пятое» колесо, отметчик времени, тахогенератор	$\pm 1\%$
Путь торможения	Мерные ленты	$+0,05$ м
Замедление при торможении	Акселерометр	$\pm 0,2$ м/с ²
Усилие на тормозной педали	Динамометрические и тензометрические устройства, стрелочные и с регистрацией результатов	$\pm 3\%$
Усилие на рычаге управления стояночным тормозом	То же	$\pm 3\%$
Усилие в сцепке трактора с прицепом	»	± 100 Н
Скорость ветра	Анемометр, анемограф	$\pm 0,2$ м/с
Влажность почвы на глубине 5 и 10 см	Бюксы, аналитические весы, сушильный шкаф измерителя влажности	$\pm 1\%$ от максимально допустимой
Твердость почвы на глубине 5 и 10 см	Твердомеры интегрирующие	$\pm 5\%$ от минимально допустимой
Время опыта	Секундомеры механические, импульсные счетчики	$\pm 3\%$

номерно распределенных по длине участка дороги. Измерения проводятся во время испытаний и повторяются 3 раза.

Скорость ветра измеряется в начале, в середине и в конце испытаний в центральной части участка, на высоте 1,5 м от поверхности дороги.

Определение защитных свойств кабины при опрокидывании трактора. Введение этого вида испытаний связано с дальнейшим совершенствованием безопасности работы водителя, особенно при работе в горных условиях на транспорте.

Защитные свойства кабины определяются воздействием на нее статических и динамических нагрузок. На период испытаний трактор закрепляется на площадке с бетонным покрытием. Допускаются и другие материалы, по твердости не уступающие бетону. Уклон площадки не должен быть больше 1°. Шины трактора свободны от жидкого балласта; съемные детали (устройства) кабины, устанавливаемые по мере необходимости и повышающие ее прочность, сняты; сиденье водителя — в заднем верхнем положении; рычаг переключения передач — в нейтральном положении; стояночный тормоз выключен.

Защитные свойства каркасов кабин тракторов массой до 6 т определяются ударами маятниковым грузом с последующим приложением вертикальной статической нагрузки через брус, расположенный поперек кабины. Допускается применять горизонтальные статические нагрузки (сзади, спереди, сбоку) с последующим при-

ложением вертикальной статической нагрузки через брус, расположенный поперек кабины.

Последовательность применения динамических нагружений при испытании кабин тракторов, имеющих нагрузку на переднюю ось менее 50% их массы, — удар сзади, приложение вертикальной статической нагрузки к задней части кабины, удар спереди, удар сбоку, приложение вертикальной статической нагрузки к передней части кабины; для тракторов, имеющих нагрузку на переднюю ось более 50% их массы, — удар спереди, удар сбоку, приложение вертикальной статической нагрузки к передней части кабины.

Испытаниям подвергается один и тот же каркас кабины без балластных грузов. В интервалах нельзя ремонтировать или выпрямлять поврежденные элементы.

Удар наносится подвешенным на цепях грузом массой 2 т, имеющим форму параллелепипеда с размерами, указанными на рис. 4.7. Ось подвеса должна располагаться на высоте 6 м от поверхности площадки. В момент удара сзади и спереди цепи и ударяющая плоскость груза должны составлять с вертикалью угол 20° (рис. 4.8). Если угол между элементом кабины и вертикалью в точке контакта (удара) больше 20° , подвес груза регулируется таким образом, чтобы ударяющая плоскость груза и элемент кабины или каркаса были параллельны, а цепи составляли с вертикалью угол 20° . При нанесении удара сбоку цепи должны составлять с вертикалью угол 10° . Если элемент, по которому наносится удар, не занимает вертикального положения, то его следует отрегулировать таким образом, чтобы ударяющая плоскость груза и элемент кабины были параллельны.

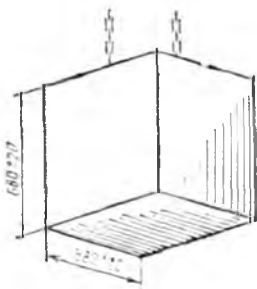


Рис. 4.7. Форма и размеры груза для нанесения удара по кабине

Перед испытаниями трактор прикрепляется стальными проволоочными тросами, имеющими натяжное устройство, к балкам, смонтированным в поверхность площадки. Тросы должны быть круглыми, с мягкой сердцевинной; предел прочности проволоки на разрыв — 1800 МПа. Диаметр тросов — не менее 13 мм для крепления тракторов массой до 5 т и не менее 16 мм для тракторов массой свыше 5 т. После натяжения тросов под колесами трактора со стороны, противоположной удару, устанавливают и закрепляют брус сечением 150×150 мм.

Давление в шинах тракторов и вертикальная деформация шин при натяжении тросов должны иметь соответственно следующие значения:

(100 ± 10) кПа и (25 ± 3) мм — для тракторов с четырьмя ведущими колесами одинакового размера;

(150 ± 10) кПа и (20 ± 3) мм в передних колесах, (100 ± 10) кПа и (20 ± 3) мм в задних колесах — для тракторов с четырьмя ведущими колесами при передних колесах меньшего размера;

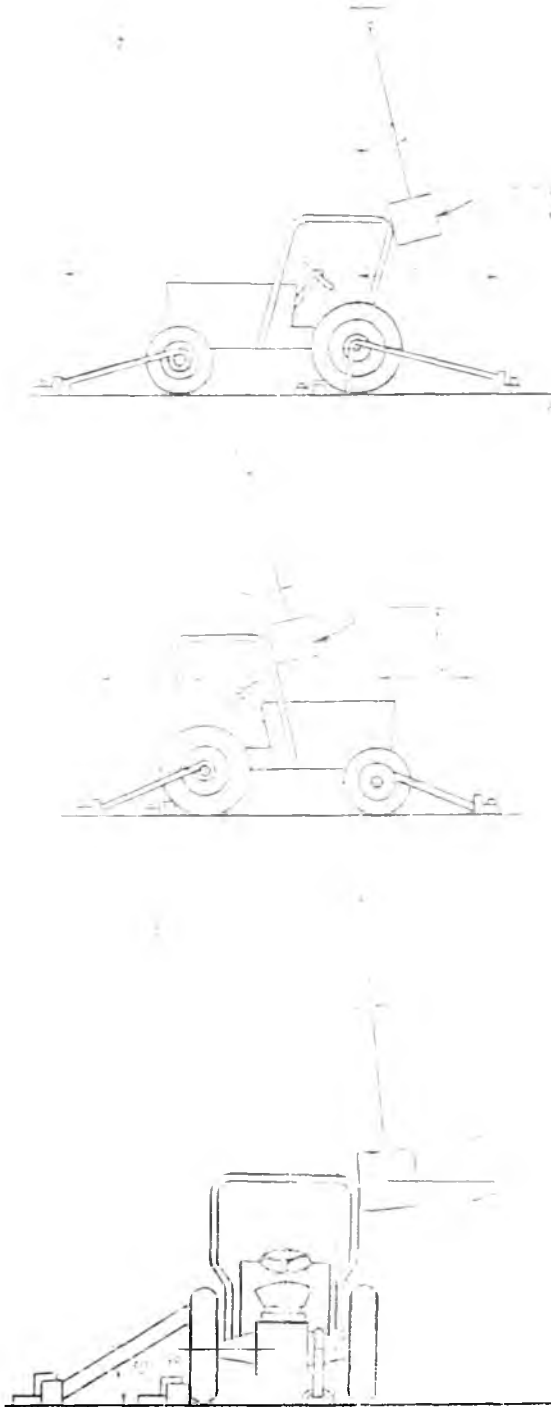


Рис. 4.8. Схемы установки трактора для нанесения удара по кабине:
а — сверху, б — сбоку, в — сзади.

(200 ± 10) кПа и (15 ± 3) мм в передних колесах, (100 ± 10) кПа и (25 ± 3) мм в задних колесах — для тракторов с задними ведущими колесами при передних колесах меньшего размера, чем задние.

Удар сзади наносят на расстоянии $2/3$ от средней вертикальной продольной плоскости трактора со стороны, противоположной нанесению бокового удара. Если кабина имеет скругленные углы и указанное расстояние выдержать трудно, то удар наносят в точку начала скругления. При наличии на кабине выступающих элементов, не позволяющих нанести удар в заданное место, к элементу крепят пластину длиной 300 мм, не влияющую на прочность каркаса кабины.

Высота (мм) подъема маятника

$$H = 2,165 \cdot 10^{-8} m_a L^2,$$

где m_a — эксплуатационная масса трактора без водителя и снимаемого балласта, кг; L — база трактора, мм.

Удар спереди должен приходиться ближе к стороне, по которой наносится удар сбоку. Высота подъема маятника определяется по формулам: для трактора массой от 800 кг до 2 т — $H = 25 + 0,07 m_a$; для тракторов массой от 2 до 6 т — $H = 125 + 0,02 m_a$.

Удар сбоку наносят со стороны, представляющей наибольшую опасность для водителя, в вертикальной плоскости, перпендикулярной к плоскости симметрии кабины, и на расстоянии 200 мм впереди точки отсчета сиденья. Высота подъема маятника $H = 25 + 0,2 m_a$ — для тракторов массой от 800 кг до 2 т, $H = 125 + 0,15 m_a$ — для тракторов массой от 2 до 6 т.

Для приложения вертикальной статической нагрузки трактор поднимают, устанавливают на козлы и закрепляют за оси так, чтобы прилагаемая нагрузка не передавалась на колеса. Нагрузка передается через брус шириной 250 мм. При ее приложении к задней части кабины брус устанавливают поперек самого высокого заднего элемента кабины, при этом равнодействующая нагрузки должна быть расположена в вертикальной продольной плоскости симметрии трактора. Прилагаемая нагрузка, численно равная удвоенной эксплуатационной силе тяжести трактора, прикладывается в течение 5 с после прекращения любого визуально определяемого перемещения элементов каркаса кабины (рис. 4.9).

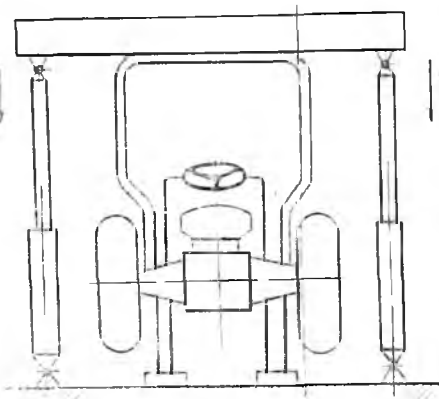


Рис. 4.9. Схема установки трактора для приложения вертикальной статической нагрузки

При вертикальной статической нагрузке на переднюю часть кабины методи-

ка проведения испытаний практически не отличается. Однако, если передняя часть каркаса не выдерживает силы сжатия, нагрузка прилагается до тех пор, пока крыша кабины, деформируясь, не соприкоснется с плоскостью, соединяющей верхнюю часть каркаса с передней частью трактора. После этого нагрузку снимают, трактор устанавливают в положение, при котором нагрузка приходится на часть конструкции, служащую опорой трактору при его полном опрокидывании. Приложение вертикальной статической нагрузки, равной удвоенной эксплуатационной силе тяжести трактора, повторяется.

Статическая сила сжатия при испытаниях каркаса кабины создается равномерным увеличением нагрузки от нуля до заданного значения.

При испытаниях следует измерять упругие и остаточные деформации элементов кабины и регистрировать их разрушение или появление трещин. Точность измерений должна быть не менее ± 2 мм. Упругие и остаточные деформации измеряются после каждого режима нагружения. При этом должно быть выявлено, проникают ли деформированные элементы в свободную зону кабины.

Изменение формы кабины и ее деталей фиксируется путем фотографирования.

4.5. АГРЕГАТИРОВАНИЕ ТРАКТОРА С СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ МАШИНАМИ

Для полного представления о возможности агрегатирования трактора с прицепными и навесными машинами и орудиями в программу испытаний включают опыты по составлению машинно-тракторных агрегатов (МТА) для основных технологических операций. При оценке агрегатирования трактора с машинами рассматривают следующие показатели: конструктивную увязку трактора с машинами; трудоемкость составления агрегата; энергетические возможности трактора; статическую нагруженность ходовой системы трактора в агрегате с машинами; статическую устойчивость агрегата; радиус поворота; проходимость в междурядьях обрабатываемых культур; степень увязки тяговых свойств трактора с тяговым сопротивлением машин; возможность работы с валом отбора мощности.

Конструктивная увязка трактора с машинами и орудиями проверяется методом составления машинно-тракторного агрегата и апробирования его в работе в соответствии с требованиями технологии. Различают пять вариантов навески прицепных и навесных машин: задняя навеска — машину располагают за ведущей осью трактора; средняя — перед ведущей осью трактора между его передними и задними колесами; фронтальная — перед трактором; боковая — рабочие органы машины находятся сбоку от трактора, вне его габаритов; эшелонированная (секционная) — отдельные секции машины размещают сбоку от трактора.

По способу присоединения машины к трактору навески разделяются на двухточечные и трехточечные.

При испытаниях проверяют: совпадение мест крепления машины и присоединительных элементов трактора; соответствие размеров, от которых зависит возможность соединения и совместной работы, трактора и машины.

Трудоемкость составления агрегата оценивается исходя из затрат времени и количества персонала, участвующего в выполнении операции.

Затраты времени каждым исполнителем определяют хронометрированием. Погрешность измерений при этом должна быть не выше 5%. Трудоемкость переналадки трактора связана с подготовкой его к агрегатированию, например, переоборудованием двухточечной навески в трехточечную и наоборот. При этом исходное положение трактора общего назначения должно соответствовать его работе на пахоте, универсально-пропашного — на междурядной обработке (культивации), специального — на наиболее характерной для его использования технологической операции. Время на подготовку машины к агрегатированию и транспортировку ее к трактору не должно учитываться.

Трудоемкость (чел.-ч) составления агрегата или его переналадки

$$T = \sum_{i=1}^m n_i t_i,$$

где m — количество операций; n_i — число человек, выполняющих i -ю операцию; t_i — время выполнения i -й операции, ч.

Энергетические возможности трактора для обеспечения работы агрегируемых машин оценивают по степени использования мощности двигателя:

$$\lambda = N_{e \text{ исп}} / N_{e \text{ max}},$$

где $N_{e \text{ исп}}$ — мощность, расходуемая при выполнении сельскохозяйственной операции; $N_{e \text{ max}}$ — максимальная мощность двигателя.

Используемая мощность двигателя определяется путем непосредственных измерений. Можно также определять ее с заданной достоверностью результатов на основании измерений часового расхода топлива и частоты вращения вала двигателя при выполнении операции.

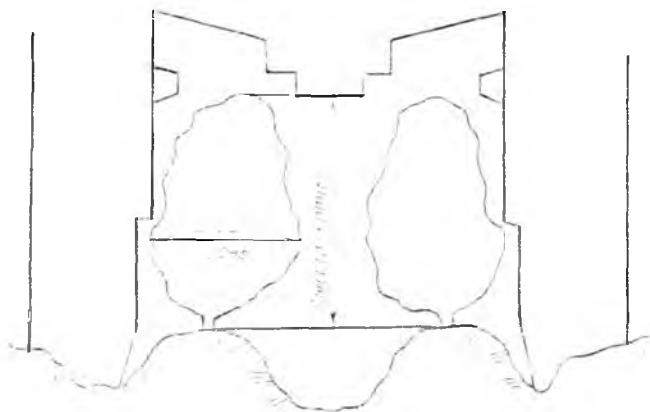
Статическая нагруженность ходовой системы трактора в агрегате с машинами оценивается нагрузкой на его движители таким же способом, как и при определении эксплуатационной массы трактора. При этом навесные машины должны быть заправлены технологическим материалом и находиться в транспортном положении. Комплектация трактора должна соответствовать его эксплуатационной массе.

Статическая устойчивость машинно-тракторного агрегата определяется по методике, используемой при

оценке статической устойчивости трактора. При этом комплектация трактора должна соответствовать эксплуатационной массе, а машины заправляться технологическим материалом и находиться в транспортном положении.

Определение радиусов поворота трактора и машинно-тракторного агрегата производят на стерне и поле, подготовленном под посев.

Во время опыта движение трактора осуществляется по траектории окружности с наименьшим радиусом поворота, который мо-



Р и с. 4.10. Схема вписываемости крон растений в абрис трактора

жет обеспечить механизм поворота без механических повреждений трактора и машины. Выполняется, как минимум, по одному кругу при повороте налево и направо. Поворот производится с применением тормозов и без них.

Наименьший радиус поворота определяется измерением диаметра окружности, проведенной через середину следа переднего наружного колеса или забегающей гусеницы. Габаритный радиус поворота, или радиус горизонтальной проходимости, связан с измерением диаметра окружности, описанной проекцией на площадку точки трактора или агрегатируемой с трактором машины, наиболее удаленной от центра поворота.

Проподимость в междурядьях обрабатываемых культур тракторного агрегата характеризуется: дорожным просветом между поверхностью дороги и наиболее низкими частями остова трактора; защитными зонами при проходе трактора в междурядьях пропашных культур и степенью повреждаемости растений; радиусами горизонтальной проходимости, поворота трактора и агрегата; высотой препятствия (камень, пень и др.), при наезде на которое одной из опор колесного и гусеничного тракторов с балансирными подвесками остальные не отрывались бы от зем-

ли, а при наезде одного конца гусеницы не отрывался бы от земли другой при полном контакте с землей второй гусеницы.

Вписываемость крон обрабатываемых растений в абрис трактора определяется, как указано на рис. 4.10. Размеры растений должны соответствовать при этом средним результатам измерений контура, выполненным на опытном участке.

Защитные зоны для пропашных тракторов

$$X = \frac{n-1}{2} S_m - \frac{B-b}{2};$$

$$Y = \frac{B-b}{2} - \frac{n-1}{2} S_m,$$

где X — защитная зона от внешнего края движителя трактора; Y — защитная зона от внутреннего края движителя трактора; n — число рядков растений, находящихся между движителями трактора; S_m — ширина междурядья обрабатываемой культуры; B — ширина колеи трактора; b — ширина движителя трактора.

Для пропашных тракторов с бесступенчато изменяющейся шириной колеи защитные зоны должны определяться по формуле

$$X = Y = \frac{S_m - b}{2}$$

Повреждаемость растений устанавливается по стандартам на испытания соответствующих сельскохозяйственных или других машин с уточнением числа растений, поврежденных трактором и машиной.

Проезжимость трактора через препятствия определяется опытом путем при наезде на препятствие или же расчетным путем.

Степень увязки тяговых свойств трактора с тяговым сопротивлением машин определяется расчетным путем с помощью коэффициента использования тягового усилия трактора:

$$\eta = R_m / P_{кр i},$$

где R_m — сопротивление машины в агрегате; $P_{кр i}$ — сила тяги на крюке при i -м виде работ.

Расчеты по агрегатированию должны проводиться для основных технологических операций. Например, на сельскохозяйственных тракторах выполняют в основном вспашку, культивацию, посев, междурядную обработку, уборку и транспортные работы. Расчеты проводятся при условии работы на горизонтальных участках.

Результаты расчета должны быть проанализированы с точки зрения рациональности комплектования агрегата и увязки габаритных размеров трактора с габаритными и кинематическими размерами агрегируемой машины. Данные проверяют экспериментально в ходе эксплуатационно-технологических испытаний. В составе каждого проверяемого агрегата трактор должен отработать от одной до трех контрольных смен.

Испытания проводятся без снятия ВОМ с трактора. Подсоединение ВОМ к нагружающему устройству должно осуществляться двухшарнирным карданным валом; углы между валами — не более 2° .

Нагрузка на ВОМ создается тормозными устройствами, которые используются для испытаний двигателей без снятия их с трактора. При испытаниях температура окружающего воздуха должна быть $(23 \pm 7)^\circ\text{C}$, а атмосферное давление — не ниже 96,6 кПа. Программой могут предусматриваться также испытания при характерных условиях эксплуатации. Атмосферное давление, температуру и влажность окружающей среды измеряют перед трактором на расстоянии 2...2,5 м от него и на высоте 1,5...2 м от поверхности площадки.

Механизмы и оборудование, не передающие мощность от двигателя к ВОМ (насосы гидросистем, компрессор, кондиционер и др.), в процессе испытаний отключаются или работают без нагрузки, если конструкцией не предусмотрено их отключение. Все измерения выполняют при установившемся не менее одной минуты режиме работы. Максимальная мощность на ВОМ определяется при установленной предприятием частоте вращения коленчатого вала двигателя и положении органов управления регулятором частоты вращения, соответствующем полной подаче топлива. Измерения производятся в течение 2 ч с интервалами в 10 мин. Если мощность, полученная хотя бы при одном измерении, отличается от средней арифметической более чем на 2%, испытания повторяются. Повторные испытания считаются окончательными.

Испытания по оценке показателей ВОМ в зависимости от частоты вращения осуществляют следующим образом. Органы управления регулятором частоты вращения устанавливают в положение полной подачи топлива, затем последовательно снижают частоту вращения на 10% от первоначальной до частоты, равной 0,85 частоты вращения при максимальном крутящем моменте.

Показатели работы ВОМ при частичных нагрузках определяются при положении органов управления регулятором частоты вращения, соответствующем полной подаче топлива. При этом рекомендуются следующие порядок и режимы нагружения: 85% крутящего момента при максимальной мощности ($0,85 M_H$); минимальный крутящий момент не более 5% от $0,85 M_H$; 50% крутящего момента от $0,85 M_H$; крутящий момент при установленной предприятием частоте вращения коленчатого вала двигателя для определения максимальной мощности на ВОМ; 25% крутящего момента от $0,85 M_H$; 75% крутящего момента от $0,85 M_H$.

Продолжительность работы на каждом из указанных режимов — 20 мин. Программой испытаний допускается изменять нагрузки и последовательность нагружения, начиная от режима холостого хода до частоты вращения, установленной предприятием.

Испытания по определению показателей при частоте вращения

ВОМ по ГОСТ 3480—76 (540 и 1000 об/мин) проводятся в течение 1 ч с интервалом 10 мин.

Если ВОМ не предназначен для передачи максимальной мощности двигателя, нагружение должно включать повторяющиеся в течение 2 ч циклы, начиная с мощности на ВОМ и частоты вращения, установленных предприятием. При испытаниях нагрузка на ВОМ увеличивается на 20% через каждые 5 мин и поддерживается в течение 1 мин. Максимальная нагрузка ограничивается либо 20%-ной перегрузкой, либо предельными возможностями двигателя.

Расчет основных показателей по результатам испытаний ВОМ производят по формулам:

мощность на ВОМ (кВт)

$$N_{\text{ВОМ}} = M_{\text{ВОМ}} \omega_{\text{ВОМ}} \cdot 10^{-3},$$

где $M_{\text{ВОМ}}$ — крутящий момент, измеренный на хвостовике ВОМ, Н·м;
 $\omega_{\text{ВОМ}}$ — угловая скорость хвостовика ВОМ, рад/с;

расход топлива (кг/ч)

$$Q_T = m_T / t_{\text{оп}},$$

где m_T — масса топлива, кг; $t_{\text{оп}}$ — продолжительность опыта, ч;
удельный расход топлива (г/(кВт·ч))

$$q_{\text{ВОМ}} = 10^3 \cdot Q_T / N_{\text{ВОМ}},$$

частота вращения вала двигателя (об/с)

$$n_d = i_{\text{ВОМ}} n_{\text{ВОМ}},$$

где $i_{\text{ВОМ}}$ — передаточное число от вала двигателя к хвостовику ВОМ;
крутящий момент на валу двигателя (Н·м)

$$M_d = \frac{M_{\text{ВОМ}}}{i_{\text{ВОМ}} \eta_{\text{ВОМ}}}$$

где $\eta_{\text{ВОМ}}$ — КПД передачи от двигателя к хвостовику ВОМ.

Передаточные числа $i_{\text{ВОМ}}$ и КПД передачи выбираются по нормативно-технической документации на трактор по данным испытаний.

4.7. ЛАБОРАТОРНО-ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ НАВЕСНОЙ СИСТЕМЫ

Цель лабораторно-полевых испытаний навесной системы — определение основных показателей, характеризующих ее эксплуатационные качества, а также выявление изменений этих показателей при работе.

Испытания навесной системы заключаются в определении грузоподъемности навесного устройства, времени и скорости подъема и опускания груза, осадки, а также устойчивости работы навесных

машин, длины участков заглубления и выглубления рабочих органов.

Грузоподъемность навесного устройства рассматривается при последовательном увеличении массы поднимаемого им груза до предела, при котором подъемно-навесное устройство еще поднимает груз на высоту, соответствующую полному ходу поршня гидроцилиндра, при этом давление на входе в распределитель не должно быть больше 0,9 давления открывания предохранительного клапана.

При испытаниях трактор закрепляется на площадке, размеры и уклон которой такие же, как и при определении габаритных размеров трактора. Центр тяжести рамы с грузом должен находиться в точке, расположенной на расстоянии 610 мм от оси подвеса на линии, перпендикулярной к плоскости присоединительного треугольника и проходящей через середину оси подвеса.

Осадку определяют путем замера перемещения груза массой, равной 90% максимальной грузоподъемности. В начале опыта груз должен находиться в транспортном положении. Длительность опыта при этом не менее 30 мин.

При определении высоты подъема и осадки груза следует измерять вертикальное перемещение его центра тяжести по отношению к исходному положению, причем последнее должно быть зафиксировано относительно остова трактора. Осадка груза измеряется через каждые 5 мин в течение всего опыта.

Начало отсчета времени подъема или опускания должно соответствовать началу перемещения рычага управления навесным устройством, а конец отсчета — моменту остановки груза.

При испытаниях замеряют следующие показатели: массу груза m_r (кг), время подъема t_n и опускания t_o (с), время перемещения оси подвеса без груза из крайнего нижнего в крайнее верхнее положение t' (с), полную высоту подъема груза h_r (м), давление в гидравлической системе перед предохранительным клапаном p_n (кПа), осадку поднятого груза Δh (м) и температуру масла в баке гидросистемы, угол наклона стойки рамы по отношению к вертикали при верхнем положении оси подвеса, град. По полученным данным строят нагрузочную характеристику, при этом недостающие показатели рассчитываются по следующим формулам:

средняя скорость подъема $v_n = h_r/t_n$;

эффективная мощность $N_n = m_r g v_n$;

коэффициент объемных потерь $\eta_n = t_n/t'_n$;

коэффициент осадки $\eta_o = \Delta h/h$.

Устойчивость хода рабочих органов навесных машин и орудий определяется в полевых условиях путем замера через каждые 5 м глубины обработки почвы и ширины захвата на участке длиной не менее 100 м. При этом участок профилируется на длине 20...25 м. Профиль замеряется через каждый метр от натянутого по уровню вдоль стенки борозды шнура до поверхности поля и дна борозды.

Участок заглубления и выглубления рабочих органов навесного орудия определяется при движении трактора на рабочих скорос-

тях. Путь выглубления замеряется с момента перевода рычага управления гидросистемой из рабочего в транспортное положение до полного выхода рабочих органов из почвы; путь заглубления — с момента касания рабочими органами почвы до достижения их устойчивого хода на заданную глубину.

Для оценки влияния продолжительности работы трактора на показатели устойчивости работы навесной системы ее испытания следует проводить в начале и в конце приемочных испытаний трактора.

4.8. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ

4.8.1. Общие положения

Мощностные и топливно-экономические показатели двигателя оценивают по характеристикам, получаемым при тормозных испытаниях двигателя. К типовым характеристикам относятся регуляторные скоростные, нагрузочные, внутренних потерь, холостого хода и др. Методы стендовых испытаний тракторных дизелей устанавливаются ГОСТ 18509—80.

Характеристикой двигателя называют графическое изображение зависимости одного или нескольких показателей работы двигателя от показателя, принятого за основу. Скоростная характеристика представляет собой зависимость мощности, крутящего момента, часового и удельного расхода топлива от частоты вращения двигателя и предназначена для определения соответствия полученных показателей паспортным данным. Снимается она в начале и в конце испытаний, причем первые тормозные испытания должны проводиться не ранее чем через 150...200 моточасов работы двигателя.

Регулировочные характеристики двигателя дают возможность оценивать его мощность и топливную экономичность при изменении регулируемых параметров, определяющих протекание теплового процесса двигателя. К регулировочным относятся характеристики по углу опережения подачи топлива, по его расходу, по давлению впрыска топлива форсунками и др. Выбор оптимальных регулировок и установление номинальных параметров двигателя производится обычно при первичных исследованиях экспериментального образца двигателя. Во время государственных приемочных испытаний отдельные регулировочные характеристики снимают для оценки правильности предложенных заводом оптимальных регулировок, а также для проверки их устойчивости при длительной эксплуатации. Такие регулировки двигателей тракторов, проходящих испытания, проводятся в случаях, когда: мощность, развиваемая двигателем, меньше номинальной; максимальная мощность двигателя превышает номинальную более чем на 3%; частота вращения коленчатого вала двигателя при номинальной мощности отличается от заданной более чем на 1,5%; удельный расход топлива при номинальной мощности превышает гарантированный заводом более чем на 2%.

Условия испытаний, методы определения скоростной, частичных регуляторных и нагрузочных характеристик, расхода масла на угар, минимального числа оборотов и пусковых характеристик двигателя, а также обработки результатов испытаний и расчета основных показателей должны соответствовать стандартным.

Испытания двигателя проводят перед тяговыми испытаниями и после их окончания через ВОМ трактора или устанавливая его на стенде. Преимущества такого способа испытаний в следующем:

обеспечивается сравнимость результатов испытаний при сохранении регулировок и показателей работы двигателя как при испытаниях трактора на тормозной установке, так и в поле. При этом двигатель испытывается в обычном рабочем состоянии;

соблюдается основное требование — испытание трактора заводской сборки. При снятии двигателя с шасси это требование нарушается, и многие возникающие в процессе последующих эксплуатационных испытаний дефекты могут быть отнесены за счет разборки и сборки при тормозных испытаниях;

исключаются большие затраты времени и труда на монтаж или демонтаж на шасси и на тормозном стенде.

При проведении тормозных испытаний через ВОМ трактор устанавливается на горизонтальной площадке, уклон которой не должен превышать 1° . Если испытания без снятия двигателя с трактора невозможны, допускается, по согласованию с предприятием-изготовителем, проводить их с установкой на стенде.

Двигатель должен проходить тормозные испытания при наличии на нем всех узлов сборочных единиц, влияющих на эффективные показатели. Гидравлический насос и компрессор отключаются, а при отсутствии механизма отключения должны работать без нагрузки. Выключаются сборочные единицы трансмиссии трактора, не передающие мощность непосредственно на тормозное устройство.

Для соединения ВОМ с валом тормозной установки рекомендуется применять карданную передачу с двумя шарнирами. Угол перекаса в шарнирах при этом не должен превышать 2° .

Для приведения показателей, полученных на ВОМ, к показателям двигателя принимается КПД передачи от двигателя к выходному валу отбора мощности, полученный экспериментально. Допускается определять его расчетным путем, принимая коэффициент полезного действия одной цилиндрической зубчатой пары 0,985, а конической — 0,975.

Температура окружающей среды при тормозных испытаниях двигателя трактора должна быть такой же, как и при тяговых испытаниях. Допускается отклонение не выше $\pm 5^\circ\text{C}$.

Новый двигатель перед испытаниями обкатывается в соответствии с требованиями заводской инструкции и подвергается приработке под частичной нагрузкой (не более 60 ч). Технический уход осуществляется согласно правилам технического обслуживания. При проверке стабильности регулировок его можно проводить только после контрольного торможения. Перед всеми видами кон-

трольных торможений двигателя производят только операции ежедневного ухода.

Перед началом тормозных испытаний двигатель прогревается при частичной нагрузке до достижения устойчивого рабочего режима. Кроме того, тщательно проверяется состояние двигателя и его регулировок путем проведения контрольных опытов.

4.8.2. Регуляторная и скоростная характеристики

Регуляторную и скоростную характеристики двигателя снимают во время его работы с регулятором при заводской или оптимальной регулировке, принятой в процессе испытаний. Контрольные характеристики получают при имеющейся регулировке.

Процесс снятия регуляторной и скоростной характеристик заключается в проведении ряда опытов с последовательным увеличением нагрузки от холостого хода до максимальной, затем до получения наибольшего крутящего момента. При этом не требуется длительного предварительного прогрева двигателя до режима, соответствующего наибольшим нагрузкам. Кроме того, при переходе от одного опыта к другому прогрев двигателя до нового устойчивого температурного режима с возрастанием нагрузки происходит быстрее, чем его охлаждение по мере уменьшения нагрузки. При работе двигателя с регулятором в промежутке от холостого хода до номинальной мощности снимают показатели в трех-четыре точки, равномерно расположенных по кривой (через равные интервалы по нагрузке или по частоте вращения). При приближении к максимуму мощности опыты проводят с меньшими интервалами, при этом снимают показатели в одной-двух точках до максимума, в одной на максимуме и в одной-двух — после максимума мощности. Ориентиром для выявления максимума мощности служит начало включения корректора подачи топлива. При работе двигателя с перегрузкой снимаются показатели не менее чем в двух точках. Увеличивая нагрузку на тормозе, определяют максимум крутящего момента и снимают показатели в одной точке при наибольшем моменте и в одной до и одной после максимума момента.

При больших перегрузках двигатель работает со значительными механической и тепловой нагрузками, поэтому продолжительность опыта и повторение измерений необходимо по возможности сокращать.

При снятии скоростной характеристики с регуляторной ветвью опыты проводят в следующем порядке. Двигатель нагружают до заданного режима по указателю нагружающего устройства или тахометру. Выдержав его на указанной нагрузке в течение времени, необходимого для подготовки опыта, проводят измерения. Убедившись в возможности перехода на следующий режим, устанавливают новую нагрузку и следующий опыт проводят в том же порядке. Все результаты подсчитываются и заносятся в протокол непосредственно после окончания опыта. Только при таком условии

можно проследить изменение характеристики и правильно установить режим следующего опыта.

По окончании испытаний все регулируемые органы (регулятор, топливный насос и др.) необходимо опломбировать и указать об этом в протоколе испытаний. В процессе эксплуатационных испытаний сохранность пломб должна проверяться.

При снятии регуляторной и скоростной характеристик применяются следующие оборудование и приборы: тормозная установка, служащая для создания и измерения различных нагрузок на валу двигателя, тахометры для установления мгновенных значений угловой скорости или частоты вращения, счетчики оборотов, мерные емкости для определения расхода топлива и расходомеры, секундомеры и отметчики времени, приборы для измерения температуры воды, масла, топлива, отработавших газов, воздуха, приборы для определения дымности выхлопа и др.

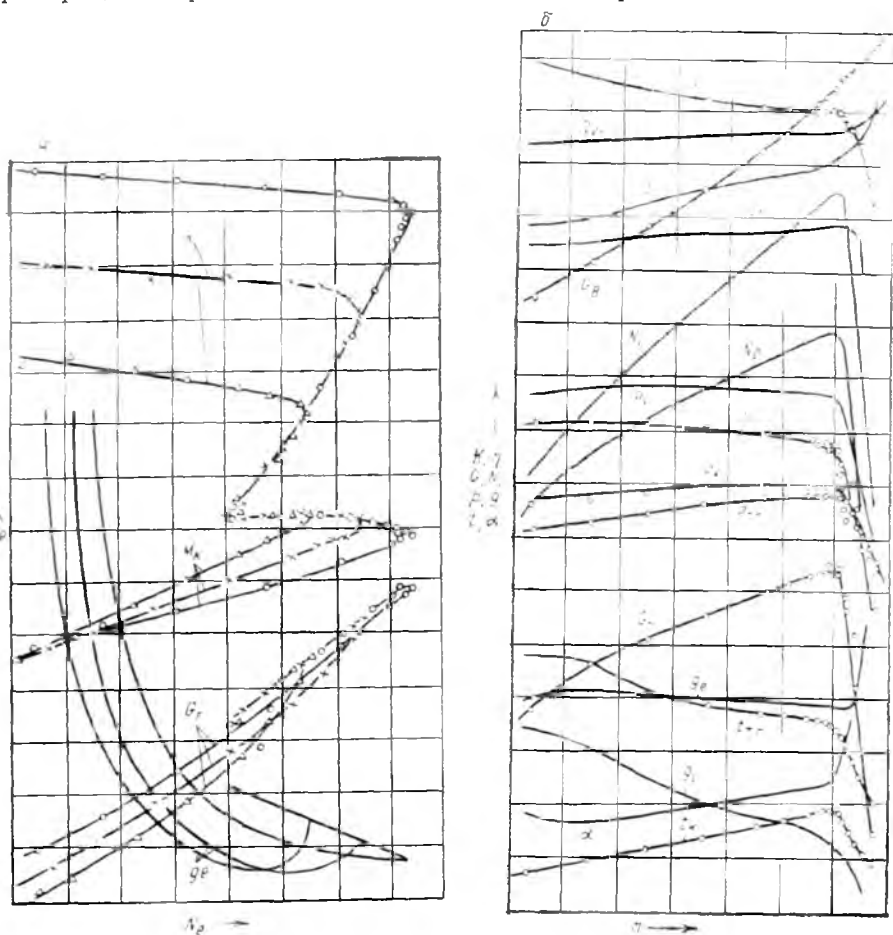


Рис. 4.11. Характеристики двигателя

При снятии регуляторной и скоростной характеристик измеряются следующие параметры:

а) для тормозной установки с весовым устройством: P — показание весового устройства, Н; L — длина плеча тормоза, м;

б) для тормозной установки с непосредственным замером крутящего момента на валу тормоза: $M_{кр}$ — крутящий момент двигателя, Н·м; n_d — частота вращения, об/с; ω_d — угловая скорость коленчатого вала, рад/с; $T_{оп}$ — время опыта, с; $G_{оп}$ — массовый расход топлива за опыт, кг; $W_{оп}$ — объемный расход топлива за опыт, м³; $t_{окр}$ — температура окружающей среды, °С; $t_{ох}$ — температура охлаждающей жидкости при выходе из двигателя, °С; t_r — температура отработавших газов, °С; t_m — температура масла в поддоне, °С; $p_{окр}$ — давление окружающего воздуха, кПа; φ — относительная влажность воздуха, %.

Для подсчета основных показателей используют формулы: крутящий момент двигателя (Н·м)

$$M_{кр} = \frac{PL}{i_{пр}\eta_{пр}}$$

где $i_{пр}$ — передаточное число от вала двигателя к валу тормоза;

$\eta_{пр}$ — КПД передачи от вала двигателя к валу тормоза;

эффективная мощность двигателя (кВт)

$$N_e = \frac{M_{кр}\omega_d i_{пр}}{\eta_{пр}} 10^{-3};$$

часовой расход топлива для объемного способа замера жидкого топлива (кг/ч)

$$G_T = 3,6 \cdot 10^3 \frac{\rho_t W_{оп}}{T_{оп}},$$

где ρ_t — плотность топлива при температуре опыта (кг/м³); для весового способа замера

$$G_T = 3,6 \cdot 10^3 \frac{G_{оп}}{T_{оп}};$$

удельный эффективный расход топлива (г/кВт)

$$g_e = 10^3 \frac{G_T}{N_e}.$$

По найденным показателям строится регуляторная (рис. 4.11, а) и скоростная (рис. 4. 11, б) характеристики. При необходимости частотные регуляторные и скоростные характеристики снимаются при фиксированных положениях рейки топливного насоса.

4.8.3. Регулировочная характеристика

Так как удельный расход топлива — функция часового расхода топлива и мощности, а мощность — функция угловой скорости коленчатого вала двигателя и крутящего момента, зависимость мощности и экономичности двигателя от его регулируемых параметров получается многофункциональной. Для упрощения регулировоч-

ные характеристики снимают при наиболее характерном скоростном режиме — при постоянной угловой скорости коленчатого вала двигателя, равной номинальной. Рейку топливного насоса фиксируют в положении, соответствующем заданному расходу топлива.

Характеристика по установочному углу опережения впрыска топлива (рис. 4.12) представляет собой зависимость удельного расхода топлива от угла опережения подачи топлива при постоянной номинальной угловой скорости вала и положении рейки топливного насоса, соответствующем наибольшей мощности при работе с регулятором.

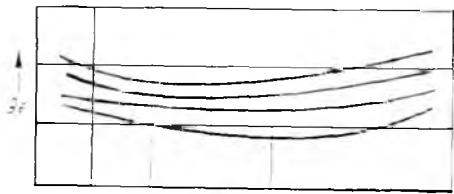


Рис. 4.12. Регулировочные характеристики по установочному углу опережения впрыска топлива при различных $n_d = \text{const}$

За счет постоянной угловой скорости вала при неизменном положении рейки топливного насоса обеспечивается постоянный расход топлива. В резуль-

тате регулирования угла опережения подачи топлива изменяется тепловой процесс двигателя и, следовательно, мощность. При постоянном часовом расходе топлива минимальный удельный расход совпадает с максимальной мощностью и определяет оптимальный установочный угол впрыска топлива.

При снятии характеристики по установочному углу впрыска топлива рейку топливного насоса закрепляют в положении, соответствующем началу включения корректора впрыска топлива. После того как двигатель переведен на работу без регулятора, по тахометру наблюдают за изменением частоты вращения вала и, регулируя его изменением нагрузки, устанавливают принятую для данного двигателя номинальную частоту вращения. При достижении устойчивой работы двигателя на заданном режиме начинают опыт. Нагрузку поддерживают по показаниям весового механизма тормоза, а частоту вращения измеряют тахоскопом, или суммарным счетчиком с секундомером. Одновременно производят измерение расхода топлива, а также температуры воды в радиаторе, масла в картере, отработавших газов и окружающего воздуха. Производят данный опыт несколько раз и, убедившись в стабильности и правильности его результатов, переходят на режим следующего опыта. Для этого изменяют опережение впрыска на заданный угол, который может превышать угол поворота коленчатого вала на 4° , вновь при помощи тормоза устанавливают число оборотов, равное номинальному, и проводят опыт в описанном выше порядке. Установочный угол опережения впрыска следует изменять таким образом, чтобы при крайних его значениях удельный расход топлива был, как минимум, на 10% выше, чем при оптимальном угле опережения впрыска топлива. Тормозная установка, приборы и оборудование, примененные при снятии этой характеристики, те же, что и при снятии скоростной.

В тракторных двигателях угол опережения подачи топлива, как правило, устанавливает завод, и изменять его в процессе эксплуатации без снятия насоса невозможно. Поэтому в программу типовых испытаний снятие характеристики по углу опережения подачи топлива обычно не включается. Этот угол только проверяют и в случае необходимости исправляют.

Практически регулировочную характеристику целесообразно снимать в такой последовательности. Установив позднюю подачу и загрузив двигатель до номинальной частоты вращения коленчатого вала, после достижения стабильного теплового режима проводят все необходимые замеры, затем увеличивают угол опережения подачи и после установления стабильного теплового режима двигателя снова проводят те же замеры и т. д.

4.8.4. Нагрузочная характеристика

Характеристика двигателя по нагрузке (рис. 4.13) дает возможность оценить его работу при неполной мощности. Такие характеристики снимают для наиболее характерных частот вращения. Они представляют собой кривые изменения часовых и удельных расходов топлива в зависимости от нагрузки, характеризуемой средним эффективным давлением или эффективной мощностью.

Характеристику по нагрузке определяют следующим образом. Регулируя тормозное устройство, доводят до желаемой частоты вращения вала двигателя при работе на холостом ходу или близко к холостому ходу. При этом угол опережения подачи топлива устанавливают оптимальный. Дав поработать двигателю до установившегося теплового состояния, измеряют часовой расход топлива G_T , крутящий момент M_K , частоту вращения n_d , температуру воды $t_{ж}$, масла в картере

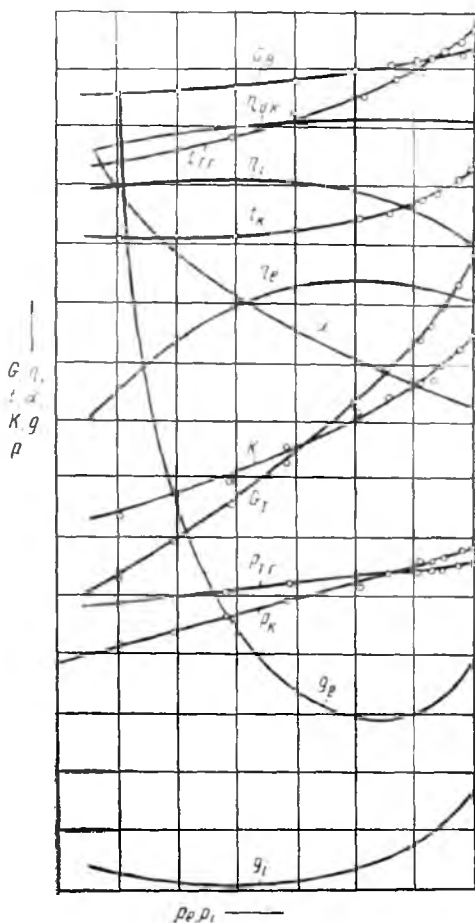


Рис 4.13. Нагрузочная характеристика

t_m и отработавших газов t_r . Кроме того, замеряют давление наддува p_n во впускном коллекторе (после нагнетателя) и давление на выпуске p_z в выпускном коллекторе двигателя без турбонаддува. После этого увеличивают нагрузку двигателя тормозным устройством, поддерживая частоту вращения постоянной и увеличивая подачу топлива.

Отрегулировав момент опережения подачи топлива и обеспечив установившееся тепловое состояние, вновь производят замеры всех величин. При испытании рекомендуется сделать не менее 12 измерений, равномерно изменяя нагрузку двигателя от холостого хода до максимальной. При снятии нагрузочной характеристики применяются те же оборудование и приборы, что и для скоростной.

Для практических целей достаточно иметь одну полученную опытным путем характеристику по нагрузке, чтобы при наличии внешней характеристики по частоте вращения можно было судить об изменении удельного расхода топлива во всем диапазоне частот вращения.

Для подсчета среднего эффективного давления (МПа) используют следующую формулу:

$$p_e = \frac{k \tau_{дв} M_{кр}}{i_{ц} V_h},$$

где $k=0,0314$; $\tau_{дв}$ — тактность двигателя; $i_{ц}$ — число цилиндров; V_h — рабочий объем цилиндра, л.

4.8.5. Характеристика холостого хода

Характеристика холостого хода (рис. 4.14) снимается при работе двигателя без нагрузки (коленчатый вал двигателя следует отсоединить от тормозной установки) от минимально устойчивой до максимально устойчивой частот вращения холостого хода.

Минимальная устойчивая частота вращения холостого хода определяется путем последовательного уменьшения подачи топлива до появления колебаний частоты вращения, превышающих ± 20 об/мин, после чего подачу топлива следует увеличить до получения устойчивой в течение 10 мин работы. Максимальное число оборотов холостого хода устанавливается при полной подаче топлива.

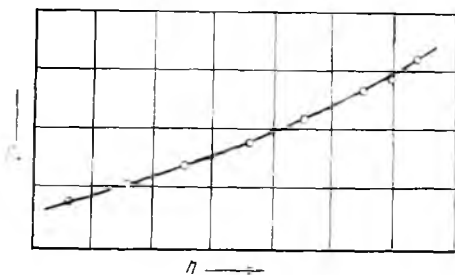


Рис. 4.14. Характеристика холостого хода

4.8.6. Пусковые характеристики

Пусковые характеристики (рис. 4.15) определяются на двигателе с электростартерной системой пуска с применением средств облегчения воспламенения топлива.

Температура охлаждающей жидкости в блоке цилиндров жидкостного охлаждения, головок цилиндров двигателей воздушного охлаждения, вкладышей коренных подшипников и масла в поддоне до начала испытаний не должна отличаться от температуры окружающего воздуха более чем на 1°C . Продолжительность выдержки двигателя после достижения им заданной температуры не меньше 1 ч.

Продолжительность пуска двигателя соответствует интервалу времени прокручивания коленчатого вала до момента отключения пускового устройства. После отключения пускового устройства двигатель должен работать не менее 2 мин. Допускается средства облегчения воспламенения топлива не выключать после пуска в течение 1,5 мин.

Продолжительность попыток при пуске двигателя не более 20 с. Перерывы между ними составляют 0,5...1 мин. Число попыток на каждом режиме не более трех.

Частота вращения коленчатого вала устанавливается изменением напряжения на клеммах электростартера и определяется во время предварительного, продолжительностью не более 10 с, прокручивания вала неработающего двигателя при заданном напряжении. Частоту вращения следует измерять в интервале от 5 до 8 с после начала каждого прокручивания.

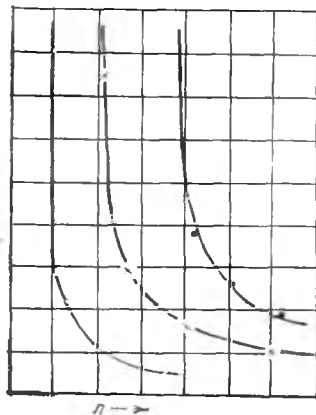


Рис. 4.15. Пусковые характеристики при различных $t_{\text{окр}} = \text{const}$

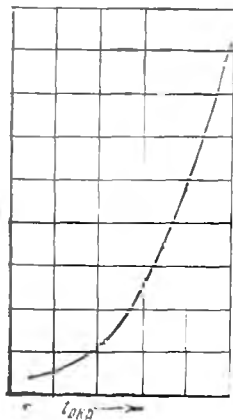


Рис. 4.16. Характеристика продолжительности пуска

4.8.7. Характеристики продолжительности пуска

Характеристики продолжительности пуска (рис. 4.16) определяются на двигателе с системой пуска от вспомогательного двигателя с применением средств облегчения воспламенения топлива.

Тепловое состояние двигателя перед началом испытаний должно быть таким же, как и при снятии пусковых характеристик.

Пуск двигателя должен осуществляться при попытке общей продолжительностью не более 5 мин. На каждом температурном режиме следует провести не менее трех опытов.

4.8.8. Расход масла на угар

Расход масла на угар определяется по его убыли из картера двигателя или из масляного бака при работе двигателя в течение 10 ч при номинальной частоте вращения и мощности, составляющей 90% эксплуатационной.

Двигатель допускается прогревать не более 15 мин на частичных нагрузках, превышающих 60% номинальной.

До начала испытаний его необходимо прогреть до температуры, указанной заводом-изготовителем; не позднее чем через 5 мин после его остановки следует слить масло из картера или масляного бака. Продолжительность стекания масла 40...45 мин. Слитое масло необходимо взвесить и залить в картер или масляный бак.

Измерение частоты вращения, крутящего момента и расхода топлива в процессе испытаний должно производиться не реже, чем через 30 мин.

4.8.9. Бестормозные испытания двигателя

В последнее время получают распространение бестормозные испытания двигателей.

При помощи косвенных методов динамометрирования можно определить основные мощностные и топливно-экономические показатели двигателя. Среди этих методов наиболее распространен метод бестормозных испытаний, разработанный проф. Н. С. Ждановским, и метод, позволяющий определять максимальную мощность двигателя по давлению масла в гидросистеме при частичном отключении цилиндров и догрузке двигателя за счет работы маслонасоса. Широко применяются также инерционный метод определения максимальной мощности по выбегу вала двигателя и методы определения развиваемой мощности по частоте вращения вала двигателя, задресселированному давлению в цилиндрах, скорости, давлению и температуре выхлопных газов.

Глава 5. ОЦЕНКА ТЯГОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАКТОРА

5.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Тяговые испытания трактора проводятся для оценки его тягово-динамических и экономических характеристик в заданных условиях. Методика тяговых испытаний тракторов регламентируется ГОСТ 7057—81.

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

При тяговых испытаниях трактор загружается специальной динамометрической тележкой, оборудованной тормозным устройством, позволяющим создавать переменное сопротивление движению и обеспечивающее загрузку трактора в широком диапазоне тяговых усилий. В качестве загрузочного устройства можно применять тракторы, сопротивление движению которых регулируется изменением подачи топлива и переключением передач.

Комплектация трактора с учетом балласта и массы водителя должна соответствовать указанной в техническом описании и инструкции по эксплуатации для наиболее энергоемкой по тяговому усилию операции, соответствующей назначению трактора.

Трактор до проведения тяговых испытаний должен иметь наработку не менее 150 моточасов. При этом износ почвозацепов движителей по высоте не должен превышать 35%, а увеличение шага гусеницы — 3%.

Тягово-сцепное устройство должно быть установлено в наивысшее положение. Механизмы и оборудование, не передающие мощность движителям, не предназначенные для обеспечения работы двигателя и не участвующие в основном процессе работы, должны быть отключены, а если отключение не предусмотрено конструкцией, работать с минимальной нагрузкой. При наличии на тракторе блокируемого гидротрансформатора испытания следует проводить как с заблокированным, так и с неблокированным гидротрансформатором, если в обоих случаях возможна работа трактора с тяговой нагрузкой на крюке.

Испытания следует проводить при атмосферном давлении не менее 96,6 кПа и температуре окружающего воздуха $(20 \pm 15)^\circ\text{C}$.

Длина участка испытания должна быть не менее 60 м, чтобы обеспечивалась требуемая достоверность результатов.

Тяговая нагрузка при испытаниях на каждой передаче изменя-

ется последовательно от нуля до максимального значения. Число ступеней нагрузки не менее 12.

Максимальное тяговое усилие ограничивается началом неустойчивой работы двигателя или буксованием, предельное значение которого 15% для гусеничных и 30% для колесных тракторов.

Максимальная тяговая мощность определяется на треке не менее чем на 6 передачах, при этом предельное буксование должно быть 7% для гусеничных и 15% для колесных тракторов.

Результаты тяговых испытаний представляются в виде графиков тяговой характеристики или в табличной форме.

5.2. УЧАСТОК ДЛЯ ТЯГОВЫХ ИСПЫТАНИЙ, УСЛОВИЯ ИСПЫТАНИЙ

Тяговые испытания проводятся на тех естественных поверхностях грунтов и почв, которые наиболее типичны для условий работы данного трактора. Однако использование естественных фонов поля в качестве дорожки для тяговых испытаний имеет и ряд отрицательных сторон. Наиболее существенным недостатком тяговых испытаний, проводимых на естественных фонах поля, является отсутствие стабильности результатов таких испытаний на разных участках из-за различия физико-механических свойств почвы или грунта, с которыми взаимодействует движитель трактора. В связи с этим наряду с испытаниями на естественных фонах поля широкое распространение получили тяговые испытания на искусственных дорожках со стабильными физико-механическими характеристиками, обеспечивающие хорошую сопоставимость результатов, полученных в разное время для различных моделей тракторов.

Исследования, проведенные в Англии, Швеции и в других странах, показали, что тяговые испытания колесных тракторов с пневматическими шинами на дорожках с искусственным покрытием дают результаты, сопоставимые с результатами тяговых испытаний, проводимых на тормозных стендах с беговыми барабанами. На подобных стендах ведущие колеса трактора опираются на беговой барабан или гусеницу, причем поверхность барабана и звенья опорных гусениц облицованы бетоном, обеспечивающим коэффициент сцепления, близкий к коэффициенту сцепления колеса на искусственной дорожке.

Следует отметить, что проведение тяговых испытаний колесных тракторов на стендах с беговыми барабанами предусматривается методикой стран Европейского содружества (методика OECD) и методикой Международной организации стандартизации.

Основные почвенные фоны, на которых проводят тяговые испытания, должны соответствовать указанным в табл. 5.1.

Перед началом испытаний асфальт (бетон) должен быть очищен от грязи и следов масла.

Влажность и твердость почвы определяются в слое глубиной до 15 см. Пробы почвы следует отбирать буром по диагонали участка. Влажность почвы должна быть определена по образцу, взятому на глубине 0...10, 10...20 см и т. д.

Отобранный образец почвы массой 30...40 г высушивают в сушильном шкафу. По разности массы почвы до и после сушки определяют массу воды, содержащейся в образце.

Табл. 5.1. Почвенные фоны для проведения тяговых испытаний тракторов

Фон	Тип трактора	Неплоскостность поверхности фона в пределах габарита трактора, мм, не более	Уклон плоскости, прилегающей к поверхности фона в пределах габарита трактора, %, не более		Влажность почвы, %	Твердость фона	
			вдоль движения	поперек движения		H_p МПа	H_y , число ударов твердомера ДорНИИ
Асфальт (бетон)	Колесный	10	1	3	—	—	—
Глинистый трек	Гусеничный	20	2	6	8...15	4...6	5...12
Стерня колосовых	Колесный и гусеничный	20	2	6	8...22	1...1,5	1...3
Поле, подготовленное под посев	То же	20	2	6	8...22	0,1...0,7	0,5...1,5

Абсолютную влажность W почв и относительную влажность W' (в процентах) торфяно-болотистых почв подсчитывают по формулам:

$$W = (a/b) 100; \quad W' = (a/c) 100,$$

где a — масса испарившейся воды, г; b — масса абсолютно сухой почвы, г; c — масса сырой почвы, г.

Твердость почвы определяют почвенным твердомером (в меганаскалях) или динамическим твердомером по числу ударов.

При определении твердости почвы самопишущим твердомером в грунт вдавливаются наконечник, диаграмма твердости записывается на бумагу регистрирующим устройством. Твердость почвы

$$H_p = \frac{h_{cp} \mu_p}{100 S_p},$$

где h_{cp} — средняя ордината диаграммы твердости, см; μ_p — масштаб пружины твердомера, Н/см; S_p — площадь поперечного сечения вдавливаемого в почву плунжера, см².

Значение h_{cp} определяют планиметрированием диаграммы и подсчитывают по формуле $h_{cp} = F/l$, где F — площадь диаграммы, см²; l — длина диаграммы, см.

Твердость почвы на всем участке определяется как среднее арифметическое из пяти опытов.

При определении твердости почвы ударником ДорНИИ груз массой 2,5 кг сбрасывается с высоты 0,4 м и, ударяясь о поверхность упора, производит погружение наконечника определенной площади на глубину 100 мм. Твердость почвы определяется по количеству ударов до полного погружения наконечника.

Плотность почвы (г/см³)

$$\rho = m_c/V,$$

Табл. 5.2. Показатели, определяемые при тяговых испытаниях

Показатели	Обозначение	Прибор для измерения	Допускаемая погрешность измерения
Тяговое усилие, Н	$P_{кр}$	Тяговые динамографы (электрические, гидравлические, механические)	$0,01 P_{кр}$
Продолжительность опыта, с	$t_{оп}$	Отметчик времени осциллографа или секундомер	0,2
Путь, пройденный трактором, м	$S_{оп}$	Путеизмерительное колесо с контактным или бесконтактным отметчиком частоты вращения	$0,005 S_{оп}$
Масса (объем) израсходованного за опыт топлива, кг (л)	m_t (V_t)	Расходомеры плунжерные дозирующие или поплавкового типа	$0,02 m_t$ ($0,02 V_t$)
Частота вращения двигателя (ведущих колес) за опыт, об	n_k	Контактные или бесконтактные отметчики частоты вращения	0,2
Частота вращения выходного вала двигателя, об/с	n_d	То же	$0,005 n_d$
Твердость почвы, МПа, удары	H_p H_y	Самопишущий твердомер Динамический твердомер ДорНИИ	
Плотность почвы, г/см ³	ρ		
Влажность почвы, %	W		

где m_c — масса абсолютно сухой почвы, г; V — объем образца, см³.

В период между последней обработкой почвы и испытаниями суммарное количество осадков не должно превышать 3 мм. Стерня колосовых должна быть высотой не более 15 см, а участок очищен от пожнивных остатков и не иметь свальных и развальных борозд.

Перечень основных показателей, определяемых при тяговых испытаниях тракторов, приведен в табл. 5.2. При тяговых испытаниях замеряют также атмосферное давление, давление в шинах, температуру охлаждающей жидкости в двигателе, температуру окружающего воздуха.

Динамографы состоят из силового звена, воспринимающего тяговое усилие трактора, и регистрирующего устройства, записывающего значения усилий на движущейся ленте. При тяговых испытаниях тракторов преимущественно применяются гидравлические и электрические динамографы. Принцип их работы описан в главе 3.

При регистрации результатов измерений на ленте осциллографа или при их вводе в систему автоматической обработки применяются поршневые дозирующие расходомеры топлива РПЭ-2, РПЭ-5, РПЭ-10, ИП-60м и др.

Расходомер РПЭ-5, принципиальная схема которого представлена на рис. 5.1, а, обладает нечувствительностью к тряске, кренам и перекосам трактора, показания его можно регистрировать на счетчике импульсов или на ленте осциллографа.

Топливо из бака по топливопроводу 2 поступает через клапанную коробку 4 поочередно в одну из полостей 1 и 6. Обе полости соединены цилиндрическим клапаном, в котором движется поршень 8. Направление потоков топлива зависит от положения электромагнитов $Y1$, $Y2$ и $Y3$, $Y4$. В каждом из своих крайних положений поршень замыкает контакты, включая с помощью реле ту или иную пару электромагнитов: в левом — $Y1$, $Y4$, правом — $Y2$, $Y3$. Если включены $Y1$ и $Y4$, т. е. клапан 3 поднят, а клапан 5 опущен, то

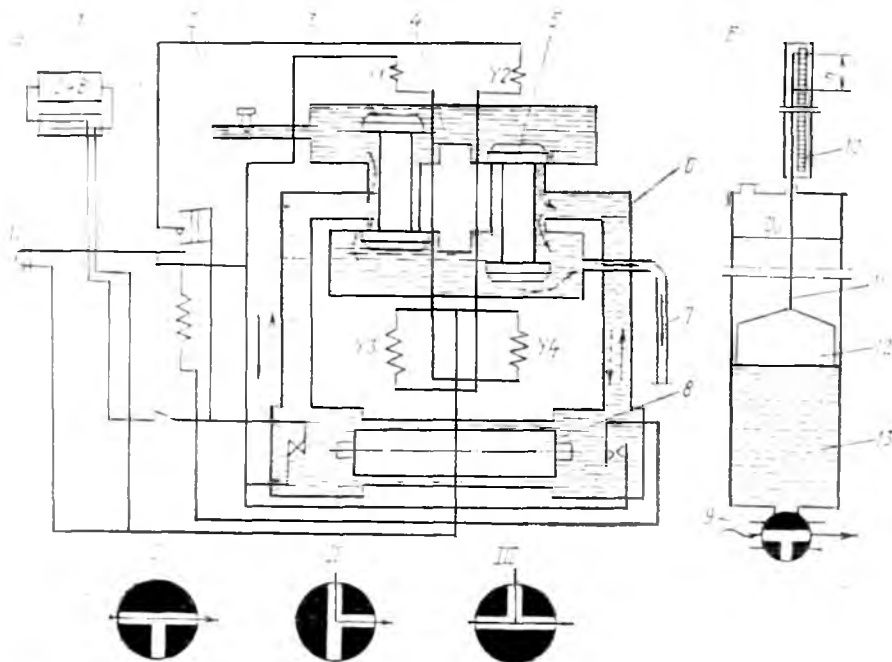


Рис. 5.1. Принципиальные схемы расходомеров:
а—поршневого типа РПЭ 5; б—поплавкового

топливо поступает в полость 1 и двигает поршень вправо. Последний выталкивает топливо из полости 6 в магистраль 7, соединенную с двигателем. При включении пары электромагнитов $Y2$ и $Y3$ клапаны перемещаются в обратные стороны и направление потока топлива изменяется.

За каждый ход поршня при его возвратно-поступательном движении двигателю подается определенная порция топлива. Количество поданных порций регистрируется счетчиком импульсов; соответствующие сигналы подаются на шлейф III осциллографа, включенный параллельно счетчику импульсов, и записывается на осциллограмму.

Расход топлива при тяговых испытаниях может быть определен также при помощи расходомера поплавкового типа — так называемого мерного бачка (рис. 5.1, б). Он состоит из трубчатого ре-

резервуара 13 и помещенного внутри него латунного поплавка 12, к которому припаян стержень 11 со стрелкой на верхнем конце. К резервуару прикреплена линейка 10 с делениями. Перемещаясь вместе с поплавком, стрелка скользит по шкале линейки и указывает уровень топлива в резервуаре. В днище резервуара ввернут трехходовой кран 9, который соединен с топливным баком. С помощью крана 9 можно отключить мерный бачок и подавать топливо в двигатель из основного бака (положение I), отключать основной

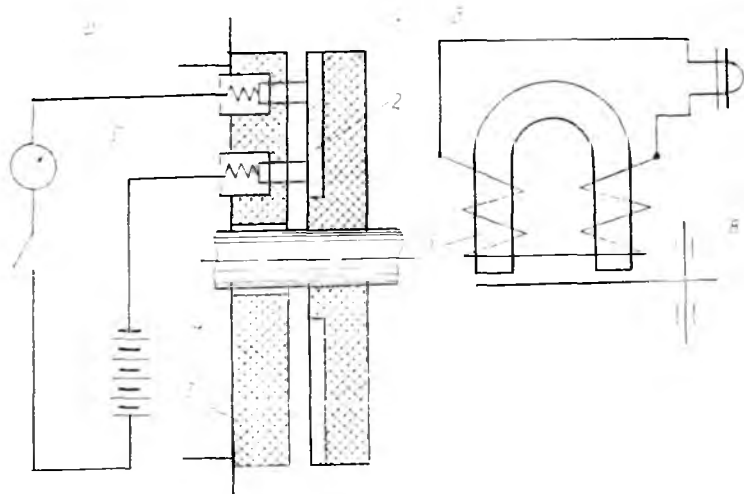


Рис. 5.2. Схемы устройств для получения электрических импульсов:
а—контактного; б—бесконтактного

бак и подавать топливо в двигатель из мерного бачка (положение II), подавать топливо из основного бака в двигатель и одновременно заполнять мерный бачок (положение III).

Пройденный трактором в процессе испытания путь удобно измерять с помощью путеизмерительного колеса, которое устанавливается в промежутке между передними и задними колесами колесных тракторов или за гусеничными тракторами. Путеизмерительное колесо крепится к трактору и прижимается к почве с усилием, достаточным для обеспечения его качения без скольжения. На ступице колеса монтируется контактное или бесконтактное устройство, позволяющее за каждый оборот колеса несколько раз периодически посылать импульсы тока, которые регистрируются соответствующей аппаратурой.

На рис. 5.2, а показана одна из схем создания электрических импульсов. На колесе закрепляется диск 1 из изоляционного материала, на котором равномерно по окружности расположены токопроводящие пластины 2 (1...16 шт.). Против вращающегося диска 1 устанавливается и фиксируется в неподвижном состоянии второй диск 3, также изготовленный из изоляционного материала. Он имеет два токопроводящих контакта, соединенных проводами с

электрической цепью, в которую включены аккумуляторная батарея 4 и счетчик импульсов 5. Когда пластины на вращающемся диске замыкают цепь, на обмотку электромагнита счетчика подается кратковременный импульс тока, который регистрируется. При поступлении кратковременного импульса тока на электромагнит последний притягивает пластину, второй конец которой через храповый механизм связан со стрелкой-указателем импульсов. Стрел-

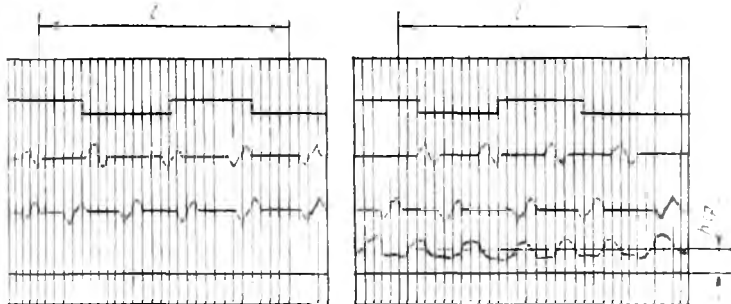


Рис. 5.3. Образцы осциллограмм, записанных при тяговых испытаниях трактора

ка перемещается на одно деление при каждом замыкании цепи и кратковременном поступлении тока на электромагнит.

Для регистрации частоты вращения колеса в электрическую цепь может быть включен шлейф осциллографа. Принципиальная схема бесконтактного устройства для замера частоты вращения показана на рис. 5.2, б. Он работает следующим образом. В обычном положении ЭДС не генерируется и сигнал от индуктивного датчика 6 на шлейф 7 осциллографа не поступает. Если вблизи полюсов есть выступ 8 из магнитного материала, связанный с осью колеса, в катушках магнита наводится переменная ЭДС и на шлейф осциллографа поступает сигнал, а на осциллограмму записывается частота вращения путеизмерительного колеса.

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

При тяговых испытаниях каждый определяемый показатель записывается на ленту из светочувствительной бумаги. Полученная запись называется осциллограммой. В качестве примера на рис. 5.3 приведена осциллограмма, записанная при двух режимах движения трактора.

5.3. ПОДГОТОВКА УЧАСТКА К ИСПЫТАНИЯМ

Длина зачетного участка между вешками, указывающими его начало и конец, зависит от необходимой продолжительности опыта при движении испытываемого трактора на данной передаче. Продолжительность опыта в свою очередь определяется заданной точностью результатов испытаний, а также совершенством метода

испытаний и применяемых при этом приборов и оборудования. Применение современных динамометрических тележек с устойчивым торможением и стабилизацией загрузки, с приборами повышенной точности и централизованным управлением ими позволяет значительно повысить точность испытаний и сократить их продолжительность. Для испытаний сельскохозяйственных тракторов длина зачетного участка должна быть не менее 60 м.

Длина подготовительного пути, который должен пройти трактор с заданной нагрузкой перед началом опыта, определяется временем, необходимым для достижения испытываемым трактором устойчивого рабочего режима при данной нагрузке. Обычно длина подготовительного участка равна длине зачетного.

На осевой линии участка, вдоль которой движется трактор, кроме вешек по концам зачетного участка и в точках разворота, устанавливаются промежуточные вешки, позволяющие водителю ориентироваться при первом проходе. По обе стороны вешек, обозначающих начало и конец опыта, под прямым углом к осевой линии ставят визирные вешки, позволяющие трактористу фиксировать момент прохождения трактором начала и конца зачетного участка.

При разбивке участка кроме длины осевой линии измеряют размеры длинных сторон прямоугольника, обозначенного крайними визирными вешками. Если расстояние между этими вешками будет одинаковым, то некоторая неперпендикулярность визирных линий осевой линии не может существенно повлиять на результаты замеров. Прямой угол при разбивке участка устанавливается с помощью зеркального эккера или геометрическим построением прямоугольного треугольника с катетами, равными 4 и 3 м, и гипотенузой, равной 5 м. Высота вешек 1,9...2 м.

При наличии ровного горизонтального поля с уклоном до 1° и длиной не менее 1 км с однородным почвенным фоном зачетные участки длиной 60 м с промежутками по 60 м разбивают по всей длине поля и проводят опыты с уменьшенным числом поворотов и холостых пробегов.

5.4. ОБРАБОТКА ОСЦИЛЛОГРАММ

Полученная запись тягового усилия является кривой случайного характера, поэтому в общем виде среднее тяговое усилие трактора на пути $S_{оп}$ определяется по формуле

$$P_{кр} = \frac{\int_0^{S_{оп}} P_{кр} dS_{оп}}{S_{оп}}$$

Так как длина осциллограммы пропорциональна пройденному пути, а ординаты осциллограмм тягового усилия пропорциональны значениям его в отдельных точках гона, то площадь F на участке длиной l (см. рис. 5.3) изображает в некотором масштабе работу на крюке трактора за опыт.

Замерив эту площадь (или среднюю ординату), можно вычислить среднее тяговое усилие (Н):

$$P_{\text{кр.ср}} = \frac{F}{l} \mu_{\text{д}} = h_{\text{ср}} \mu_{\text{д}},$$

где $\mu_{\text{д}}$ — масштаб ординат диаграммы, устанавливаемый предварительной тарировкой динамографа, Н/мм.

Средняя действительная скорость (м/с) трактора на пути $S_{\text{оп}}$ за время $t_{\text{оп}}$

$$v_{\text{ср}} = S_{\text{оп}}/t_{\text{оп}} = m_s^p \mu_s (m_t \mu_t),$$

где m^p — количество отметок частоты вращения путеизмерительного колеса на длине l осциллограммы при движении трактора с нагрузкой на крюке; μ_s — масштаб отметчика путеизмерительного колеса, м/отм; m_t — количество отметок времени на участке осциллограммы длиной l ; μ_t — масштаб отметчика времени, с/отм.

Средняя тяговая мощность трактора $N_{\text{кр}}$ (кВт) на пути $S_{\text{оп}}$ при средней скорости $v_{\text{ср}}$ на участке измерения:

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

Часовой расход топлива (кг/ч)

$$Q_{\text{т}} = \frac{\Delta m}{t_{\text{оп}}} 3,6 \quad \text{или} \quad Q_{\text{т}} = \frac{\Delta V \rho}{t_{\text{оп}}} 3,6,$$

где Δm и ΔV — разности показаний за опыт соответственно весового устройства (г) или измерителя объема топлива (см³); ρ — плотность топлива, г/см³.

При использовании для замеров расхода топлива порционных расходомеров

$$\Delta V = m_t \mu_t,$$

где m_t — количество отметок расхода топлива на измеряемом участке; μ_t — масштаб расходомера топлива, см³/отм.

При использовании расходомеров поплавкового типа

$$\Delta V = \frac{\pi D_p^2 h}{4},$$

где D_p — диаметр цилиндра расходомера, см; h — высота опускающей поплавка, см.

Удельный расход топлива (г/(кВт·ч))

$$g_{\text{кр}} = Q_{\text{т}}/N_{\text{кр.ср}} \cdot 10^3.$$

Буксование (в процентах) для каждого ведущего колеса или звездочки движителя

$$\delta = (1 - n_{\text{к}}^{\text{с}}/n_{\text{к}}^{\text{п}}) 100 \quad \text{или} \quad \delta = (v_{\text{х}} - v_{\text{р}})/v_{\text{х}} \cdot 100.$$

где $n_{\text{к}}^{\text{с}}$ и $n_{\text{к}}^{\text{п}}$ — число оборотов ведущего колеса при движении трактора без нагрузки на крюке (холостой ход) и с нагрузкой на крюке

при одной и той же длине гона; v_x, v_p — скорость трактора соответственно при холостом ходе и с нагрузкой на крюке при одной и той же частоте вращения вала двигателя.

При различной длине мерных гонов S_x и S_p , пройденных трактором холостым ходом и с заданной нагрузкой на крюке, буксование может быть определено по формуле

$$\delta = 1 - r/r_k,$$

где r, r_k — соответственно действительный и теоретический радиусы ведущего колеса, определяемые из выражений $S_p = 2\pi r n_k^p$, $S_x = 2\pi r_k n_k^x$; n_k^p, n_k^x — среднее арифметическое частот вращения правого и левого ведущих колес соответственно на рабочем и холостом ходу.

Величины S_p, S_x, n_k^p и n_k^x можно выразить через количество отметок путеизмерительного колеса (m_s^p, m_s^x), ведущих колес (m_k^p, m_k^x) и масштабы отметчиков (μ_s, μ_k):

$$m_s^p \mu_s = 2\pi r m_k^p \mu_k; \quad m_s^x \mu_s = 2\pi r_k m_k^x \mu_k.$$

Если выразить действительный r и теоретический r_k радиусы ведущих колес через количество отметок путеизмерительного колеса и ведущих колес трактора, то получим выражение для определения буксования:

$$\delta = [1 - m_s^p m_k^x / (m_s^x m_k^p)] 100.$$

Количество отметок путеизмерительного и ведущих колес подсчитывается на одинаковой длине l записи осциллограммы при движении трактора на рабочем и холостом ходу.

По приведенным формулам определяются параметры тяговой характеристики для каждого опыта, а затем полученные данные наносятся на график.

Проанализируем тяговую характеристику, полученную при испытаниях гусеничного трактора на поле из-под люцерны (рис. 5.4). Она свидетельствует о высоких сцепных качествах трактора. Кривая буксования имеет почти во всем диапазоне тяговых усилий на крюке линейный характер, и δ не превышает 4%. Только на первой пониженной передаче при очень высоких тяговых усилиях буксование нарастает более интенсивно и в конце характеристики составляет около 8%.

На всех передачах в точках перегиба кривых тяговых мощностей $N_{кр}$ максимальный часовой расход топлива G_T одинаков. При дальнейшем увеличении нагрузки на крюке расход топлива снижается. Это показывает, что указанным точкам соответствует максимальная загрузка двигателя. Таким образом, тяговая мощность трактора ограничивалась на всех передачах мощностью двигателя.

Наибольшая тяговая мощность трактора на третьей передаче. По мере снижения номера передачи максимальная тяговая мощность несколько уменьшается. Примерно в такой же степени она убывает при переходе на две соседние более высокие передачи.

На следующих передачах при скоростях движения свыше 1,9 м/с начинается интенсивное снижение максимальной мощности, главным образом в результате роста ее потерь на качение трактора.

Максимальный тяговый КПД трактора на разных передачах неодинаков. Он может быть определен путем деления соответствующей максимальной тяговой мощности трактора на максимальную мощность двигателя, так как на рассматриваемой характеристике максимальная тяговая мощность трактора на всех передачах соответствует полной загрузке двигателя. По характеристике двигателя, снятой перед тяговыми испытаниями, установлена его максимальная мощность и найдено, что на первых четырех передачах максимальный тяговый КПД трактора лежит в пределах 73...76% (соответствует обычным показателям гусеничных тракторов на твердых почвах). На шестой передаче максимальный тяговый КПД снизился до 65, а на седьмой — до 57%.

По результатам тяговых испытаний определяется коэффициент запаса тягового усилия.

$$k_{\text{тяг}} = P_{\text{кр. макс}} / P_{\text{кр}N},$$

где $P_{\text{кр. макс}}$ — максимальное тяговое усилие на крюке, развиваемое на данной передаче; $P_{\text{кр}N}$ — тяговое усилие на той же передаче при максимальной тяговой мощности трактора.

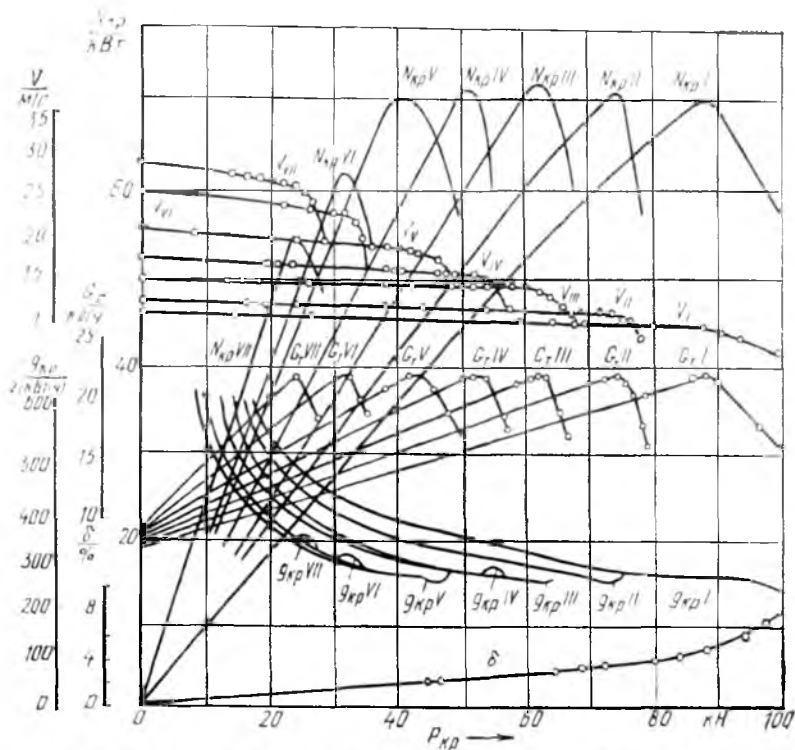


Рис. 5.4. Тяговая характеристика гусеничного трактора

Коэффициент запаса тягового усилия определяется главным образом коэффициентом приспособляемости тракторного двигателя по моменту.

Топливная экономичность трактора оценивается по удельному расходу топлива при наибольшей тяговой мощности и по характеру кривых удельных расходов топлива, полученных при испытаниях. На характеристике, представленной на рис. 5.4, удельный расход топлива при максимальной тяговой мощности трактора при движении его на пяти первых передачах практически одинаков [306...320 г/(кВт·ч)]. Если учесть, что $g_{кр}N_{кр} = g_e N_e$, откуда $g_{кр} = g_e / \eta_{тяг}$, то такой невысокий расход топлива свидетельствует об экономичности двигателя и достаточно высоком тяговом КПД трактора. Удельный расход топлива повышается до 340 г/(кВт·ч) на шестой и до 395 г/(кВт·ч) на седьмой передаче, что обусловлено снижением на этих передачах тягового КПД трактора. Такой характер кривых типичен для тракторов с двигателями дизельного типа при работе на твердых почвах. Однако удельный расход топлива возрастает на 35...50% при уменьшении степени использования тяговой мощности от 100 до 50%. Это показывает, что недостаточная загрузка трактора отрицательно сказывается на его топливной экономичности.

Тяговые характеристики трактора, снятые по рассмотренной методике, пригодны главным образом для анализа работы его с прицепными машинами. Для условий работы с навесными машинами они недостаточно показательны, так как навесные машины по своему силовому воздействию на трактор существенно отличаются от прицепных.

5.5. ОЦЕНКА ТЯГОВОЙ ДИНАМИКИ ТРАКТОРА С НАВЕСНЫМИ МАШИНАМИ

Для анализа динамики навесных агрегатов недостаточно знать только тяговое сопротивление навесной машины, необходимо также иметь данные о догрузке трактора вертикальными силами и о влиянии силового воздействия навесных машин на распределение нормальных реакций между передними и задними колесами трактора или соответственно на положение центра давления гусеничного трактора.

Рассмотрим зависимости между силами, действующими на навесную машину в продольно-вертикальной плоскости, и реакциями, возникающими в присоединительных шарнирах навесного устройства. Обозначим (рис. 5.5) продольно-горизонтальные составляющие этих реакций Q_x , а вертикальные Q_y , с прибавлением к ним цифрового индекса, указывающего номер присоединительного шарнира. Силы, действующие на навесную машину: сила тяжести G_n ; результирующие реакции почвы на рабочие органы — горизонтальная R_x и вертикальная R_y ; вертикальная реакция почвы Y_n на опорные колеса и сила X_n сопротивления качению опорных колес.

Условия равновесия навесной машины в продольно-вертикальной плоскости:

$$\Sigma X = Q_{x1} + Q_{x2} - Q_{x3} - R_x - X_H = 0;$$

$$\Sigma Y = Q_{y1} + Q_{y2} + Q_{y3} - G_H - R_y + Y_H = 0.$$

В приведенных уравнениях знак вертикальной реакции Q_y зависит от наклона тяги навесного устройства — вверх или вниз от горизонтали. Направление (знак) реакции R_y также может быть различным.

Учитывая, что сумма горизонтальных сил $R_x + X_H$ представляет собой общее тяговое сопротивление навесной машины $P_{\text{тяг}}$, а сум-

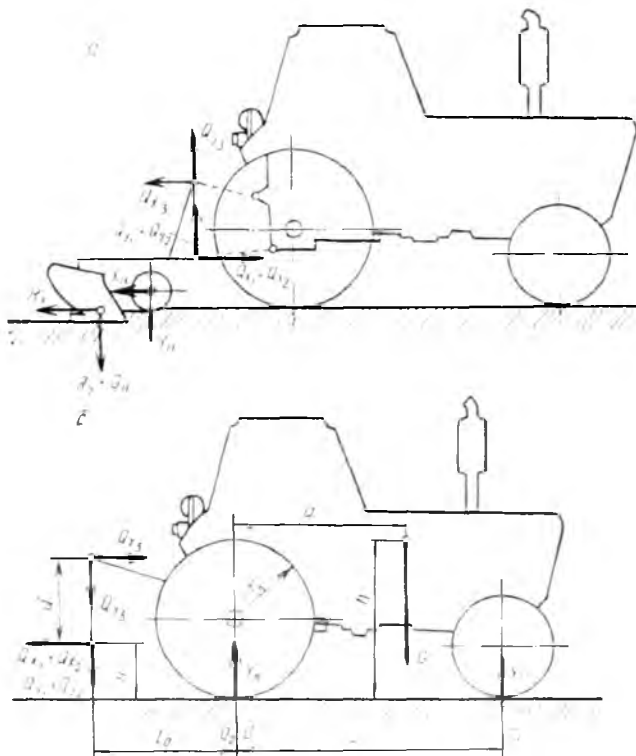


Рис. 5.5. Схемы сил (а) и реакций (б) в шарнирах навесного устройства

ма вертикальных сил $G_H + R_y - Y_H$ — вертикальную догрузку ΔG трактора силами, действующими на навесную машину, перепишем предыдущие уравнения в виде:

$$P_{\text{тяг}} = \Sigma Q_{x_i}; \Delta G = \Sigma Q_{y_i}.$$

Из полученных соотношений следует, что значения $P_{\text{тяг}}$ и ΔG определяются замером горизонтальных и вертикальных составля-

ющих сил, действующих в присоединительных шарнирах навесного устройства.

В свою очередь, зная силы, приложенные со стороны навесной машины к присоединительным шарнирам навесного устройства трактора (они равны реакциям Q_x и Q_y , показанным на рис. 5.5, а, но направлены в обратные стороны), можно определить значения ΔG_1 и ΔG_2 — изменения нормальных нагрузок соответственно на передние и задние колеса трактора, вызванные силовым воздействием навесной машины.

В статическом положении трактора реакции на его опорных колесах (рис. 5.5, б):

$$Y_k^{ст} = G(L - a)/L; \quad Y_n^{ст} = Ga/L.$$

Реакция $Y_k^{ст}$ при работе трактора с навесной машиной определяется из уравнения моментов всех сил относительно точки O_1 ($\Sigma M_{O_1} = 0$), реакция $Y_n^{ст}$ — из уравнения $\Sigma Y = 0$.

Догрузка ведущих колес $\Delta G_k = \Delta G - \Delta G_n$. В этом уравнении должен учитываться знак абсолютной догрузки передних колес $\Delta G_n = Y_n - Y_n^{ст}$.

Аналогичным образом можно по усилиям, действующим в присоединительных шарнирах навесного устройства, определить смещение центра давления гусеничного трактора. Усилия в присоединительных шарнирах замеряются с помощью тензометрических пальцев.

Глава 6. ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ТРАКТОРОВ

6.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Трактор агрегатируется с различными сельскохозяйственными, транспортными, землеройными и другими машинами, выполняет различные технологические операции. Поэтому его эксплуатационные качества зависят от ряда факторов, не связанных с конструкцией машины.

Эксплуатационно-технологические испытания тракторов являются функциональными и проводятся для выявления эффективности модели, производительности тракторного агрегата, топливной экономичности и других качеств в реальных условиях эксплуатации. Испытания на специально подобранных ограниченных по размерам участках не всегда могут дать основу для экономического анализа степени использования технических возможностей трактора.

При эксплуатационно-технологических испытаниях используют следующие методические приемы: проведение контрольных смен с обязательной регистрацией рабочего времени; проведение контрольной эксплуатации в хозяйственных условиях на выполнении комплекса сельскохозяйственных работ, типичных для зоны эксплуатации данного трактора в течение полного календарного года.

Перед проведением контрольных смен, если необходимо, могут проводиться контрольные опыты по определению оптимальной ширины захвата агрегатом и максимально допустимой скорости движения.

Эксплуатационно-технологические испытания направлены на более глубокую и полную проверку эксплуатационных свойств трактора в условиях нормальной эксплуатации и соответствия их требуемым, получение информации, необходимой для расчета экономической эффективности применения тракторов в данной зоне. Эксплуатационные качества трактора определяются рядом оценочных параметров, которые дают возможность выявить влияние отдельных из них на общую эффективность тракторного агрегата.

Производительность и расход топлива могут быть оценены следующими эксплуатационно-технологическими показателями: объемом выполненной работы на полевых, погрузочных, транспортных работах и специальных технологических операциях; продолжительностью смены; средней скоростью движения; чистой и технологиче-

ской производительностью; коэффициентами технологического обслуживания (агрегата, трактора); надежностью технологического процесса; расходом топлива на единицу выполненной работы. Эксплуатационно-технологические испытания трактора проводятся параллельно с испытаниями трактора-аналога.

6.2. УСЛОВИЯ И РЕЖИМЫ ИСПЫТАНИЙ. ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УЧЕТА

Основными условиями достоверности результатов испытаний являются следующие:

трактор используется на выполнении комплекса сельскохозяйственных или других специальных работ, типичных для зоны испытаний и тракторов данного класса и типа;

испытываемый трактор и трактор-аналог должны работать при испытаниях с одинаковыми машинами, если разница технических параметров и конструкции этих тракторов не предопределяет необходимость использования разных машин;

на каждом виде работ должно быть проведено не менее трех контрольных смен продолжительностью каждой не менее 5 ч.

При проведении контрольных смен трактор-аналог должен выполнять ту же операцию и работать на том же участке. Степень различия участков регламентируется стандартом на методы полевых испытаний. Разница в продолжительности работы сравниваемых тракторов за смену не должна превышать 0,5 ч, а время начала работы не должно отличаться более чем на 1 ч. Контрольная смена на транспортной работе должна включать не менее 15 ездов. При этом сравниваемые тракторы должны работать на одном маршруте, осуществлять перевозки одного и того же груза и обслуживаться одними и теми же погрузочными средствами.

Контрольная эксплуатация в хозяйственных условиях проводится в течение полного календарного года. Общий объем работ не должен быть меньше средненормативной загрузки, установленной для данного типа и класса трактора в зоне испытаний. Удельный вес различных работ в общем балансе времени должен быть таким, чтобы трактор выработал не менее половины среднегодового объема на каждом виде работ из числа основных для него в зоне испытаний.

До начала контрольных смен и контрольной эксплуатации в хозяйственных условиях и через каждые 400...500 моточасов должны сниматься регуляторные характеристики двигателей сравниваемых тракторов.

Комплектование агрегатов испытываемых тракторов осуществляется в соответствии с рекомендациями заводов-изготовителей применительно к условиям зоны испытаний. При отсутствии указанных рекомендаций состав агрегатов подбирается экспериментально исходя из обеспечения наибольшей производительности и агротехнических требований.

Подбор скорости движения осуществляется перед началом испытаний при проведении контрольных опытов. По тяговой характерис-

тике трактора выбирается передача, обеспечивающая максимальную производительность при данном тяговом сопротивлении и соблюдении технологических требований для данной работы. В контрольных опытах эта передача уточняется. Для этого первый зачетный гон трактор проходит на передаче, предшествующей той, которая выбрана по тяговой характеристике; второй гон — на следующей по порядку передаче; третий — еще на одну передачу выше и так, пока не выявится явная перегрузка двигателя (по заметному падению частоты вращения). Каждый зачетный гон трактор должен проходить в прямом и обратном направлениях на одной передаче, что позволяет учесть влияние на производительность рельефа контрольного участка. В случаях, когда скорость ограничивается энергетическими возможностями тракторов, подбирают такой режим, при котором средняя загрузка двигателя при работе под нагрузкой составляет для гусеничных тракторов 85...95%, а для колесных — 80...90% максимальной мощности двигателя.

При проведении технологических испытаний составляются следующие документы: месячный график проведения работ и общий план эксплуатации трактора; график технического обслуживания тракторов и агрегируемых машин или орудий; график отбора проб масла; схема (маршрут) движения испытываемой группы; распорядок рабочего времени и сменный график работы агрегата.

Первичными источниками сведений для определения основных показателей при эксплуатационно-технологических испытаниях тракторов являются наблюдения и замеры необходимых величин. Основными формами технического наблюдения при этих испытаниях следует считать сплошной и выборочный хронометраж.

Под сплошным хронометражом подразумевается непрерывная регистрация составляющих продолжительности смены и показателей производственных операций, выполняемых испытываемыми агрегатами, а также процессов по обслуживанию этих агрегатов в течение всего периода испытаний.

Выборочный хронометраж применяют в тех случаях, когда в процессе испытаний на рядовых хозяйственных работах программой предусмотрена более детальная проверка некоторых показателей тракторов (например, производительности и расхода топлива). В зависимости от назначения хронометража отдельные смены можно производить после специальной их подготовки.

Хронометражист постоянно находится на тракторе в течение смены и заносит в наблюдательный лист все элементы затрат времени в порядке их последовательности, а также необходимые сведения в соответствии с программой и формой наблюдений.

Большая трудоемкость хронометражных работ при эксплуатационно-технологических испытаниях тракторов, потребность в большом количестве специальных работников обусловили необходимость создания приборов для автохронометража. Такие приборы позволяют автоматически регистрировать составляющие затрат времени в течение смены и все необходимые параметры для определения эксплуатационно-технологических показателей трактора.

6.3. ПАРАМЕТРЫ, ИЗМЕРЯЕМЫЕ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ ТРАКТОРА

Продолжительность смены определяется путем регистрации времени ее начала и конца. Измерение продолжительности элементов операций или простоев осуществляется последовательной регистрацией времени начала и конца каждого элемента операции или последовательным определением продолжительности каждого элемента операций с одновременным суммированием затрат времени.

Отдельные составляющие затрат времени за смену должны учитываться дифференцированно и группироваться следующим образом:

T_1 — продолжительность чистой работы: а) затраты времени при полевых и стационарных работах, в течение которого основные рабочие органы агрегатируемых с трактором машин находятся под нагрузкой и выполняют заданный технологический процесс; б) при транспортных работах — продолжительность движения трактора по заданному маршруту с грузом и без груза; в) при погрузочных работах — продолжительность выполнения погрузочных циклов, включая захват материала, перенос и погрузка его в прицеп или место складирования, возврат рабочего органа к месту размещения погружаемого материала;

T_2 — затраты времени на повороты и заезды в загоне; учитываются повороты и заезды на концах гона с прекращением основного технологического процесса;

T_3 — затраты времени на технологическое обслуживание агрегата, T'_3 — трактора; включают и время на выполнение дополнительных операций по обеспечению технологического процесса;

T_4 — затраты времени на устранение нарушений технологического процесса (устранение и предупреждение забивания рабочих органов машин, буксования трактора — T'_4 и др.);

T_5 — затраты времени на техническое обслуживание агрегата, T'_5 — трактора; входят ежесменное техническое обслуживание трактора и машины; запуск, прогрев двигателя; комплектование агрегата и перевод машины в рабочее и транспортное положение;

T_6 — затраты времени на устранение отказов и неисправностей агрегата, T'_6 — трактора; учитывается и продолжительность восстановления их регулировок;

T_7 — продолжительность отдыха обслуживающего персонала;

T_8 — затраты времени на холостые переезды трактора;

T_9 — продолжительность простоев по причинам, не зависящим от испытываемого трактора и машины: связанные с организацией работ, из-за метеорологических условий, из-за выполнения дополнительных работ.

Указанные составляющие затрат времени используются для оценки эксплуатационно-технологических качеств трактора.

Погрешности при определении продолжительности смены допускаются до ± 5 мин, а для отдельных операций в зависимости

от их длительности: более 20 мин — ± 20 с, от 1 до 20 мин — ± 5 с, от 10 с до 1 мин — ± 2 с, менее 10 с — $\pm 0,2$ с.

Расход топлива за смену и за время чистой работы измеряют отдельно. Допускаемая погрешность измерений не более $\pm 2\%$. В качестве приборов применяют мерные емкости или расходмеры.

Длина и ширина обрабатываемого участка: длина измеряется по двум противоположным сторонам участка в конце смены; ширина — в двух его поперечных сечениях на расстоянии от 30 до 50 м от концов участка (точность $\pm 1\%$).

Ширина захвата агрегата определяется с точностью $\pm 1\%$ замером реального захвата всеми рабочими органами агрегата, включая боковую навеску машин.

Глубина обработки почвы измеряется в начале, середине и конце смены при движении трактора в прямом и обратном направлениях на расстоянии не менее 30 м от конца участка. Количество измерений на каждой стороне должно быть не менее 20. Расстояние между точками измерений 1...2 м. Погрешность измерений не должна превышать $\pm 5\%$.

Средняя скорость движения трактора на гоне определяется три раза (в начале, середине и в конце смены) при движении трактора с установившейся нагрузкой в прямом и обратном направлениях путем измерения затрат времени на прохождение трактором определенного расстояния.

Средняя нагрузка двигателя определяется снятием показаний с указателя загрузки двигателя три раза (в начале, середине и конце смены), при отсутствии указателя — по среднему расходу топлива за час чистой работы.

Длина маршрута трактора при транспортных работах измеряется при пробном проезде с регистрацией пройденного пути по маршруту с точностью ± 50 м.

Масса перевозимого груза определяется путем взвешивания прицепов с грузом и без груза во время каждой ездки с точностью до $\pm 1\%$.

Уклоны маршрута и поля находят по топографическим картам или путем непосредственных измерений.

Температура охлаждающей жидкости и масла в двигателе измеряется через каждый час работы трактора в течение смены.

Температура и влажность воздуха измеряется в начале, середине и в конце смены в точке, расположенной в зоне испытаний на высоте 1,5 м от поверхности почвы или дорожного фона.

Все регистрируемые в течение смены параметры заносятся в наблюдательный лист, который составляется отдельно для каждого трактора.

Кроме того, при испытаниях должны регистрироваться:

дата и место испытаний, вид работы, состав агрегата, рабочая передача, количество и квалификация обслуживающего персонала;

конфигурация участка поля, на котором проводятся испытания, его рельеф, тип почвы, предшествующая обработка и культура, засоренность, состояние убираемой культуры;

при транспортных работах — рельеф маршрута, дорожно-почвенный фон маршрута и погрузочно-разгрузочные средства;

отказы и причины нарушения технологического процесса, расход запасных деталей и материалов на устранение отказов.

Агротехническая оценка качества технологического процесса должна проводиться в соответствии с действующими стандартами на испытание сельскохозяйственных и других машин, выполняющих пахоту, посев, работы по уходу за растениями, сплошную обработку или специальные виды работ (трелевку древесины, прокладку каналов осушительной сети и т. д.). Из числа показателей, указанных в этих стандартах, следует определять: при пахоте — равномерность глубины обработки, слитность пашни, заделку пожнивных остатков и удобрений; при посеве — равномерность глубины заделки семян и прямолинейность рядков; при уходе за растениями и сплошной обработке — равномерность глубины обработки и повреждения растений.

При контрольной эксплуатации в хозяйственных условиях учитываются дни, когда испытываемый трактор или трактор-аналог в соответствии с агротехническими сроками должны, но не могут быть использованы ввиду ограниченности их конструктивных возможностей.

Твердость и влажность почвы измеряют на глубине 5, 10 и 15 см в местах, расположенных на участке поля, обрабатываемого испытываемым трактором и трактором-аналогом. Количество мест измерений на каждом участке должно быть не менее 10.

Урожайность и высота стеблей убираемой культуры определяются в соответствии с действующими стандартами по видам культур.

6.4. ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ТРАКТОРА

Обработка результатов и определение показателей по каждой смене осуществляется по следующим зависимостям.

1. Затраты времени (τ) в течение смены на выполнение операций данной (j -й) группы

$$T_j = \sum_{i=1}^{k_i} \tau_i.$$

где τ_i — затраты времени на выполнение одного элемента операций, относящихся к данной группе, ч; k_i — количество элементов операции данной группы за смену.

2. Объем выполненной трактором работы:
на полевых работах (га)

$$A = 10^{-4} L_y C_y,$$

где L_y — средняя длина обрабатываемого участка, м; C_y — его средняя ширина, м;

на погрузочных работах и на разбрасывании технологического материала (т)

$$A = \sum_{i=1}^l m_i,$$

где m_i — масса материала, погруженного или распределенного за цикл, т; l — количество циклов;

на транспортных работах (т·км)

$$A = L_M \sum_{i=1}^l m_i,$$

где L_M — длина маршрута, км.

3. Расход топлива (кг/га, кг/т, кг/(т·км)) на единицу выполненной работы

$$g = G_T/A,$$

где G_T — расход топлива за время, равное $T_1 + T_2 + T_3$, кг.

4. Средняя скорость движения трактора (м/с) на полевых работах

$$v = S_{оп}/\tau_{оп},$$

где $S_{оп}$ — путь, пройденный трактором за опыт, м; $\tau_{оп}$ — продолжительность опыта, с.

5. Чистая производительность (га/ч, т·км/ч, т/ч)

$$W_q = A/T_1.$$

6. Технологическая производительность (га/ч, т·км/ч, т/ч)

$$W_{техн} = A/(T_1 + T_2 + T_3).$$

7. Коэффициент рабочих ходов

$$k_1 = T_1/(T_1 + T_2).$$

8. Коэффициент технологического обслуживания агрегата

$$k_2 = T_1/(T_1 + T_3);$$

трактора

$$k_2 = T_1/(T_1 - T_3).$$

9. Коэффициент надежности технологического процесса агрегата

$$k_3 = T_1/(T_1 + T_4);$$

трактора

$$k_3 = T_1/(T_1 + T'_4).$$

По результатам всех измерений за период испытаний на каждом виде работ в идентичных условиях определяют средние значения этих показателей.

Глава 7. СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТРАКТОРОВ **И ИХ СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ**

7.1. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

В системе экспериментальной доводки и оценки качества опытных и серийных тракторов и их сборочных единиц роль стендовых испытаний все более возрастает. Затраты времени и средств при испытаниях на стенде значительно ниже, чем для получения того же результата при испытаниях в эксплуатационных условиях. Кроме того, проведение стендовых испытаний не зависит от климатических и погодных условий, времени года и суток.

Для получения достоверных результатов испытаний на стенде, сопоставимых по основным показателям с результатами испытаний в реальных условиях эксплуатации, должны соблюдаться следующие основные принципы:

при стендовых испытаниях трактора — учитываться все его наиболее существенные связи с сельхозмашинами (силовые, кинематические, динамические и др.) и силы взаимодействия с внешней средой (двигателей с опорной поверхностью); следовательно, трактор должен рассматриваться как составная часть динамической системы машинно-тракторного агрегата, т. е. технической системы более высокого иерархического уровня;

при стендовых испытаниях сборочных единиц трактора — учитываться их наиболее существенные связи с трактором как системой более высокого иерархического уровня, с одной стороны, а с другой — со сборочными единицами такого же уровня (например, коробки передач — с муфтой сцепления и ведущими мостами, где выходные данные муфты сцепления являются входными для испытываемой коробки передач, а выходные данные последней — входными для ведущих мостов).

Стендовое оборудование должно обеспечивать:

имитацию с достаточной точностью процессов и режимов работы реального тракторного агрегата;

высокую степень повторного воспроизведения исследуемых режимов работы с учетом реально возможных износов элементов сборочных единиц и их систем управления;

испытания и доводку отдельных конструктивных элементов, влияющих на выходные параметры сборочных единиц;

ускорение ресурсных испытаний;

минимальные затраты времени и издержки на проведение эксперимента.

От вида испытаний, назначения и конструктивного исполнения трактора и его сборочных единиц зависит выбор параметров стендов и методики испытаний. Однако для тракторов в целом и их основных сборочных единиц (двигателя, трансмиссии, фрикционных элементов, ходовой системы, механизма навески и др.) существуют общие принципы проведения стендовых испытаний. Рассмотрим принципиальные схемы и конструктивные особенности стендов различного назначения, а также методики выбора их параметров и нагрузочных режимов при испытаниях.

Различают испытания на стендах при эксплуатационных нагрузках и ускоренные. В основу метода ускоренных испытаний положена качественная идентичность повреждений деталей по виду и характеру промежуточных и предельных состояний, полученных на стенде и при эксплуатации трактора. Ускорение стендовых испытаний достигается за счет сокращения перерывов в работе, увеличения числа циклов и повышения уровня нагружения узла по сравнению с эксплуатационными, усиления воздействия факторов, связанных с влиянием окружающей среды. Для оценки достоверности результатов стендовых испытаний применяют коэффициент сопоставимости износ и поломок на стенде и в условиях рядовой эксплуатации.

Ускоренные испытания зубчатых колес, подшипников, валов базируются на использовании степенной зависимости между количеством циклов нагружения деталей и напряжениями σ , вызывающими их разрушение или предельный износ:

$$N_{\text{ц.ст}} \sigma_{\text{ст}}^x = N_{\text{ц.э}} \sigma_{\text{э}}^x = \text{const},$$

откуда

$$N_{\text{ц.ст}} = N_{\text{ц.э}} \left(\frac{\sigma_{\text{э}}}{\sigma_{\text{ст}}} \right)^x,$$

где $N_{\text{ц.э}}$, $N_{\text{ц.ст}}$ — число циклов нагружения детали в условиях эксплуатации и при испытании на стенде; $\sigma_{\text{э}}$, $\sigma_{\text{ст}}$ — напряжения в детали, соответствующие указанным условиям; x — показатель степени, зависящий от вида детали и ее напряженного состояния.

При одинаковой частоте вращения ($n_{\text{э}} = n_{\text{ст}}$) исходя из зависимостей

$$N_{\text{ц.э}} = n_{\text{э}} T_{\text{э}} \text{ и } N_{\text{ц.ст}} = n_{\text{ст}} T_{\text{ст}}$$

можно определить продолжительность ускоренных стендовых испытаний:

$$T_{\text{ст}} = T_{\text{э}} \left(\frac{\sigma_{\text{э}}}{\sigma_{\text{ст}}} \right)^x.$$

Для исключения искажений результатов стендовых испытаний и их сопоставимости с результатами испытаний в условиях эксплуатации при выборе режимов испытаний вводят ряд ограничений: напряжения должны быть не ниже (0,6...0,7) σ_{-1} для проявления

усталостного характера работы деталей (ограничение снизу) и не превышать предела пропорциональности (ограничение сверху). Кроме того, фактические нагрузки при стендовых испытаниях не должны вызывать перекосов и деформаций, нарушающих качество сопряжения 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 в условиях эксплуатации трактора и определяется статистическими методами по результатам эксплуатационных испытаний.

Для фрикционных сборочных единиц ограничивается работа трения (ограничение сверху), т. е. удельные работа и мощность трения не должны превышать предельных значений. Кроме того, интервал времени между циклами нагружения должен быть достаточным для обеспечения естественного или принудительного охлаждения поверхностей трения, т. е. предупреждения превышения допустимой температуры для данного фрикционного материала.

Стендовые испытания тракторов и сборочных единиц позволяют исключить влияние факторов, не характерных для всех условий эксплуатации трактора (например, климатических и дорожных условий, фона почвы, неравномерности режима работы и т. п.), исследовать явления с высокой степенью точности при помощи точной измерительной аппаратуры в лабораторных условиях. Недостатком стендовых испытаний является невозможность воспроизвести все эксплуатационные условия работы механизма или машины. Поэтому результаты стендовых испытаний позволяют оценивать лишь качество сборочной единицы или машины при выбранных условиях нагружения.

7.2. СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТРАКТОРОВ

7.2.1. Общие положения

Для испытаний тракторов используются в основном стенды двух принципиально отличных схем: стенды, на которых испытывается трактор в сборе; стенды, представляющие собой физическую модель трактора или тракторного агрегата.

В первом случае испытываемый трактор в сборе устанавливается непосредственно на стенд и определяются основные его параметры: тяговые характеристики, показатели переходных процессов, параметры колебательной системы и др.

Во втором случае трактор заменяется физической моделью, в которой поступательно движущиеся и вращающиеся массы тракторного агрегата заменяются соответствующими маховиками, соединенными упругими валами с демпферными устройствами, и тормозами для имитации сопротивления движению трактора и сельскохозяйственной машины.

Подходы к выбору параметров этих стендов и методов испытаний на них имеют принципиальные отличия.

Тяговые показатели колесных тракторов в значительно большей мере, чем гусеничных, зависят от почвенного фона, характеристики которого могут меняться в широких пределах даже на одном поле. Поэтому обеспечение идентичности условий проведения тяговых испытаний колесных тракторов и реальных условий особенно важно.

Тяговые показатели колесных тракторов можно определять на стендах с беговыми барабанами. Преимущество испытаний на таких стендах перед испытаниями в естественных условиях в том, что на стендах обеспечивается высокая точность воспроизведения нагрузочных режимов и сил сцепления колесных движителей с покрытием беговых барабанов для всех тракторов, а также возможность создания сопоставимых условий внешней среды, влияющей на мощностные и экономические показатели работы двигателя.

В то же время тяговые показатели колесного трактора, определяемые на стенде с беговыми барабанами, отличаются от этих же показателей, полученных на естественных фонах из-за различия условий сцепления колес на барабанах стенда и на естественном фоне. Для перехода от результатов стендовых испытаний к тяговым показателям, соответствующим естественным почвенным условиям, разработана методика их пересчета.

Результаты тяговых испытаний, полученные на стенде и пересчитанные для различных естественных фонов, более объективно характеризуют тяговые возможности трактора, чем результаты, полученные непосредственно на конкретном почвенном фоне, так как носят усредненный для данного фона характер.

Общий вид стенда для испытаний мощных колесных тракторов показан на рис. 7.1, а его кинематическая и принципиальная электрическая схемы — на рис. 7.2 и 7.3.

Четыре беговых барабана диаметром 1206 мм и шириной 1200 мм, облицованные деревянными брусками, смонтированы на двух независимых полурамах стенда 3 и 4. Барабаны попарно могут быть заблокированы муфтами 8 (рис. 7.2). Одна полурама 3 (рис. 7.1) с барабанами 11, на которые устанавливаются колеса переднего моста трактора, смонтирована на четырех катках и может перемещаться по рельсам вдоль продольной оси стенда, что позволяет устанавливать на барабаны тракторы с базой 1500—3000 мм.

Вторая полурама 4 стенда смонтирована на весовом устройстве 10 рычажного типа, с помощью которого определяется в процессе проведения исследований перераспределение нагрузки по мостам трактора. Конструкцией весового устройства предусматривается возможность отключения его при проведении длительных испытаний.

Каждый беговой барабан имеет свой независимый привод, который состоит из планетарного двухступенчатого редуктора 6 (рис. 7.2) с переключением передач при помощи муфты 5 с пнев-

матическим цилиндром, углового редуктора 4 с карданной пер-
чей 3 и коробки передач 2. Корпусы редукторов 4 установлены на
подшипниках качения, что позволяет определить крутящий момент
на выходе из планетарного редуктора с помощью динамометров 5
(рис. 7.1). Наличие в трансмиссии стенда двухступенчатых плане-
тарных редукторов и девятискоростных коробок передач способст-
вует обеспечению нормальной загрузки тормозных машин на всех
режимах испытаний трактора.

Загрузка трактора производится четырьмя электрическими тор-
мозными машинами 2 постоянного тока (рис. 7.1). Регулировка

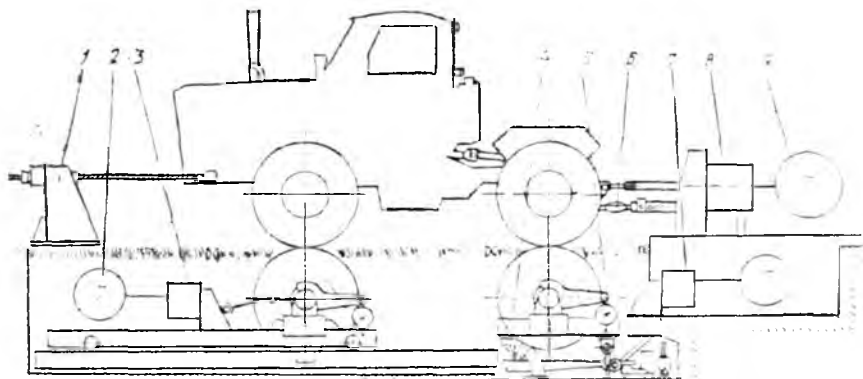


Рис. 7.1. Схема стенда с беговыми барабанами:

1—прищипное устройство; 2—электрическая тормозная машина; 3—полурама передних барабанов; 4—полурама задних барабанов; 5—динамометр; 6—тензосенсор; 7—коробка передач трансмиссии стенда; 8—коробка передач привода балансирующей машины; 9—балансирующая машина; 10—рычажные весы; 11—беговые барабаны

нагрузки тормозных машин производится при помощи нагрузочных реостатов 3 и 9 (рис. 7.3).

Для имитации сил инерции поступательно движущихся масс трактора на переходных режимах его работы применена следующая схема. С валом электрической тормозной машины соединен тахогенератор постоянного тока 5, цепь которого присоединена к первичной обмотке трансформатора. Вторичная обмотка трансформатора подключена к обмотке 7 усилителя, соединенного с цепью возбуждения тормозных машин каждой пары барабанов. При изменении магнитного потока тормозной машины создается дополнительный момент, значение которого определяется функцией изменения частоты вращения барабанов во времени. Таким образом, влияя на ток возбуждения тормозной машины, можно регулировать ток нагрузки и тем самым имитировать составляющую сопротивления движению от силы инерции поступательно движущихся масс трактора и агрегатируемых с ним машин и орудий.

Для определения характеристик двигателя и имитации его загрузки сельскохозяйственными орудиями, получающими привод от вала отбора мощности, на стенде смонтирована балансирующая ма-

шина 9 (рис. 7.1), которая соединена с ВОМ трактора пятискоростной коробкой передач. Все нагрузочные электрические машины стенда могут работать в режиме как генератора, так и двигателя.

Стенд оборудован измерительной аппаратурой, размещенной в звукоизолированной кабине управления: блоком логометров для контроля теплового режима двигателя, сборочных единиц трактора и привода стенда; блоком счетчиков для определения частоты

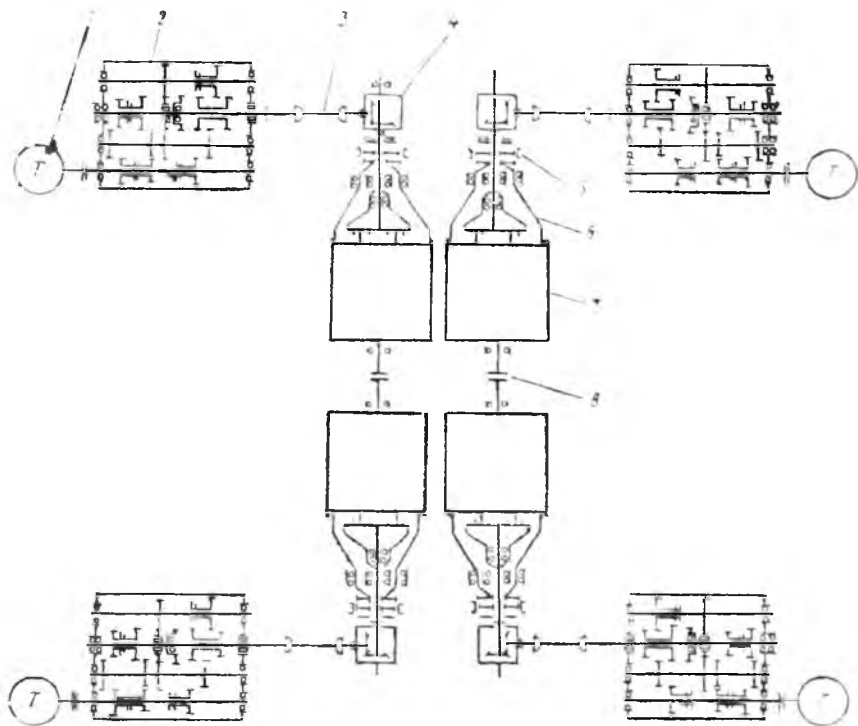


Рис. 7.2. Кинематическая схема стенда с беговыми барабанами:

1—электрические тормозные машины; 2—коробки передач трансмиссии стенда; 3—карданные передачи; 4—угловые редукторы; 5—муфты переключения передач планетарных редукторов; 6—планетарные редукторы; 7—беговые барабаны; 8—муфты блокировки барабанов

вращения барабанов стенда и колес трактора. Счетчики частоты вращения барабанов фиксируют сигналы от фотоэлектрических датчиков, а частоты вращения колес — от специальных прерывателей.

Поршневой электрический расходомер топлива соединен с двумя импульсными счетчиками МЭС-54. Для контроля правильности показаний расходомера последовательно с ним смонтирована установка для замера расхода топлива весовым способом. Все счетчики одновременно включаются и автоматически отключаются через 60 с.

Стенд оборудован также тахогенераторами авиационного типа для определения частоты вращения вала двигателя и визуального

контроля частоты вращения барабанов в процессе загрузки стенда. Тензометрические звенья предназначены для записи на ленту осциллографа изменений тягового усилия. Одновременно тяговое усилие контролируется визуально.

С помощью тензоизмерительной аппаратуры регистрируются тяговое усилие, частота вращения колес и барабанов, крутящие мо-

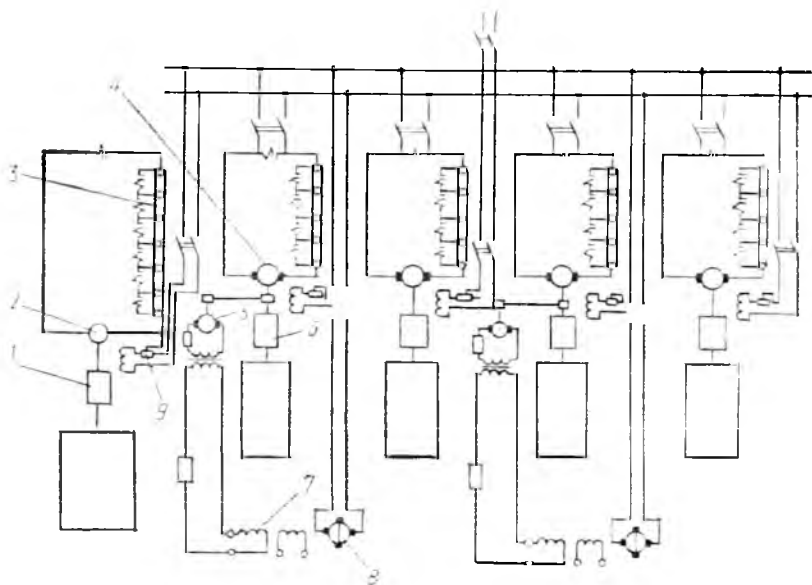


Рис. 7.3. Принципиальная электрическая схема стенда:

1—коробка передач привода балансирующей машины; 2—балансирующая машина; 3—нагрузочное сопротивление; 4—тормозные машины; 5—тахогенераторы постоянного тока; 6—трансмиссия стенда; 7—обмотка возбуждения электромашиинного усилителя; 8—электромашиинные усилители; 9—реостаты

менты на валах трактора и другие параметры. На стенде имеется также устройство связи операторов с водителем трактора.

Методика определения тягово-экономических показателей колесного трактора на стенде с беговыми барабанами сводится к следующему.

Перед проведением тяговых испытаний на стенде проверяется функционирование всех сборочных единиц и систем, определяются регуляторная характеристика двигателя, масса трактора и распределение нагрузки на колеса. Трактор на стенде устанавливается таким образом, чтобы вертикальные оси колес и барабанов находились в одной плоскости, т. е. трактор на барабанах был в состоянии неустойчивого равновесия. Тяговый динамометр устанавливают горизонтально.

Испытываемый трактор оборудуют первичными измерителями, приборами, системами для отвода отработавших газов и др. Затем проверяют давление воздуха в шинах и при необходимости доводят

его до требуемого, проверяют и тарируют измерительное оборудование и приборы.

При тяговых испытаниях обеспечивается одинаковая угловая скорость вращения всех барабанов, что необходимо для испытаний полноприводных тракторов с бездифференциальной связью осей. Это позволяет избежать циркуляции мощности.

Определение тяговых характеристик трактора начинается с минимальной силы тяги, значение которой обусловлено потерями мощности в силовой передаче стенда. Загрузка трактора осуществляется тормозными машинами ступенчато, что позволяет выявить характер изменения тягово-экономических показателей в зависимости от загрузки. На каждой передаче производится 12...15 замеров угловой скорости вращения вала двигателя, колес, беговых барабанов; тягового усилия; времени расходования определенной дозы топлива при определении его расхода весовым способом или суммарного числа импульсов подачи топлива за 1 мин при использовании расходомера; температуры воды, масла и топлива в системах двигателя, в подкапотном пространстве, а также атмосферного воздуха.

После завершения всего комплекса испытаний вновь определяют регуляторную характеристику двигателя и тарируют измерительное оборудование.

Для построения тяговой характеристики трактора определяются следующие параметры:

действительная скорость трактора (м/с)

$$v_d = \omega_b R_b,$$

где ω_b — угловая, действительная скорость вращения барабана, рад/с; R_b — его радиус, м;

теоретическая скорость трактора (м/с)

$$v_t = \omega_d r_{k0} / i_{тр},$$

где r_{k0} — радиус качения колеса трактора в ведомом режиме, м; ω_d — угловая скорость вращения двигателя в рассматриваемом нагрузочном режиме; $i_{тр}$ — общее передаточное число трансмиссии трактора;

буксование колес

$$\delta = r_{k0} - r_k / r_{k0} = v_t - v_d / v_t,$$

где r_k — радиус качения колеса в рассматриваемом режиме; крюковая (тяговая) мощность трактора (кВт)

$$N_{кр} = P_{кр} v_d,$$

где $P_{кр}$ — сила тяги на крюке, кН;

расход топлива, отнесенный к мощности на крюке, г/(кВт·ч),

$$g_{екр} = 1000 G_t / N_{кр}.$$

Радиус качения колеса в ведомом режиме r_{k0} (см. формулу (7.1)) определяют экспериментально. Для этого трактор установ-

ливают на стенд, а между ним и передним причальным устройством располагают тяговый динамометр.

После включения коробки передач колеса трактора приводятся в движение от беговых барабанов. При установившейся за определенный промежуток времени частоте вращения колес трактора n_{ki} и барабанов n_6 определяется

$$r_{k0} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 n_6 R_6 / n_{ki}. \quad (7.1)$$

При значительном различии радиусов качения колес на переднем и заднем мостах трактора r_{k01} и r_{k02} выравнить частоту вращения всех барабанов затруднительно из-за проскальзывания колес относительно поверхности беговых барабанов. В последнем случае рекомендуется определять радиус качения колес по формуле

$$r_{k0} = \frac{r_{k01} k_2 + r_{k02} k_1}{k_1 + k_2},$$

где k_1 и k_2 — коэффициенты изменения радиусов качения колес переднего и заднего мостов трактора в зависимости от передаваемого момента.

Для определения r_{k01} и r_{k02} колеса трактора, предварительно отключенные от трансмиссии, приводят в движение беговыми барабанами от тормозных машин, работающих в двигательном режиме. В процессе проведения эксперимента фиксируют частоту вращения каждого колеса n_{ki} и беговых барабанов n_6 , а также показания тягового динамометра P'_{f0} . Радиусы качения колес определяют по формуле

$$r_{k0i} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 n_6 R_6 / n_{ki}, \quad i = 1, 2.$$

Силы сопротивления качению колес переднего и заднего мостов

$$P_{f01} = P_{f0} \frac{G_1}{G}; \quad P_{f02} = P'_{f0} \frac{G_2}{G},$$

где G — вес трактора; G_1 и G_2 — доля веса трактора, приходящая соответственно на передний и задний мост.

Коэффициенты изменения радиусов качения колес k_1 и k_2 определяются следующим образом. После присоединения тягового динамометра к прицепной скобе трактора колеса приводятся в движение от двигателя, а тормозные машины стенда переводят на работу в генераторном режиме. Включая попеременно ведущие мосты трактора, определяют зависимости $r_{ki} = f(P_{кр})$.

Усилие $P_{кр}$ фиксируется тяговым динамометром, а радиусы качения колес определяются описанным выше методом. Затем, определив по $P_{кр}$ моменты на ведущих колесах M_{ki} , строят зависимость $r_{ki} = f(M_{ki})$. Коэффициенты k_1 и k_2 определяются как тангенсы углов наклона соответствующих прямых к оси абсцисс.

При проведении экспериментов максимальная сила тяги должна быть такой, чтобы исключалась возможность буксования колес.

После определения перечисленных параметров строится тяговая характеристика трактора.

7.2.3. Динамические показатели тракторов

При экспериментальной оценке динамических качеств трактора в составе машинно-тракторного агрегата и нагруженности элементов его трансмиссии в эксплуатационных условиях наблюдается большой разброс измеряемых параметров. Достаточную для практических целей точность результатов дают эксперименты на стендах, представляющих собой многомассовую динамическую модель тракторного агрегата.

Особенностью стенда является то, что на нем испытывается не трактор в целом, а его физическая модель, которая содержит отдельные сборочные единицы испытываемого трактора, а ряд других сборочных единиц и систем заменены аналогичными с точки зрения протекания рабочих процессов элементами, параметры которых выбираются вполне определенным образом с учетом законов механики.

Неотъемлемыми элементами стенда такого типа являются:

тракторный двигатель внутреннего сгорания, применение которого позволяет изучать влияние реальных характеристик двигателя на рабочие процессы и нагруженность элементов силового привода при установившихся и переходных режимах работы трактора;

муфта сцепления или гидромуфта для отсоединения двигателя от ведомых масс тракторного агрегата, позволяющие изучать влияние параметров этих сборочных единиц и систем управления ими на динамические показатели испытываемого агрегата и нагруженность элементов привода;

коробка передач, что дает возможность производить переключение передач и устанавливать требуемую скорость испытываемого тракторного агрегата. Кроме этого, наличие коробки передач позволяет изучить влияние типа, конструктивной схемы и параметров самой коробки и системы управления на параметры установившихся и переходных режимов агрегата;

маховики, позволяющие имитировать момент инерции ведомых масс трактора и работающих с ним машин;

тормоза для имитации сопротивления движению трактора и сельхозмашин;

устройства, заменяющие и представляющие жесткости, диссипативные силы, зазоры и т. д. Они обеспечивают соответствие параметров динамической модели параметрам реального тракторного агрегата.

Принципиальная схема стенда для определения динамических показателей трактора показана на рис. 7.4. Стенд включает двигатель 1, главную муфту сцепления 2, коробку передач 3, маховые

массы 5, 8, 11 с моментами инерции, в которых учтены вращающиеся массы соответственно заднего моста и ведущих колес, поступательно движущиеся массы трактора и его вращающиеся массы, кинематически не связанные с трансмиссией, и движущиеся массы сельхозмашины. Тормоза 9 и 12 позволяют воспроизводить сопротивление движению трактора и сельхозмашины. На стенде предусмотрены торсионы 4, 6 и 10, для имитации упругих характеристик звеньев главной и конечной передач, движителей и сцепного устрой-

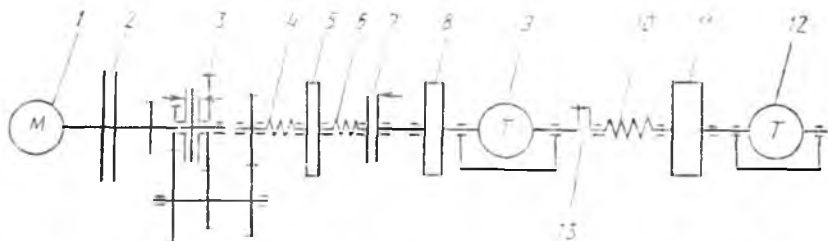


Рис. 7.4. Схема стенда для определения динамических показателей трактора

ства, устройство 13 для воспроизведения зазора в сцепке и устройство 7, проскальзывание которого имитирует буксование движителей. На стенде предусмотрена также возможность установки демпферных устройств.

Инерционные массы выполняются в виде маховиков разных размеров, установленных на вторичном валу коробки передач. Размеры маховиков выбираются из условия равенства кинетической энергии ведомых масс трактора и сельхозмашины и заменяющих их инерционных масс:

$$I_c \omega_c^2 / 2 = (m_T + m_M) v_T^2 / 2,$$

где I_c — момент инерции ведомых масс; ω_c — угловая скорость вращения вала, на котором установлены инерционные массы; m_T , m_M — масса трактора и сельхозмашины; v_T — теоретическая скорость трактора.

Момент инерции ведомых масс агрегата

$$I_c = \frac{1}{i_{з.м.}} [(m_T + m_M) r_K^2 + \Sigma I_{вр}],$$

где $\Sigma I_{вр}$ — приведенные к оси ведущих колес моменты инерции вращающихся масс ведомой части агрегата; $i_{з.м.}$ — передаточное число заднего моста; r_K — радиус качения ведущего колеса.

Моменты трения тормозов 9 и 12 выбираются из условия равенства мощностей, поглощаемой тормозами и затрачиваемой на передвижение трактора и агрегатируемой машины. Например, момент трения $M_{Т9}$ тормоза 9, ведущие элементы которого вращаются с угловой скоростью вторичного вала коробки передач, находится из условия

$$M_{Т9} \omega_T = P_f v_T (1 - \delta),$$

откуда с учетом передаточного числа заднего моста трактора

$$M_{T9} = \frac{P_f r_k (1 - \delta)}{i_{3, M}},$$

где P_f — сила сопротивления движению трактора; ω_T — угловая скорость вращения ведущих элементов тормозного механизма; δ — буксование движителей трактора.

Силовые и кинематические параметры устройства 7, скольжение которого имитирует буксование движителей трактора, выбираются из условий обеспечения равенства соответственно подводимых и снимаемых потоков мощности в рассматриваемом устройстве и на движителях трактора:

$$M_7 \omega_5 = P_k v_T, \quad (7.2)$$

$$M_7 \omega_8 = P_k v_T (1 - \delta), \quad (7.3)$$

где M_7 — момент трения, при котором проскальзывает устройство 7; P_k — касательная сила тяги на движителях; ω_5, ω_8 — угловые скорости звеньев 5 и 8 станда.

Вычтя почленно (7.3) из (7.2), а также выразив P_k через тяговое сопротивление P_{kp} и сопротивление качению P_f , получим

$$M_7 (\omega_5 - \omega_8) = (P_{kp} + P_f) v_T \delta. \quad (7.4)$$

Если устройство 7 фрикционное, то момент трения

$$M_7 = P r_{cp} \mu z, \quad (7.5)$$

где P — сила сжатия дисков; r_{cp} — средний радиус поверхностей трения; μ — коэффициент трения; z — число пар поверхностей трения.

Решая совместно (7.4) и (7.5), определим силу сжатия дисков

$$P = \frac{(P_{kp} + P_f) v_T \delta}{(\omega_5 - \omega_8) r_{cp} \mu z}.$$

Из этого выражения следует, что за счет изменения силы P на стенде можно имитировать буксование движителей, характерное для любой сельскохозяйственной операции. Если же силу P менять автоматически по заранее выбранному закону в зависимости от значения P_{kp} , то можно воспроизводить кривую буксования $\delta = f(P_{kp})$.

Жесткости C_4, C_6 и C_{10} торсионов 4, 6 и 10 определяют из условий равенства потенциальных энергий указанных торсионов и упругих звеньев соответственно главной и конечной передач с жесткостями C_T и C_K , движителей с жесткостью C_d и сцепного устройства с жесткостью C_c . Искомые жесткости:

$$C_4 = \frac{C_T C_K}{C_K i_T^2 + C_T i_{3, M}^2}; \quad C_6 = \frac{C_d}{i_{3, M}^2}; \quad C_{10} = \frac{C_c r_K^2}{i_{3, M}},$$

где i_T — передаточное число главной передачи.

Тангенциальный зазор $\Delta\varphi$ устройства 13, воспроизводящий зазор в сцепке, определяется как угол поворота выходного вала коробки передач при выборе трактором линейного зазора в сцепке:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta l}{r_k} i_{з.м.},$$

где Δl — линейный зазор в сцепке.

В приводе рассматриваемого стенда и в силовой передаче испытываемой коробки передач можно воспроизводить переменный момент сопротивления M_c за счет периодического изменения момента трения M_T на тормозе. Амплитуду динамического крутящего момента M_{c1} на валу коробки передач можно определить по резонансной кривой:

$$M_{c1} = M_{T1}/[1 - (\omega/\rho)^2],$$

где M_{T1} — амплитуда момента сопротивления тормоза; ω — частота вынужденных колебаний момента; ρ — амплитуда собственных колебаний системы валов стенда.

Если на стенде установить механические гидроуправляемые тормозные механизмы, то требуемый закон крутящего момента на вторичном валу коробки передач может быть обеспечен за счет периодического изменения с определенной частотой и амплитудой осевого усилия на поверхностях трения тормозов.

На рис. 7.5 приведены схемы систем управления одним из тор-

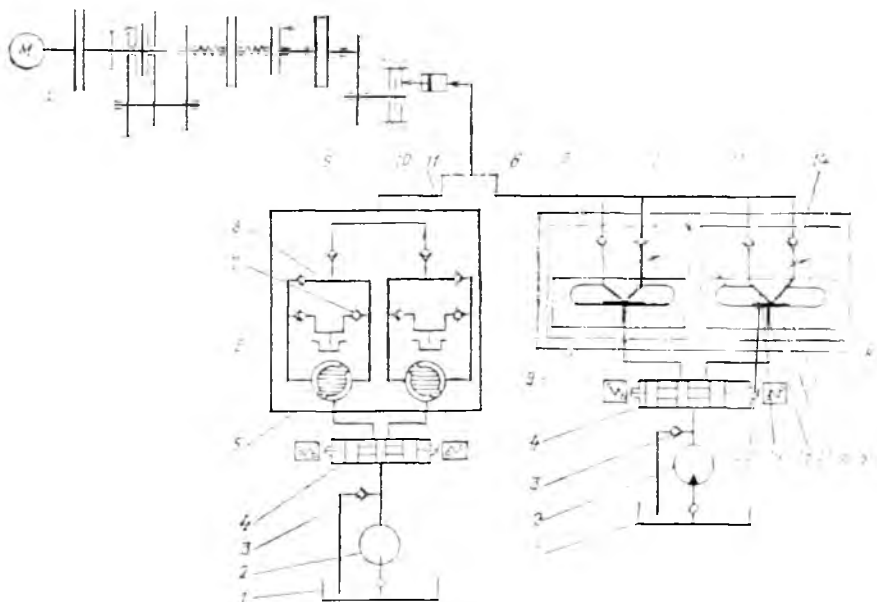


Рис. 7.5. Схемы систем управления тормозом:
а — роторного типа; б — со струйными элементами

мозов, обеспечивающих изменение момента сопротивления тормоза по заданному закону. Системы управления состоят из гидронасоса 2, переливного клапана 3, многопозиционного золотника 4 и блока пульсаторов 11. Рабочая жидкость находится в резервуаре 1. Приведенные схемы систем управления отличаются только блоками пульсаторов: на рис. 7.5, а — блок роторных пульсаторов, на рис. 7.5, б — струйных. Каждый блок содержит один или несколько пульсаторов (на схемах показано по два пульсатора 8 и 9). Рассмотрим принцип работы одного из пульсаторов, например 8.

В системе с роторными пульсаторами (рис. 7.5, а) масло из резервуара 1 подается гидронасосом 2 через золотник 4 к распределительному крану 5 пульсатора 8. Ротор крана, приводимый во вращение от вала электродвигателя постоянного тока, соединяет поочередно нагнетательную магистраль насоса 2 через полости и соответствующие ветви пульсатора с магистралью 10 системы управления тормозом. Пульсатор имеет два клапана 7 и 6, один из которых отрегулирован на минимальное заданное давление, второй — на максимальное. При различном давлении масла на поршень тормоза различна и степень сжатия его тормозных дисков, за счет чего и создается переменное сопротивление тормоза. Частота колебаний момента определяется частотой вращения крана 5, а амплитуда колебаний — регулировкой клапанов 7 и 6 пульсатора.

В системе со струйным пульсатором (рис. 7.5, б) масло от насоса 2 через золотник 4 подается в сопло питания 18 струйного генератора 15, а из сопла 18 направляется в один из выходных клапанов, например 20, открывает обратный клапан 13 и поступает из магистрали 10 в силовой цилиндр тормоза. Одновременно масло из канала 20 по каналу обратной связи 12 поступает в управляющий канал 17. При определенных расходе и давлении масла в этом канале происходит переключение на другой выходной канал 16, причем давление в силовом цилиндре тормоза уменьшается в соответствии с регулировкой дросселя 14. По достижении определенных расхода и давления масла в канале управления 19 управляющий поток переключает поток питания в выходной канал 20. Далее цикл повторяется.

Каждый из пульсаторов (роторный или струйный) блока 11 настроен на разные пределы колебаний давления в гидросистеме управления. Переключение с одного пульсатора на другой осуществляется золотником 4.

Для оценки точности воспроизведения на стенде эксплуатационных режимов работы тракторного агрегата на рис. 7.6 приведены образцы осциллограмм процесса разгона агрегата. Первая осциллограмма (рис. 7.6, а) получена на стенде, представляющем собой двухмассовую физическую модель агрегата (рис. 7.6). Из нее видно, что буксование муфты сцепления и снижение угловой скорости двигателя заканчивается в один и тот же момент, что свидетельствует об отсутствии имитации буксования ведущих колес. На второй и третьей осциллограммах (рис. 7.6, б, в), полученных соответственно на стенде, представляющем трехмассовую физическую мо-

дель агрегата, и при работе трактора с прицепом, снижение угловой скорости двигателя прекращается несколько позже, чем заканчивается буксование муфты сцепления, что свидетельствует о буксовании ведущих колес. После прекращения буксования муфты сцепления совпадение частот и амплитуд крутящего момента на ведомом валу муфты на последних двух осциллограммах удовлетворительное.

На стенде, представляющем собой трехмассовую физическую

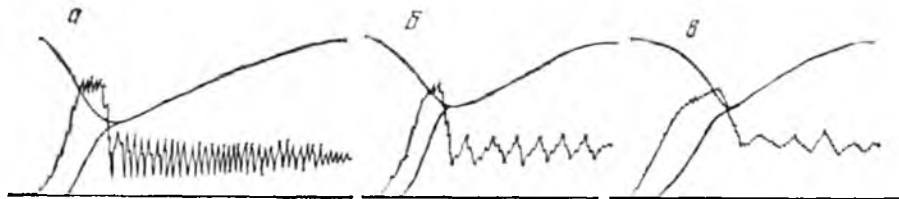


Рис. 7.6. Образцы осциллограмм процесса разгона:

а—при двухмассовой модели стенда; б—при трехмассовой модели стенда; в—на тракторе с прицепом при беззазорной сцепке

модель агрегата, можно при правильном выборе его параметров проводить следующие виды испытаний:

при установившемся режиме работы оценивать нагруженность элементов трансмиссии в зависимости от вида выполняемых трактором работ и состава агрегата, типа и параметров трансмиссии (в том числе ее податливостей и демпфирующих свойств), характеристик гидродинамических передач; изучать фильтрующие и демпфирующие свойства этих передач, а также оценивать влияние параметров колебательного процесса в трансмиссии (амплитуды и частоты колебаний) на мощностные показатели и экономичность двигателя и др.;

при переходных режимах анализировать зависимость параметров процесса разгона и переключения передач (минимальной угловой скорости вращения двигателя, работы и мощности трения, тепловой нагруженности фрикционных муфт, потерь мощности в гидромуфте и т. д.) от вида выполняемой работы и состава агрегата, параметров фрикционных муфт и гидродинамических передач, податливостей и демпфирующих свойств элементов трансмиссии; выбирать оптимальные параметры синхронизированной коробки передач и коробки с гидроруляемыми фрикционными муфтами и др.

Схема стенда (см. рис. 7.4), модернизированного в целях повышения точности имитации эксплуатационных режимов, показана на рис. 7.7.

Стенд (рис. 7.7, а) снабжен демпфером 1 крутильных колебаний, имитирующим демпфирующие свойства трансмиссии, и клиноременной передачей 2, диски которой могут перемещаться в осевом направлении под действием пружины. Если момент сопротивления тормозов возрастает, увеличивается также натяжение клиновых

ремней и, следовательно, их осевое воздействие на диски, в результате чего эти диски раздвигаются, что приводит к уменьшению рабочего радиуса шкива. Регулированием натяжения ремней и усилия пружины можно имитировать на стенде буксование колес на разных почвах, в том числе с низкой несущей способностью.

Функциональные возможности рассмотренного стенда могут быть расширены, если оборудовать его дополнительной клиноременной передачей 2, передающей вращение от привода переднего ведущего моста, и демпфером 1 этого привода (рис. 7.7, б). Тогда

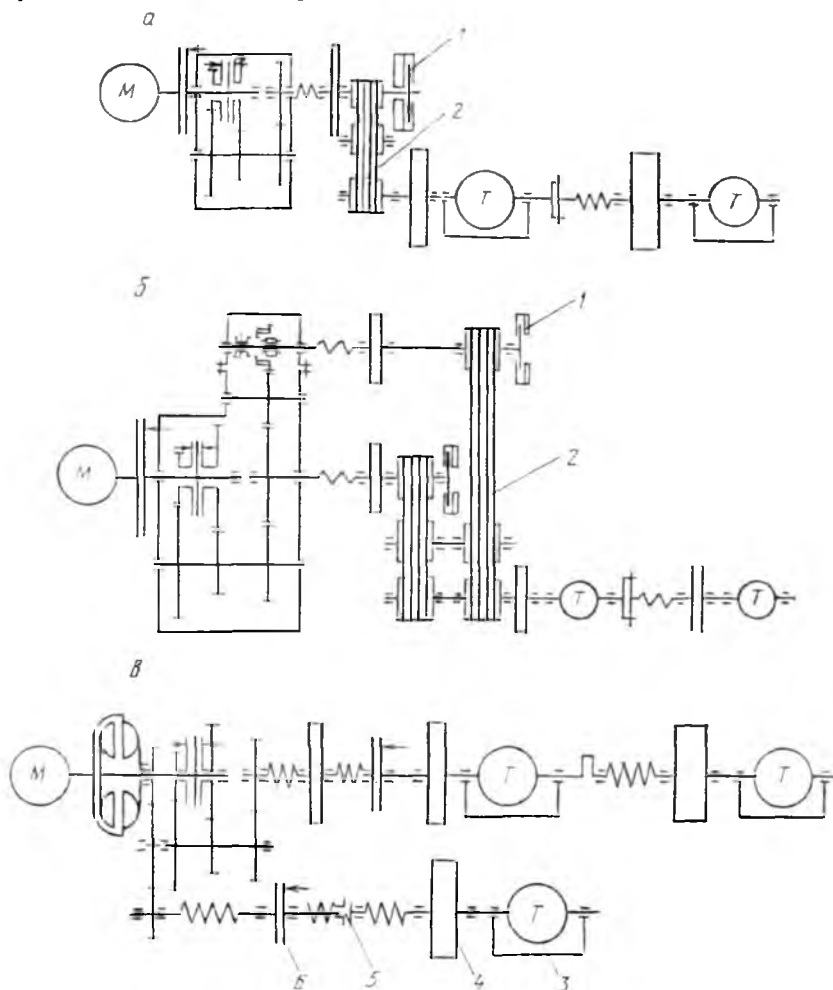


Рис. 7.7. Схемы стендов для определения динамических показателей трактора с расширенными функциональными возможностями:

a—стенд с демпфером крутильных колебаний и клиноременной передачей для имитации буксования колес; *б*—стенд для оценки динамических качеств трактора с двумя ведущими мостами; *в*—стенд для имитации режимов работы трактора с отбором мощности на привод активных рабочих органов сельхозмашин

на стенде можно воспроизводить динамические процессы в тракторах с двумя ведущими мостами.

Для воспроизведения режимов работы трактора с отбором мощности служит стенд, показанный на рис. 7.7, в. Его особенность — возможность независимого отбора мощности на привод активных рабочих органов сельхозмашин. Для имитации сопротивления и инерционных нагрузок рабочих органов этих машин служат тормоз 3 и маховики 4. Здесь предусмотрены также регулируемая муфта 6 вала отбора мощности и предохранительная муфта 5.

7.2.4. Стендовая обкатка тракторов

В массовом производстве тракторов большинство деталей подвергается выборочному контролю. Поэтому возможно неблагоприятное сочетание предельных отклонений размеров всех деталей, входящих в сборочную единицу, что может привести к дефекту сборки. Практика показывает, что для проверки качества сборки необходима обкатка в первую очередь таких сборочных единиц, как коробка передач, редукторы вала отбора мощности, ведущие мос-

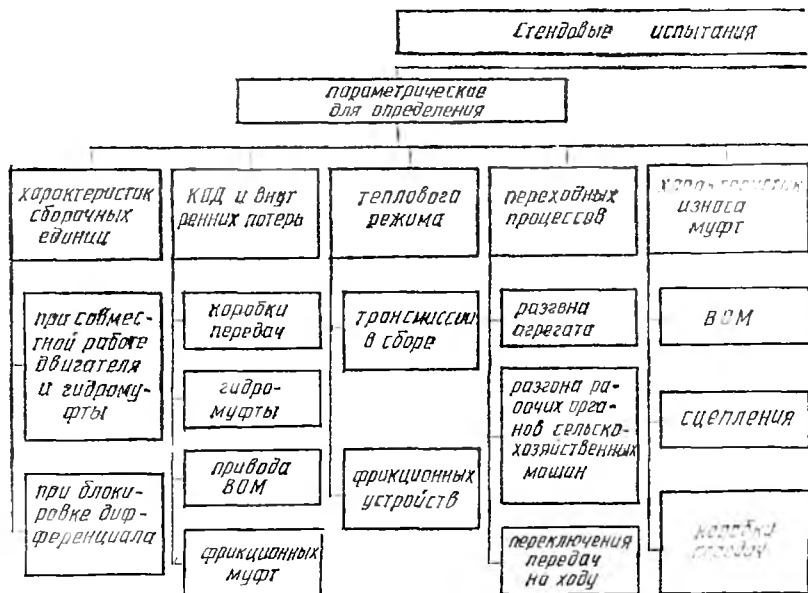


Рис. 7.8. Примерная структурная схема стендовых испытаний ступенчатых механических и гидравлических тракторных трансмиссий

ты и др. Их обкатка, проводимая как вхолостую, так и под нагрузкой, обеспечивает также некоторую первоначальную приработку, выявление скрытых дефектов сборки, а также проверку качества зубчатых зацеплений по шуму. Однако, несмотря на обкатку сборочных единиц каждой в отдельности, обкатка тракторов в сборе на стендах является обязательной составной частью технологического процесса изготовления тракторов.

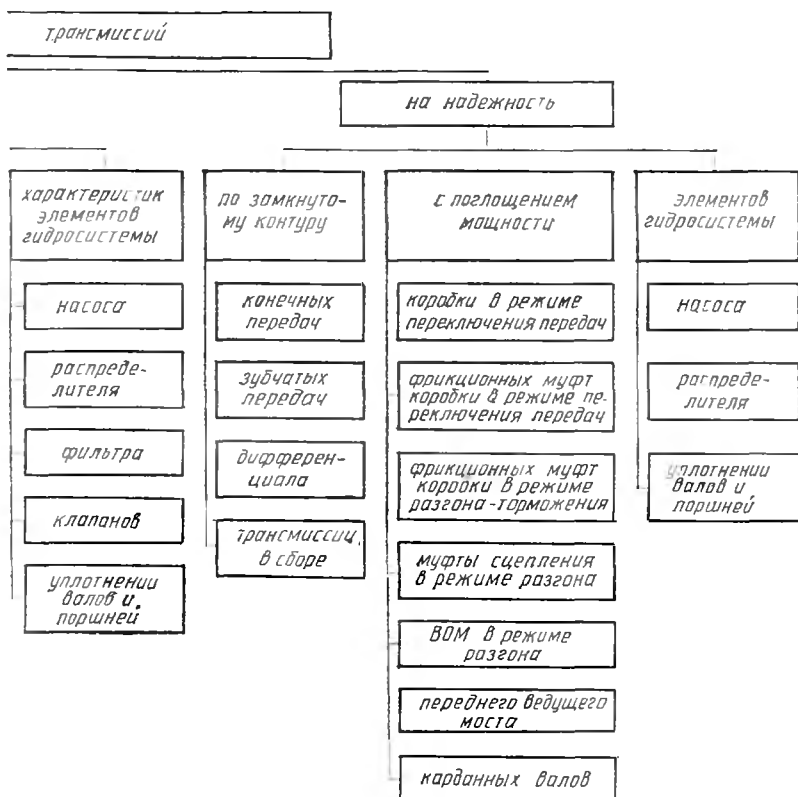
При обкатке на стендах колесные тракторы устанавливаются всеми колесами на ролики, а гусеничные тракторы — на подвижную ленту. Обкатка производится, как правило, без нагрузки при работающем двигателе на определенных передачах. Скоростной режим двигателя и номера включаемых при обкатке передач оговариваются технологическим процессом на сборку трактора. На обкаточных стендах предусматриваются устройства (чаще всего упоры), исключающие возможность перемещения трактора в процессе обкатки.

В процессе обкатки трактора ведется наблюдение за его работой и работой отдельных сборочных единиц, а после окончания обкатки производятся необходимые регулировки, устраняются выявленные дефекты и течи.

7.3. ИСПЫТАНИЯ ТРАНСМИССИЙ

7.3.1. Общие положения

Испытания трансмиссий на стендах могут быть параметрическими, ускоренными ресурсными, приемо-сдаточными и периодическими.



Для получения достоверных результатов параметры стендового оборудования и методики каждого вида испытаний должны выбираться в соответствии с поставленной целью и задачами испытаний.

Примерная структурная схема стендовых испытаний ступенчатых механических и гидромеханических трансмиссий показана на рис. 7.8.

7.3.2. Параметрические испытания

Параметрические испытания включают функциональные испытания и исследования.

Целью функциональных испытаний является проверка способности сборочных единиц выполнять заданные функции и соответствия выходных параметров сборочных единиц заданным (номинальным) значениям или техническим требованиям.

Исследования проводятся для того, чтобы выявить зависимость между отдельными, как правило, определяющими параметрами при различных конструктивных и эксплуатационных факторах, а также получить информацию для совершенствования методов расчета и выбора режимов ресурсных испытаний.

Параметрические испытания коробок передач с гидروуправляемыми фрикционными муфтами и синхронизаторами для оценки переходных процессов и соответствия их техническим требованиям осуществляются обычно на стендах с двигателями внутреннего сгорания, представляющих собой динамическую модель тракторного агрегата (см. рис. 7.4, 7.5). При испытаниях в зависимости от поставленной цели определяются крутящие моменты, частоты вращения ведущих и ведомых элементов сборочной единицы, температура, давление рабочей жидкости, перемещения деталей и др.

Испытываемая сборочная единица или ее элемент должны соответствовать требованиям чертежа и иметь выходные параметры, близкие к номинальным. Наряду с этим испытываются также сборочные единицы с предельными выходными параметрами — максимальными или минимальными, а также с предельно изношенными парами трения.

Характеристики гидродинамических передач (гидромуфт и гидротрансформаторов) снимаются на стендах с балансирными элект-

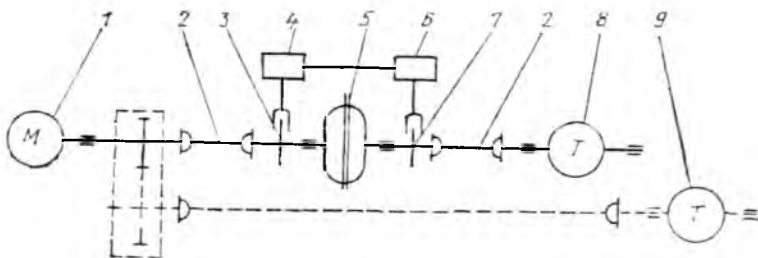


Рис. 7.9. Схема стенда для испытаний гидродинамических передач:
1—балансирный электродвигатель; 2—карданный вал; 3 и 7—первичные измерители частот вращения; 4 и 6—счетчики импульсов; 5—гидродинамическая передача; 8—балансирный генератор; 9—тормоз

ромашинами — двигателем и генератором с весовым устройством для измерения крутящего момента (рис. 7.9). Для обеспечения стопового режима предусматривается тормоз. Чтобы улучшить согласование характеристик гидродинамической передачи и нагружающего устройства на стендах большой мощности, применяют балансирные согласующие редукторы, позволяющие измерять крутящий момент на корпусе редуктора. При этом крутящий момент на турбинном валу M_T определяется как алгебраическая сумма моментов, измеренных на балансирном электрогенераторе M_r и редукторе M_p : $M_T = M_r \pm M_p$. Введение дополнительного звена способствует улучшению согласования характеристик, однако при этом несколько снижается точность определения параметров гидродинамических передач.

Для измерения частот вращения ведущих и ведомых элементов гидродинамической передачи применяются измерительные устройства 3 и 7, подающие сигналы на счетчики импульсов 4 и 6, заблокированные с электросекундомером и регистрирующие действительную частоту вращения насосного и турбинного колес за установленный промежуток времени. Применяются также электронные счетчики или частотомеры, с помощью которых можно непосредственно определять скольжение колес гидродинамической передачи.

Характеристики совместной работы двигателя внутреннего сгорания и гидродинамической передачи снимаются на таком же стенде (рис. 7.9), однако вместо балансирного электродвигателя 1 на нем устанавливается двигатель внутреннего сгорания. При этом дополнительно измеряется часовой расход топлива весовым устройством с автоматическим включением и выключением электросекундомера.

7.3.3. Ускоренные ресурсные испытания

Ускоренным стендовым испытаниям наиболее часто подвергаются трансмиссии в сборе, включающие коробку передач и ведущий мост. Такое сочетание элементов обусловлено тем, что и коробка передач, и ведущий мост содержат зубчатые колеса, подшипники, валы, и подход к их испытаниям идентичен.

Методической основой ускоренных испытаний элементов трансмиссии является использование степенной зависимости между количеством циклов нагружения деталей и напряжениями, вызывающими их разрушение или предельный износ.

Используя зависимости (7.2) и (7.3), а также учитывая, что частоты вращения зубчатых колес на стенде $n_{ст}$ и в эксплуатации n_z могут отличаться, напряжения при изгибе в зубьях шестерен пропорциональны крутящему моменту, а контактные напряжения — корню квадратному из крутящего момента, формулы для определения продолжительности стендовых испытаний можно записать в виде:

при испытаниях на усталость при изгибе

$$T_{\text{ст.н}} = T_{\text{в}} \frac{n_{\text{в}}}{n_{\text{ст}}} \left(\frac{M_{\text{в}} k_{\text{в}}}{M_{\text{ст}} k_{\text{ст}}} \right)^x;$$

при испытаниях на контактную выносливость

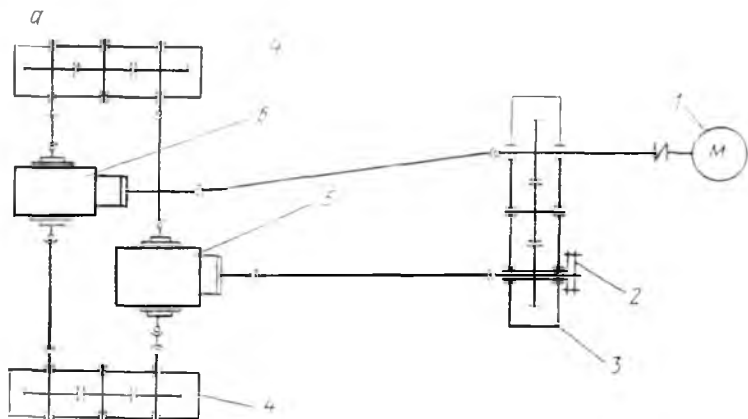
$$T_{\text{CT.K}} = T_{\text{B}} \frac{n_{\text{a}}}{n_{\text{CT}}} \left(\frac{M_{\text{O}} k_{\text{B}}}{M_{\text{CT}} k_{\text{CT}}} \right)^{x/2},$$

где $M_{\text{э}}$, $M_{\text{ст}}$ — крутящие моменты, передаваемые шестернями в условиях эксплуатации и на стенде; $k_{\text{э}}$, $k_{\text{ст}}$ — коэффициенты, включающие коэффициенты динамичности ($k_{\text{д}}$) и концентрации нагрузок ($k_{\text{кц}}$) соответственно в условиях эксплуатации и на стенде: $k_{\text{э}} = k_{\text{д.э}} k_{\text{кц.э}}$; $k_{\text{ст}} = k_{\text{д.ст}} k_{\text{кц.ст}}$.

Как видно из формул, ускорение испытаний зубчатых передач может достигаться увеличением либо частоты вращения, либо нагрузки. Последнее более эффективно, так как отношение $M_a/M_{ст}$ входит в формулу в степени, большей единицы. Кроме того, увеличение частоты вращения на стенде может привести к нарушению условий смазки зубчатых зацеплений и подшипников.

Ускорения ресурсных испытаний трансмиссий можно достичь на стендах с замкнутым силовым контуром (рис. 7.10). На таком стенде устанавливаются две трансмиссии 6 и 5. Трансмиссии с раздаточным редуктором 3, двумя боковыми редукторами 4 и карданными валами образуют замкнутый контур, который нагружается статическим крутящим моментом за счет предварительного закручивания упругих элементов стенда и трансмиссий с помощью механизма нагружения 2 (рис. 7.10, а). При работе стенда вращение от приводного двигателя 1 передается через редуктор 3 к испытуемым трансмиссиям. При этом мощность двигателя затрачивается только на преодоление сил трения в контуре, а эффект ускорения испытаний достигается предварительным нагружением контура крутящим моментом, превышающим эксплуатационный.

Значение крутящего момента, нагружающего контур, выбирает-



ся либо по мощности тракторного двигателя, либо из условий реализации крутящего момента по сцеплению движителей с почвой. Ускорение испытаний достигается за счет увеличения в 1,3...2 раза крутящего момента, передаваемого трансмиссией на каждой передаче. Мощность, передаваемая ведущим звеном испытываемой трансмиссии, равна произведению момента M_1 , передаваемого этим звеном, на его угловую скорость ω_1 :

$$N_1 = M_1 \omega_1,$$

а мощность, передаваемая любым другим звеном,

$$N_i = M_i \omega_i = M_1 \omega_1 \eta_{1i},$$

где η_{1i} — КПД передачи между первым и i -м звеньями.

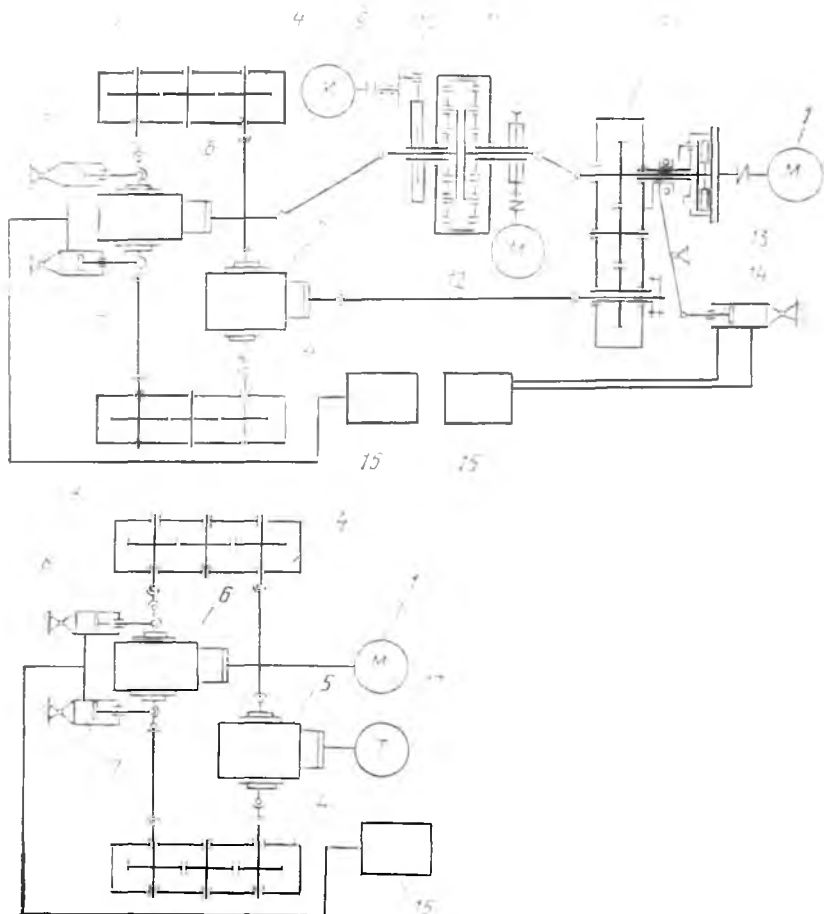


Рис. 7.10. Схемы стендов для ускоренных ресурсных испытаний трансмиссий:

а—с замкнутым контуром мощности; б—с замкнутым контуром мощности и периодическим изменением крутящего момента; в—с открытым контуром мощности

Стенд на рис. 7.10, *а* не позволяет воспроизводить на испытываемых элементах трансмиссии переменный крутящий момент. Однако в реальных условиях эксплуатации при установившемся движении трактора крутящий момент меняется с определенными частотой и амплитудой, характерными для данного состава тракторного агрегата и почвенно-дорожного фона. При разгоне агрегата он значительно превышает момент, передаваемый валом при установившемся движении.

Приближенно крутящий момент в трансмиссии можно считать изменяющимся периодически:

$$M_{кр} = M_{ср} [1 + 0,5\delta \cos(\omega t)],$$

где $M_{ср}$ — среднее значение крутящего момента; δ — степень неравномерности крутящего момента; ω — круговая частота изменения крутящего момента; t — время.

Стенд на рис. 7.10, *б* является дальнейшим развитием стенда, представленного на рис. 7.10, *а*, и обеспечивает периодическое изменение крутящего момента в замкнутом контуре трансмиссии. Это достигается за счет обеспечения различных углов закручивания валов с помощью планетарного нагружателя 11, расположенного между редуктором 3 и испытываемой трансмиссией 6, двигатель которого 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 обуславливает частоту изменения момента в контуре, а радиус кривошипного механизма — амплитуду его колебаний. Нагружение замкнутого контура статическим крутящим моментом осуществляется нагружателем 11 при вращении электродвигателя 12.

Особенность стенда также в том, что на нем обеспечивается пульсация изгибающих нагрузок на полуосях и корпусных деталях трансмиссии с помощью гидропульсаторов 7 и 8, управляемых механизмом 16.

На стенде обеспечиваются также периодически повторяющиеся пуско-остановочные режимы работы испытываемых трансмиссий путем последовательного включения и выключения фрикционной муфты 13 при помощи механизмов 14 и 15.

Наряду со стендами с замкнутым силовым контуром для ускоренных ресурсных испытаний используются также стенды с открытым контуром или с рекуперацией мощности. В качестве примера на рис. 7.10, *в* приведена схема стенда с открытым контуром. Здесь в качестве приводного используется электродвигатель 1 постоянного тока, а торможение осуществляется электротормозом 17.

Отдельные зубчатые передачи испытываются в ускоренном режиме в тех корпусах, в которых они работают на тракторе, в целях воспроизведения специфических условий их работы (режима смазывания; идентичности жесткости 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 (материала, вида термообработки, геометрии зацепления, чистоты поверхности и др.), то при прочих равных условиях испытания их целесообразно проводить в специальных универсальных картерах. Такие установки меньше по габаритам и проще в обслуживании.

На рис. 7.11 приведена принципиальная схема стенда для испытаний отдельных зубчатых передач. Стенд имеет два редуктора 1 и 3 с испытываемыми зубчатыми передачами, свободно вращающихся вокруг оси вала 2. Обе зубчатые передачи соединены в замкнутый контур валами 2 и 6, при этом вал 6 является карданным.

Нагружение замкнутого контура статическим моментом осуществляется следующим образом. Редуктор 3 закрепляется домкратом 5, а корпус редуктора 1 поворачивается относительно оси вала 2 под действием грузов 8, навешенных на подвес рычага 7. Требуемый груз P для создания расчетного момента нагружения выбирается из условия равенства моментов относительно оси вала 2:

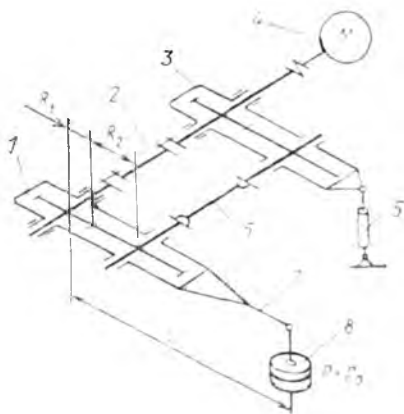


Рис. 7.11. Схема стенда с замкнутым контуром для испытания зубчатых передач

$$(P + P_0) L = \frac{M}{R_2} (R_1 + R_2),$$

откуда

$$P = \frac{M(R_1 + R_2)}{LR_2} - P_0 = \frac{M(1 + i)}{iL} - P_0,$$

где P_0 — составляющая силы тяжести редуктора и рычага, приведенная к точке приложения груза P ; L — плечо рычага; M — расчетный момент для нагружения испытываемой зубчатой передачи; R_1, R_2 — радиусы начальных окружностей зубчатых колес; $i = R_2/R_1$ — передаточное отношение зубчатой передачи.

После нагрузки стенда рычаг 7 устанавливается в горизонтальное положение за счет поворота корпуса редуктора 3 при помощи домкрата 5. Стабильность загрузки стенда в процессе испытаний контролируется положением рычага 7. Вращение зубчатых передач с необходимой частотой вращения обеспечивается электродвигателем 4 постоянного тока.

Ускоренные испытания ведущих мостов тракторов проводятся на стендах как с замкнутым, так и открытым силовым контуром. Методика их испытаний принципиально не отличается от методики испытаний трансмиссий в сборе.

При стендовых испытаниях дифференциала ведущего моста колесного трактора необходимо имитировать его работу как в режиме прямолинейного движения, так и при повороте трактора. На рис. 7.12 приведена схема стенда для испытаний дифференциала заднего моста колесных тракторов на надежность. Стенд состоит из приводного электродвигателя 1, двух трансмиссий 2, каждая из которых содержит коробку передач с задним мостом и тормозами в сборе, а также электротормоз 6. Две конечные передачи трансмиссий, обращенные друг к другу, соединены полым валом 4, а две другие конечные передачи — торсионным валом 3, проходящим внутри вала 4. При вращении вала электродвигателя происходит вращение валов трансмиссий, и нагрузка, создаваемая электротормозом, передается трансмиссией на дифференциалы 5. Испыта-

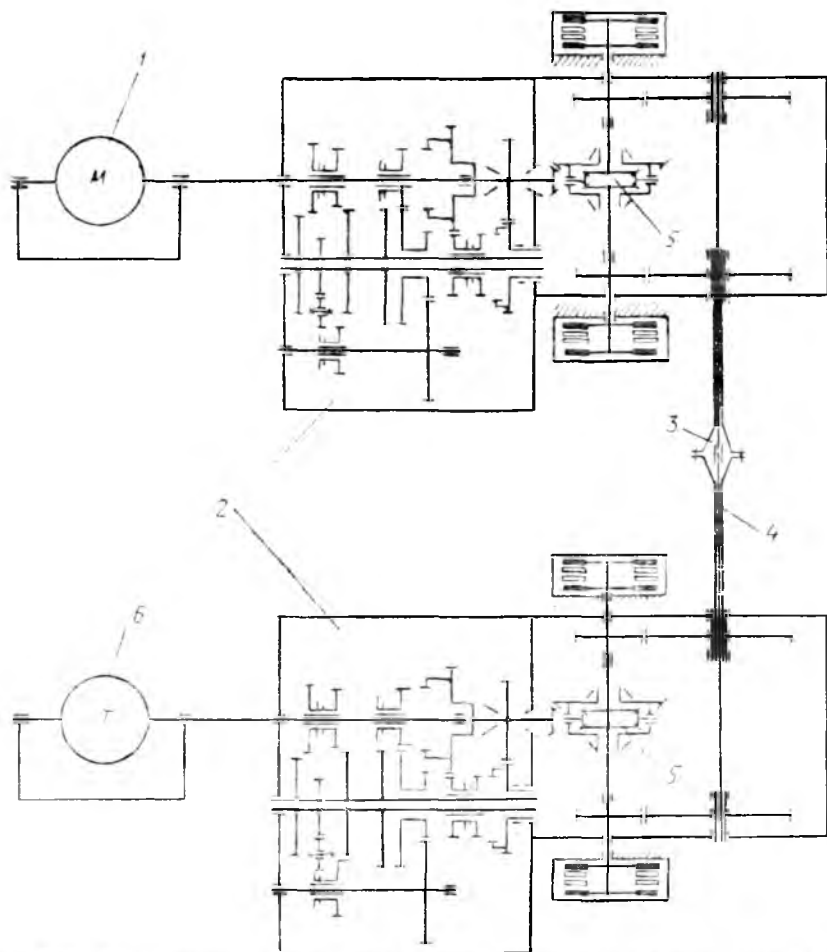


Рис. 7.12 Схема стенда для испытаний дифференциалов ведущих мостов колесных тракторов

ния дифференциала, непосредственно установленного в корпусе трансмиссии трактора, имеют те преимущества, что сохраняются условия установки, жесткости и смазывания узла. Режимы испытаний выбираются из условий максимального согласования результатов с результатами эксплуатационных испытаний.

В процессе работы трактора дифференциал работает в различных режимах как по нагрузке, так и по скорости вращения деталей. Такие детали дифференциала, как сателлиты и полуосевые шестерни, вращаются относительно корпуса не постоянно, а лишь в течение части общей продолжительности работы узла. Описанный стенд позволяет создавать необходимый режим испытаний как при относительном вращении деталей дифференциала, так и при его вращении как единого целого.

Работа на стенде осуществляется следующим образом. Включаются одноименные передачи в обеих коробках передач. Включением электродвигателя обеспечивается вращение всех элементов кинематической цепи стенда, а регулируемым электротормозом — требуемая нагрузка. Затем происходит торможение и выдержка в заторможенном состоянии наружных тормозов трактора, остановка наружных конечных передач и соединенных с ними полуосевых шестерен дифференциалов обеих трансмиссий. Противоположные полуосевые шестерни вращаются с удвоенной частотой (по сравнению с корпусом дифференциала), с той же частотой вращаются сателлиты. При этом вращающиеся детали передают нагрузку, заданную электротормозом. В режиме растормаживания конечные передачи и полуосевые шестерни вращаются с одинаковыми угловыми скоростями, а сателлиты прекращают вращение на своих цапфах, что соответствует прямолинейному движению трактора.

При торможении внутренними тормозами трактора происходит остановка внутренних конечных передач и полуосевых шестерен. Сателлиты вращаются в направлении, противоположном тому, которое имело место при остановке наружных полуосевых шестерен. Затем имитируется прямолинейное движение трактора и цикл повторяется.

7.3.4. Приемосдаточные и периодические испытания

Методы приемосдаточных и периодических испытаний установлены ГОСТ 24601—81 и распространяются на трансмиссии, состоящие из коробки передач, раздаточной коробки, ходоуменьшителя, заднего моста, конечных передач, механизмов поворота гусеничных тракторов и вала отбора мощности. Наряду с трансмиссией в сборе допускается испытание также отдельных сборочных единиц и их составных частей.

Для испытаний такого вида применяются стенды с открытым контуром, замкнутым силовым контуром или рекуперацией мощности. Стенд с открытым контуром содержит приводной двигатель, муфту сцепления, испытываемую трансмиссию и два тормоза (механических, гидравлических или электрических). Стенд с реку-

перацией мощности включает те же элементы, однако приводной электродвигатель постоянного тока и электрические тормоза соединены между собой через преобразователь. Схема стенда с замкнутым силовым контуром аналогична схемам, приведенным на рис. 7.10, а, б.

Перед испытаниями производятся наружный осмотр трансмиссии, проверка уровня масла в ней, включения всех передач, работы механизма блокировки дифференциала.

Испытания проводятся при частоте вращения двигателя от минимальной на холостом ходу до максимальной, изменении нагрузки от нуля до максимального значения и поочередном включении всех передач коробки и ходоуменьшителя.

Обкатка трансмиссии при периодических испытаниях производится без нагрузки на каждой передаче в течение 3...5 мин при частоте вращения, составляющей 75% номинальной частоты вращения двигателя, и под нагрузкой с поочередным включением всех передач при частоте вращения от 0,5 до 0,75 номинальной частоты вращения двигателя. В первом периоде обкатки нагружающий момент выбирается равным 0,25, во втором — 0,5 от максимального момента. Продолжительность первого периода обкатки 180 мин, второго — 360 мин. В качестве максимального нагружающего момента выбирается максимальный момент либо двигателя, либо реализуемый по условиям сцепления движителя с почвой. После обкатки масло в трансмиссии заменяют.

Коэффициент полезного действия трансмиссии определяют на каждой передаче при частотах вращения, соответствующих номинальной мощности и максимальному крутящему моменту двигателя.

При определении температурных характеристик на каждой передаче определяют время, в течение которого температура масла в трансмиссии повышается от 40 °С до максимальной установившейся (она не должна превышать 120 °С при непрерывной работе трансмиссии при максимальном крутящем моменте и соответствующей этому моменту частоте вращения). Испытания проводятся при температуре окружающего воздуха (20 ± 5) °С и нормальном уровне масла в трансмиссии. Эти испытания можно проводить только на той передаче, на которой температура масла максимальная.

7.4. ИСПЫТАНИЯ ФРИКЦИОННЫХ СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ

7.4.1. Общие положения

Фрикционные сборочные единицы (главные муфты сцепления, муфты переключения передач, вала отбора мощности, поворота гусеничных тракторов, тормоза и др.) испытываются обычно на инерционных стендах в режимах разгона или торможения маховых масс, а отдельные их элементы — в установившемся режиме. Различают испытания параметрические, ресурсные, прямо-сдаточные и периодические.

7.4.2. Параметрические испытания

При функциональных испытаниях проверяют, насколько фрикционная муфта или тормоз соответствуют требованиям чертежа, и определяют крутящий момент, передаваемый полностью включенным фрикционным элементом.

При исследованиях определяются следующие параметры:

статические и динамические моменты и коэффициенты трения, а также их зависимость от материалов фрикционных пар, температуры, удельной нагрузки и скорости скольжения;

характеристики изнашивания пар трения;

тепловой режим муфты в зависимости от ее нагруженности, частоты включения, системы вентиляции;

продолжительность буксования, работа и мощность трения и динамические нагрузки в элементах привода в зависимости от продолжительности включения и интенсивности нарастания момента трения при включении.

Указанные виды параметрических испытаний проводятся на стендах для оценки динамических показателей тракторов (см. рис. 7.4 и 7.7). На таких стендах наряду с конструктивными параметрами муфт и механизмов их включения можно оценивать также зависимость нагруженности пар трения и элементов привода от податливостей и демпфирующих свойств трансмиссии и сцепного устройства трактора, вида выполняемых работ и состава агрегата и др.

7.4.3. Ускоренные ресурсные испытания

Ускоренным стендовым испытаниям подвергаются пары трения (фрикционные накладки и материал контртела) и демпферные устройства.

Методической основой ускоренных испытаний пар трения является обеспечение одинаковой износостойкости фрикционных пар муфты в условиях эксплуатации и на стенде. Поскольку износостойкость оценивается величиной, обратной энергетической интенсивности изнашивания, определяемой отношением объема изношенного материала к работе сил трения, то

$$k_c \frac{A_{\text{э}}}{V_{\text{э}}} = \frac{A_{\text{ст}}}{V_{\text{ст}}}, \quad (7.6)$$

где $A_{\text{э}}$, $A_{\text{ст}}$ — работа трения муфты соответственно в условиях эксплуатации до капитального ремонта трактора и при испытаниях на стенде; $V_{\text{э}}$, $V_{\text{ст}}$ — объем изношенного материала фрикционных накладок при тех же условиях:

$$V_{\text{э}} = h_{\text{э}} F_{\text{тр}} z; \quad V_{\text{ст}} = h_{\text{ст}} F_{\text{тр}} z,$$

$h_{\text{э}}$, $h_{\text{ст}}$ — линейный износ накладок муфты в условиях эксплуатации и при испытаниях на стенде; $F_{\text{тр}}$ — площадь фрикционной накладки муфты; z — число пар поверхностей трения; k_c — коэффициент

несоответствия режимов испытаний накладок на стенде режимам их работы в условиях эксплуатации.

Суммарная работа трения:
за время испытаний муфты

$$A_{\text{ст}} = A_{\text{ст.ср}} n_{\text{ст}} T_{\text{ст}}, \quad (7.7)$$

за время работы муфты на тракторе до его капитального ремонта

$$A_{\text{э}} = \sum_{i=1}^n A_{\text{э}i} n_{\text{э}i} T_{\text{э}i} = T_{\text{э}} \sum_{i=1}^n A_{\text{э}i} n_{\text{э}i} P_{\text{э}i}, \quad (7.8)$$

где $A_{\text{ст.ср}}$, $A_{\text{э}i}$ — среднее значение работы трения за одно включение муфты на стенде и на i -й сельскохозяйственной операции; $n_{\text{ст}}$, $n_{\text{э}i}$ — количество включений муфты за 1 ч работы на стенде и на i -й операции; $T_{\text{ст}}$ — продолжительность испытаний муфты на стенде; $T_{\text{э}i}$ — время использования трактора на i -й операции; $T_{\text{э}}$ — время работы трактора до предельного износа фрикционных накладок; $P_{\text{э}i}$ — вероятность использования трактора на i -й операции; n — количество учитываемых при испытаниях сельскохозяйственных операций, выполняемых трактором.

Из формул (7.6)...(7.8), учитывая, что $V_{\text{э}} = V_{\text{ст}}$, определим продолжительность стендовых испытаний:

$$T_{\text{ст}} = T_{\text{э}} k_{\text{с}} \frac{\sum_{i=1}^n A_{\text{э}i} n_{\text{э}i} P_{\text{э}i}}{A_{\text{ст.ср}} n_{\text{ст}}}$$

Из этого выражения видно, что продолжительность стендовых испытаний можно сократить за счет увеличения либо работы трения за одно включение муфты, либо количества ее включений. Так как в обоих случаях увеличиваются суммарные потери мощности на трение и степень нагрева муфты, то одним из реальных путей ускорения испытаний является принудительное охлаждение испытываемой муфты.

Основными составными частями стенда для ресурсных испытаний фрикционных муфт являются приводной двигатель с согласующим редуктором и нагружающее устройство. В качестве двигателя используется электродвигатель переменного тока, бесшумный в работе, простой в обслуживании и долговечный. В сочетании с редуктором двигатель должен обеспечить скоростной режим ведущих элементов муфты, соответствующий максимальной частоте вращения холостого хода тракторного двигателя. Это позволит избежать нарушения взаимодействия элементов муфты за счет изменения центробежных сил.

Нагружающее устройство стенда — это сочетание маховиков (маховых масс) с тормозом — механическим, гидравлическим или электрическим. Момент сопротивления $M_{\text{с}} = f(\omega_{\text{с}})$ примерно постоянен для механического тормоза ($M_{\text{с}} = \text{const}$), меняется пропорцио-

нально угловой скорости вращения вала тормоза у электрического ($M_c = k_3 \omega_c$) и квадрату ω_c у гидравлического ($M_c = k_T \omega_c^2$). Здесь k_3, k_T — коэффициенты пропорциональности.

Чтобы оценить влияние типа тормоза на нагруженность фрикционных элементов муфты, на Минском тракторном заводе был выполнен сравнительный анализ параметров стенда при частоте вращения приводного двигателя $\omega_d = \text{const}$ и мгновенном включении муфты. Работа трения за одно включение муфты

$$A_{ст} = \frac{I_c \omega_d^2}{2} m_c,$$

где I_c — момент инерции маховых масс; m_c — безразмерный коэффициент, учитывающий тип тормоза.

Из этого выражения можно определить значение момента инерции, при котором работа трения за одно включение для разных типов тормозов получается одинаковой и равной допускаемой $A_{ст.д}$:

$$I_{с.д} = 2A_{ст.д} / (\omega_d^2 m_c).$$

Если принять за 100% момент инерции $I_{с.д}$ для стенда без тормозов ($M_c = 0$), то для получения одной и той же работы трения $A_{ст.д}$ на стенде с механическим, электрическим и гидравлическим тормозами момент инерции маховых масс должен составить соответственно 54, 82 и 91% применительно к муфтам сцепления тракторов «Беларусь». Отсюда следует, что наиболее эффективным яв-

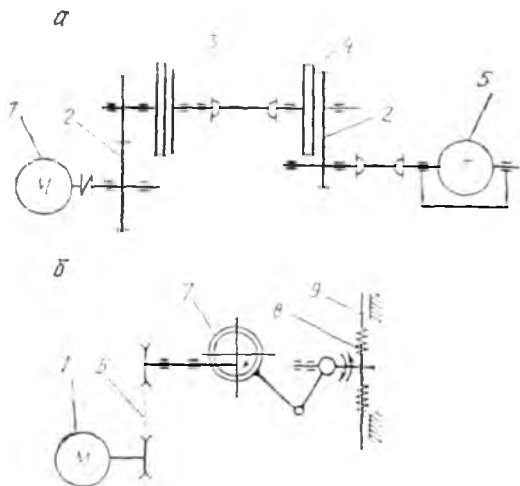


Рис. 7.13. Схемы стендов для испытаний муфт сцепления и их элементов:

а — стенд для испытаний муфт на долговечность; б — стенд для испытаний демпферных устройств; 1 — приводной электродвигатель; 2 — редукторы; 3 — испытываемая муфта; 4 — маховые массы; 5 — тормоз; 6 — ременная передача; 7 — кривошипный механизм; 8 — демпферное устройство; 9 — фрикционные элементы муфты

ляется механический тормоз, при котором инерционные массы в 1,5...1,85 раза меньше, чем для других типов тормозов.

Схема инерционного стенда для ресурсных испытаний муфт сцепления в режиме разгона приведена на рис. 7.13, а. Программой предусматриваются циклические испытания: включение заданной продолжительности, работа под нагрузкой, выключение и работа при выключенной муфте. Обычно такие стенды работают в автоматическом режиме. На стенде испытываются также детали

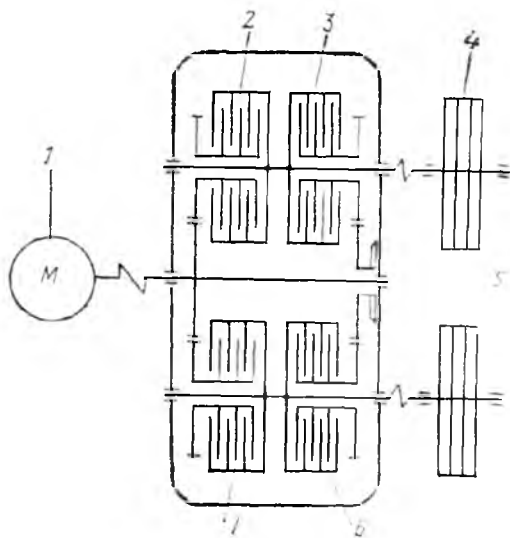


Рис. 7.14. Схема стенда для испытаний на долговечность четырех фрикционных муфт

крепления фрикционных накладок, нажимные пружины, демпферные устройства, шлицевые соединения, выжимные подшипники и др.

Кроме испытания в указанном выше режиме, демпферное устройство испытывается также отдельно от муфты, но непосредственно в ведомом диске (рис. 7.13, б). Диск закрепляется между рабочими поверхностями маховика и нажимного диска. Сжатие демпферных устройств достигается за счет поворота ступицы диска относительно полотна с помощью кривошипа, приводимого во вращение от электродвигателя. Амплитуда нагрузки на демпферное устройство и частота ее приложения могут регулироваться.

Инерционный стенд для ресурсных испытаний муфт имеет тот недостаток, что мощность двигателя полезно используется только в течение половины цикла. К тому же на таком стенде можно испытывать только одну муфту. Стенд, показанный на рис. 7.14, не имеет этих недостатков. На нем одновременно испытываются четыре муфты. Они установлены попарно на двух валах с маховыми массами, а тормоз представляет собой жестко закрепленную на корпусе шестерню, кинематически связанную с обоими валами. При ра-

ботающем двигателе 1 включают одновременно муфты 2 и 6. Муфта 2 разгоняет маховик 4, а муфта 6 останавливает маховик 5. На втором цикле испытаний муфты 2 и 6 выключаются, а муфты 3 и 7 включаются. Здесь муфта 7 разгоняет маховик 5, а муфта 3 останавливает маховик 4. Далее весь цикл повторяется.

Гидроуправляемые фрикционные муфты коробок передач с переключением под нагрузкой и вала отбора мощности испытываются как в режиме разгона, так и в режиме торможения.

7.4.4. Приемо-сдаточные и периодические испытания

Методы приемо-сдаточных и периодических испытаний главных муфт сцепления указаны в ГОСТ 24600—81. Приемо-сдаточные испытания включают проверку присоединительных и регулировочных размеров и измерение усилия выключения муфты, а периодические — определение стендового ресурса фрикционных накладок, статического момента трения и коэффициента запаса муфты.

Усилие выключения муфты сцепления определяется с помощью приспособления, схема которого приведена на рис. 7.15. При определении усилия нажимная опора 4 перемещается до упора в выступ опорной поверхности 7. Значение усилия регистрируется с помощью силоизмерительного устройства 5.

Ресурс фрикционных накладок выявляется на инерционном стенде, на котором накладки испытываются в режиме разгона (рис. 7.16, а) или торможения (рис. 7.16, б) маховых масс 4. Стенд оборудуется аппаратурой для синхронной регистрации крутящего момента на валу муфты, частот вращения ведущих и ведомых элементов муфты и температуры.

Испытываемая муфта устанавливается на стенд в комплекте с маховиком двигателя. Температура измеряется термодарами в нажимном диске однодисковой муфты или в промежуточном диске двухдисковой муфты на глубине $(0,5 \pm 0,1)$ мм от поверхности трения. Допускается измерение температуры на поверхности трения термодарами скользящего типа. На одной муфте должно быть не менее двух термодар.

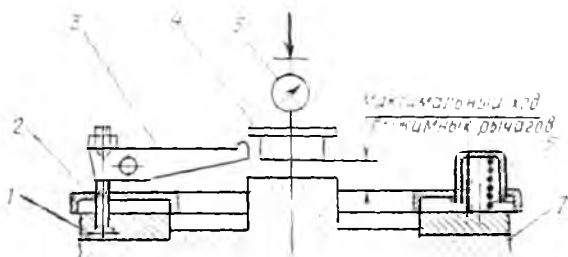


Рис. 7.15. Схема измерения усилия выключения муфты:

1—нажимной диск; 2—опорный диск; 3—отжимной рычаг; 4—нажимная опора; 5—силоизмерительное устройство; 6—нажимная пружина; 7—опорная поверхность

Стендовый ресурс фрикционных накладок муфты определяется по предельной работе трения (Дж):

$$A_{\text{пр}} = (I_p - I_0) / \gamma_{\text{н}},$$

где I_p , I_0 — предельный и приработочный износы фрикционных накладок, мм; $\gamma_{\text{н}}$ — угловой коэффициент изнашивания фрикционных накладок.

Работа трения муфты сцепления за одно включение

$$A_1 = M_{\text{ср}} (\omega_{1\text{ср}} - \omega_{2\text{ср}}) \tau_{\text{б}},$$

где $M_{\text{ср}}$ — среднее значение крутящего момента муфты за период ее буксования, Н·м; $\omega_{1\text{ср}}$; $\omega_{2\text{ср}}$ — средняя угловая скорость ведущих

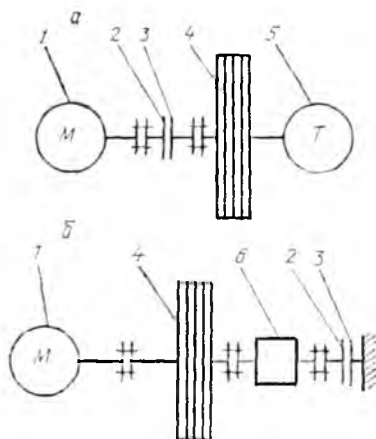


Рис. 7.16. Схемы инерционных стендов для испытаний муфт сцепления:

а — в режиме разгона; б — в режиме торможения; 1 — приводной электродвигатель; 2, 3 — ведущие и ведомые элементы муфты; 4 — маховые массы; 5 — остановочный тормоз; 6 — редуктор

и ведомых элементов муфты, рад/с; $\tau_{\text{б}}$ — время буксования муфты, с.

Скончательно принимают среднеарифметическое значение работы трения по результатам трех замеров, которые производятся через 30...35 циклов в пределах 100 последовательных циклов нагружения. При этом значения $M_{\text{ср}}$, $\omega_{1\text{ср}}$, $\omega_{2\text{ср}}$ определяются по осциллограммам.

Параметры прямой изнашивания $\gamma_{\text{н}}$ и I_0 определяются из соотношения $I = \gamma_{\text{н}} A + I_0$, где I — износ фрикционных накладок, мм; A — работа трения муфты, Дж.

Для нахождения искомых параметров составляется система уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^{i=n/2} I_i &= \gamma_n \sum_{i=1}^{i=n/2} A_i + \frac{n}{2} I_0; \\ \sum_{i=n/2}^{i=n} I_i &= \gamma_n \sum_{i=n/2}^{i=n} A_i + \frac{n}{2} I_0, \end{aligned} \right\}$$

где I_i — износ фрикционных накладок за 100 циклов нагружения муфты сцепления нарастающим итогом, мм; A_i — работа трения муфты за 100 циклов нагружения нарастающим итогом, Дж; n — общее число периодов испытаний по 100 циклов нагружения каждый.

Нагрузка на муфту сцепления создается маховыми массами 4 (рис. 7.16), приведенный к валу муфты момент инерции которых

$$I_c = 2(aF_{\text{тр}} \pm A_c)/\omega_1^2,$$

где $a=200$ Дж/см² — удельная работа трения муфты; $F_{\text{тр}}$ — площадь поверхности трения фрикционных накладок, см²; A_c — работа трения муфты, затрачиваемая на преодоление сил трения в стенде, Дж; ω_1 — угловая скорость вращения ведущих элементов муфты, равная максимальной угловой скорости холостого хода двигателя трактора. Знак «плюс» соответствует режиму торможения, «минус» — разгона.

Продолжительность включения муфты 0,1...0,2 с, а продолжительность цикла подбирается опытным путем из условия поддержания объемной температуры нажимного или промежуточного диска в пределах 120...130 °С.

Статический момент трения и коэффициент запаса муфты определяются после проведения испытаний на износостойкость.

7.5. ИСПЫТАНИЯ НЕСУЩИХ И ХОДОВЫХ СИСТЕМ И КАБИН

7.5.1. Испытания несущих систем

Основными видами деформирования рамы трактора в эксплуатационных условиях являются: изгиб в вертикальной плоскости (при переезде через симметрично расположенные неровности); изгиб в горизонтальной плоскости (при повороте); кручение относительно продольной оси (при переезде через единичные или несимметрично расположенные неровности).

При стендовых испытаниях рамы воспроизводятся все указанные виды деформирования, что достигается соответствующим выбором схем закрепления рамы и размещением нагружающих устройств.

На Харьковском тракторном заводе рама трактора крепится к опорам стенда при помощи тех же деталей, которыми она сопрягается с ведущими мостами или с каретками подвески (рис. 7.17). Тяговое сопротивление трактора имитируется статической нагруз-

кой, создаваемой с помощью винтового устройства 4, и переменными нагрузками, возбуждаемыми инерционным вибратором 3. Вибратор имеет два вала, на концах которых закреплены обоймы с неуравновешенными массами в форме сегментов. Один вал вибратора приводится во вращение от электродвигателя постоянного тока, вращение другому валу передается через зубчатую передачу. В зависимости от относительного расположения четырех вращающихся неуравновешенных масс обеспечивается возбуждение из-

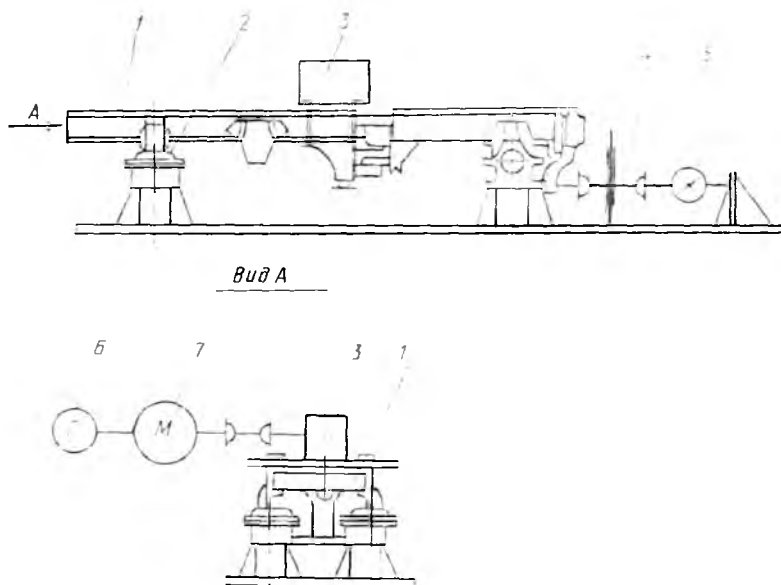


Рис. 7.17. Схема стенда для испытания рамы трактора:

1—испытываемая рама; 2—опора; 3—вибратор; 4—винтовое нагружающее устройство; 5—динамометр; 6—тахогенератор; 7—электродвигатель

гибных колебаний в вертикальной и горизонтальной плоскостях или кручение относительно продольной оси.

Схема сил, действующих в вибраторе при наладке его для создания вертикальных нагрузок, приведена на рис. 7.18. Здесь суммарная неуравновешенная сила от четырех масс при постоянной частоте вращения валов

$$P_c = 4m_r\omega_r^2 R_{ц} \cos \alpha,$$

где m_r — масса груза; $R_{ц}$ — расстояние от оси вращения груза до его центра тяжести; ω_r — угловая скорость вращения валов; α — угол поворота вала.

Для создания горизонтальных нагрузок неуравновешенные массы размещаются относительно барабанов в таком же положении, как на рис. 7.18, однако вибратор поворачивается на 90° и устанавливается в вертикальной плоскости.

Для возбуждения крутильных колебаний грузы укрепляются

на барабанах таким образом, чтобы сдвиг фаз правых и левых грузов составлял 180° , а вибратор устанавливается относительно рамы так же, как и при испытаниях ее на изгиб в вертикальной плоскости.

Испытания рам на стенде проводятся, как правило, в резонансном режиме, когда частоты колебаний, возбуждаемых вибратором, совпадают с частотой собственных колебаний рамы. Ввод рамы в резонанс достигается плавным изменением частоты вращения вала приводного двигателя вибратора.

На Минском тракторном заводе полурама колесного трактора испытывается на стенде, оборудованном барабанами с закрепленными на них неровностями. Полуоси задних колес трактора устанавливаются в стойках, а передние колеса опираются на барабаны, приводимые во вращение от электродвигателя через коробку передач, с помощью которой изменяется частота вращения двигателя. Для создания вертикальных нагрузок на полураму неровности на правом и левом барабанах устанавливаются в одной плоскости, а для возбуждения крутильных колебаний полурамы — со сдвигом.

При испытании полурамы на этом стенде в форсированном режиме испытываются также элементы переднего моста трактора.

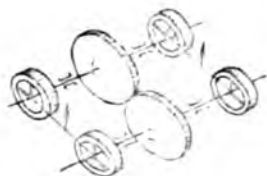


Рис. 7.18. Схема сил, действующих в вибраторе при наладке его для создания вертикальных нагрузок

7.5.2. Испытания кабин

Схема стенда, применяемого на ХТЗ для испытания кабин, показана на рис. 7.19. Кабина 1 крепится на раме 2 стенда при помощи тех же элементов крепления, что и на тракторе. Нагружение кабины создается при помощи кулачковой шайбы 4 с роликовым толкателем 3, воздействующим на одну или несколько опор кабины.

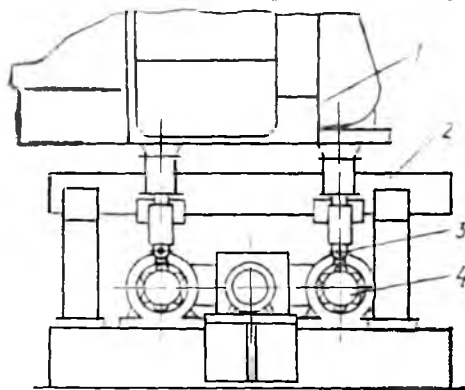


Рис. 7.19. Схема стенда для испытания кабин (ХТЗ)

Нагрузка может создаваться также при помощи кривошипно-шатунного механизма, исключающего отрыв ролика от поверхности кулачка при повышенной частоте нагружения.

Одним из режимов нагружения, наиболее близких к эксплуатационному, является режим, достигаемый при креплении трех опор кабины к раме 2 и воздействии толкателя на четвертую опору.

Соответствие максималь-

ных нагрузок эксплуатационным достигается выбором величины хода толкателя.

Стенд для испытания кабин тракторов «Беларусь» (рис. 7.20) включает вибрационную площадку 5 с пневматическими шинами 4, соединенную с опорной плитой 14 пружинами 8. Низкочастотные колебания вибрационной площадки создаются профилированными опорными выступами 11, 10 и 12, закрепленными соответственно на поверхностях беговых барабанов 1, торцовых роликов 2 и боко-

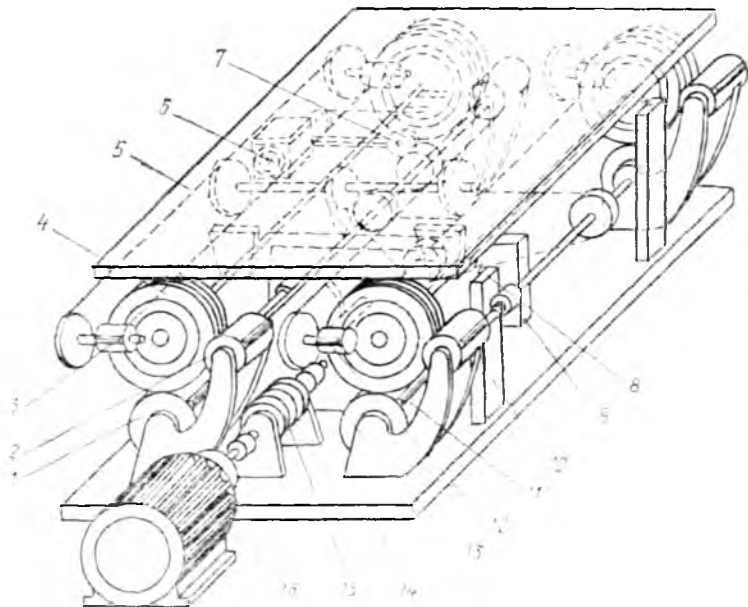


Рис. 7.20. Схема стенда для испытания кабин (МТЗ)

вых роликов 3. Барабаны 1 соединены между собой попарно и вместе с боковыми роликами 3 расположены соосно пневматическим шинам 4. Они имеют общий привод от электродвигателя 16 через маховик 15, силовой привод 13 и редуктор 9. Торцовые ролики 2 с независимым приводом расположены в плоскости пневматических шин.

Вертикальные колебания виброплощадки возбуждаются при одновременном взаимодействии всех колес 4 с опорными выступами 11 беговых барабанов 1; колебания вокруг поперечной оси (галопирование) — при одновременном взаимодействии колес 4 с опорными выступами 11 только двух передних или только двух задних барабанов 1; колебания вокруг продольной оси (покачивание) — при одновременном воздействии колес 4 с опорными выступами 11 только правых или только двух левых барабанов 1; колебания вдоль поперечной оси — при одновременном взаимодействии колес 4 с опорными выступами 12 боковых роликов 3, расположен-

ных с правой или левой стороны виброплощадки; колебания вокруг вертикальной оси (виляние) — при одновременном взаимодействии колес 4 с опорными выступами 12 двух боковых роликов 3, расположенных по диагонали; колебания вдоль продольной оси — при взаимодействии шин колес 4 с опорными выступами торцовых роликов 2. Следовательно, при взаимодействии колес с опорными выступами могут возбуждаться все шесть видов низкочастотных колебаний.

Высокочастотные колебания возбуждаются дисбалансом 7 с приводом от электродвигателя 6.

Частота колебаний виброплощадки может меняться за счет регулирования частоты вращения барабанов и роликов, что достигается переключением передач в коробке силового привода 13, и изменения частоты вращения приводного электродвигателя 16.

Амплитуда колебаний регулируется за счет высоты опорных выступов 11, 10 и 12 и давления в шинах 4, амплитуда высокочастотных колебаний — эксцентриситета дисбаланса.

Глава 8. ИСПЫТАНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ

8.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Определение надежности машин на современном этапе технического прогресса относится к наиболее трудоемким исследовательским проблемам. Известно, что надежность закладывается при проектировании, реализуется в производстве и поддерживается в эксплуатации.

До недавнего времени надежность тракторов обеспечивалась главным образом путем создания машины со значительными запасами прочности и износостойкости, а также за счет ежегодных ремонтов, проводимых в зимний период. Смена моделей тракторов происходила относительно редко, и темп работ по их созданию был невысок. В настоящее время, когда выпуск и количество находящихся в эксплуатации машин стремительно нарастают, обеспечение надежности тракторов становится актуальной задачей. Снижается металлоемкость и повышается энергоемкость машин, учащается смена моделей и сокращаются сроки создания новых тракторов. Трактор стал машиной, работающей круглогодично. Наряду с этим повышаются требования к уровню надежности машин при значительных расчетном и гарантийном сроках работы узлов и тракторов в целом. В этих условиях испытания машин на надежность приобретают все большее значение.

Под надежностью понимается свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. Надежность является сложным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения включает сочетания свойств: безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Различают два вида испытаний на надежность — контрольные и определительные, существенно различающиеся по постановке задачи, результатам и методам проведения.

Контрольные испытания проводятся с целью выяснения вопроса о том, удовлетворяет ли рассматриваемый трактор техническим требованиям по надежности или нет.

Определительные испытания проводятся для установления фактических показателей надежности разрабатываемого,

модернизированного, серийного трактора или трактора, прошедшего ремонт. Результаты определительных испытаний служат основанием для внесения показателей надежности в техническую документацию на трактор. Надежность характеризует не само изделие (трактор), а его способность выполнить определенную функцию (функции). У изделия, способного выполнить несколько функций, может быть несколько уровней надежностей.

8.2. УСЛОВИЯ И РЕЖИМЫ ИСПЫТАНИЙ

Спектр эксплуатационных нагрузок может быть получен при испытаниях трактора на всех видах работ, которые он должен выполнять. При проведении государственных приемочных испытаний обычно испытывают трактор на основных работах, типичных для трактора данного типа и зоны его эксплуатации. Как правило, предусматриваются следующие основные виды работ:

для тракторов общего назначения — пахота; лушение; сплошная культивация; дискование; уборочные работы; работы с машинами, требующими привода от вала отбора мощности или через гидропривод; транспортные работы;

для универсально-пропашных тракторов — сплошная культивация; междурядная обработка пропашных культур; транспортные и уборочные работы; пахота; работа с машинами, требующими привода от вала отбора мощности или через гидропривод; посадка пропашных культур;

для специальных тракторов — работы, определяемые назначением данного трактора в условиях, соответствующих специфике их применения. Например, для трелевочного трактора основным видом работ будет трелевка древесины, а также лесохозяйственные работы, для болотоходного трактора — прокладка осушительных каналов, устройство открытого и закрытого дренажа, а также другие мелиоративные и культуртехнические работы.

Продолжительность испытаний трактора с отбором мощности на привод активных рабочих органов сельхозмашин обычно составляет не менее 15% установленного объема испытаний трактора.

Режимы испытаний на надежность должны подбираться из условий выполнения установленного объема испытаний при следующих нагрузках (в процентах от номинальной мощности двигателя):

а) для колесных тракторов общего назначения: при средней нагрузке 80% и более — не менее 70% общего времени испытаний; от 50 до 80% — до 25%; до 50% — до 5%;

б) для универсально-пропашных тракторов: при средней нагрузке 70% и более — не менее 35% общего времени испытаний; от 40 до 70% — до 60%; от 30 до 40% — до 15%;

в) для гусеничных тракторов общего назначения: при средней нагрузке 85% и более — не менее 85% общего времени испытаний; от 60 до 85% — до 15%;

г) для специальных тракторов режимы нагрузки определяются

отдельно для каждого их типа с участием представителей заказчика и завода-изготовителя.

Допускается проводить испытания на надежность с имитацией тяговой загрузки. Их продолжительность до 25% всего объема испытаний. При использовании загрузочных устройств, моделирующих реальные процессы нагружения, объем имитационных испытаний может быть увеличен до 50%.

Продолжительность контрольных испытаний на надежность определяется заводским гарантийным сроком работы трактора или сроком, достаточным для выявления износостойкости его деталей. Для современных тракторов продолжительность испытаний на надежность составляет не менее 3000 ч работы под нагрузкой.

Для получения полноценных и объективных результатов испытаний необходимо строгое соблюдение условий их проведения, предусмотренных методическими требованиями, а также условий получения сопоставимых показателей работы различных тракторов.

Основными условиями обеспечения полноценности и объективности результатов испытаний на надежность являются: испытание трактора в нормальных производственных условиях их работы; строгое соблюдение всех правил и инструкций по техническому уходу; соблюдение правил технической эксплуатации; тщательное ведение технической документации и своевременная ее обработка.

При испытаниях должны учитываться и регистрироваться: место работы (наименование сельскохозяйственного, промышленного, лесохозяйственного или другого предприятия, района, области); вид работы; тип и количество агрегируемых с трактором машин и орудий, входящих в состав агрегата при выполнении данного вида работ; почвенный или почвенно-дорожный фон; погодные условия (температура воздуха, осадки).

Для регистрации метеорологических условий ведут журнал сводок метеорологической станции, находящейся в районе испытаний. Среднесуточные показатели по данным метеосводок наносятся на график.

Ввиду напряженности периода и агротехнических сроков выполнения полевых работ при испытаниях на надежность, как правило, организуют круглосуточную работу трактора. При хорошей организации суточная наработка достигает 20...22 ч, а средняя наработка за период испытаний — не менее 18 ч в сутки, т. е. 450 ч в месяц.

Формами технического учета при испытаниях на надежность являются: сплошной хронометраж производственных процессов, бригадно-полевой учет, рядовой хозяйственный учет и инженерные (технические) наблюдения. Они применяются в различных сочетаниях в зависимости от задач испытаний.

Сплошной хронометраж является основной и наиболее результативной формой наблюдений при испытаниях тракторов (особенно при испытаниях экспериментальных образцов).

Бригадно-полевой учет включает определение выработки трактора и расхода топлива и масла, а также контроль за выполнением

ем правил технического ухода и технической эксплуатации в тех случаях, когда по программе испытаний не требуется детальное изучение баланса рабочего времени тракторного агрегата.

Рядовой хозяйственный учет служит для оценки эксплуатационных качеств в случаях массовой проверки тракторов или их сборочных единиц в производственных условиях, когда испытания проводятся в целях получения статистических данных.

Инженерные наблюдения являются неотъемлемой частью технических наблюдений при большом числе испытаний. Их ведут руководители испытаний и специалисты из состава обслуживающей испытания группы инженерно-технического персонала. Наблюдения включают: оценку режима и характер работы трактора; оценку удобства управления, обслуживания, технического ухода и ремонта трактора; исследование его дефектов и поломок.

Технические наблюдения при типовых испытаниях тракторов, как правило, осуществляются на основе сплошного хронометража и соответствующего учета.

В течение всего периода испытаний измеряются: продолжительность работы трактора за смену под нагрузкой, ч; работа, выполненная трактором за смену, га (т·км); объем топлива, израсходованного за смену, л; объем картерного масла, израсходованного за смену, л; объем охлаждающей жидкости, израсходованной за смену, л.

8.3. БЕЗОТКАЗНОСТЬ ТРАКТОРА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Общие положения. Под *безотказностью* понимают свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки. Наработка может определяться продолжительностью или объемом работы изделия. В процессе эксплуатации или испытаний различают суточную наработку, месячную наработку, наработку до первого отказа, наработку между отказами и др. Для изделий, не восстанавливаемых или заменяемых после первого отказа, а также изделий, отказы которых недопустимы по условиям безопасности, показателями безотказности могут служить, например, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов. Для восстанавливаемых изделий показателями безотказности могут служить, например, наработка на отказ, параметр потока отказов, вероятность безотказной работы и т. д.

Безотказность оценивается на основании учета всех отказов и неисправностей, имеющих место в процессе испытаний на надежность. Под отказом понимается событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Неисправность — состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической или конструкторской документации. Например, выход из строя форсунки, топливного насоса или других сборочных единиц двигателя считается отказом, в то

же время снижение его КПД, мощности, повышение удельного расхода топлива в некоторых пределах можно отнести к неисправностям. Следует различать неисправности, не приводящие к отказам, и неисправности (и их сочетание), вызывающие отказ.

Все отказы можно классифицировать по группам. К первой группе относятся отказы, являющиеся результатом просчетов, допущенных при конструировании. Будучи характерными для данной степени доведения конструкции, эти отказы выявляются для большинства тракторов при их испытании и должны устраняться в ходе заводской доводки. Это отказы, проявляющиеся в течение гарантийного срока службы трактора, вызываемые недостаточными запасами прочности или износостойкости элементов трактора, а также при отклонениях от правил использования трактора и его эксплуатации, имеющих систематический характер.

К второй группе относятся отказы вследствие неизбежного старения элементов трактора в ходе его эксплуатации, возникающие при исчерпании ими своего ресурса. К таким отказам относится наступление предельного состояния элементов трактора вследствие изнашивания деталей; питтингового повреждения поверхностей в зонах контакта; потери функциональных свойств из-за старения материала деталей (например, сальниковых уплотнений и других изделий); ослабления неподтягиваемых соединений (например, заклепочных) и потери жесткости элементами несущей системы, кабины и др.

Третью группу составляют отказы, являющиеся следствием недопустимых отклонений размеров, материала, твердости и т. д. Они происходят только на некоторых испытываемых тракторах, т. е. имеют случайный, несистематический характер. Отказы из-за недопустимых производственных отклонений (некачественное изготовление узлов и деталей, а также сборки трактора) наиболее интенсивно выявляются в первый период эксплуатации трактора. Однако проявляющиеся, например, в преждевременном полном изнашивании деталей (узлов), могут возникнуть и в другие периоды эксплуатации трактора в пределах гарантийного срока его службы. Отказы вследствие грубых нарушений правил эксплуатации также проявляются в течение всего периода эксплуатации трактора.

К четвертой группе относятся случайные отказы.

При регистрации отказы следует подразделять соответственно указанным группам. Отказы, возникшие вследствие нарушений правил эксплуатации, не должны учитываться при определении показателей безотказности трактора.

Анализ причин и условий возникновения отказа, возможных его последствий должны производиться оперативно и тщательно с использованием современных методов исследований, даже в тех случаях, когда отказ кажется случайным, а причины достаточно ясными.

При этом должны быть определены и зафиксированы: продолжительность работы детали до отказа; состояние деталей или сбо-

рочных единиц при появлении отказа; продолжительность устранения отказа; время занятости каждого исполнителя при устранении данного отказа; номенклатура и количество израсходованных запасных частей; номенклатура применяемого инструмента и ремонтных средств.

Наработка детали или сборочной единицы до отказа определяется по разнице показаний мотосчетчика в момент появления отказа и при установлении детали на трактор.

Если потеря работоспособности одной детали явилась причиной выхода из строя других деталей или сборочной единицы, то регистрируется только отказ первой детали, обусловивший потерю работоспособности других.

При оценке надежности детали или сборочной единицы определяются: наработка до отказа; средняя наработка до отказа; вероятность безотказной работы; интенсивность отказов; параметр потока отказов; коэффициент готовности; коэффициент технического использования.

Под вероятностью безотказной работы понимается вероятность того, что в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки отказ изделия не возникает, а под интенсивностью отказов — условная плотность вероятности отказа невозстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник.

Параметр потока отказов определяется отношением среднего числа отказов восстанавливаемого объекта за произвольно малую его наработку к значению этой наработки.

Коэффициент готовности — вероятность того, что изделие будет в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение изделия по назначению не предусматривается (периоды плановых ТО и ТР).

Коэффициент технического использования — отношение математического ожидания наработки изделия (в единицах времени) за некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий наработки и продолжительности простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтами за тот же период эксплуатации.

Невосстанавливаемые детали и сборочные единицы подлежат замене после первого отказа. Восстанавливаемые сборочные единицы и детали могут иметь более одного отказа.

Невосстанавливаемые изделия, или изделия, заменяемые после первого отказа. Нарботка до отказа является случайной величиной; закон ее распределения во времени t определяется плотностью вероятности $f(t)$, по которой могут быть определены показатели надежности изделий.

Так, в случае распределения Вейбулла имеет место уравнение

$$f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a} \right)^{b-1} \exp \left[- \left(\frac{t}{a} \right)^b \right], \quad (8.1)$$

где a и b — постоянные (параметры распределения).

Когда $b=1$, распределение называется экспоненциальным. В этом случае

$$f(t) = \frac{1}{a} \exp\left(-\frac{t}{a}\right).$$

При $b=2$ получается распределение Релея:

$$f(t) = \frac{2t}{a^2} \exp\left(-\frac{t^2}{a^2}\right).$$

Для опытного определения показателей надежности невосстанавливаемых изделий проводятся наблюдения в процессе испытания или эксплуатации изделий в заданных условиях. При этом определяются наработки изделий до отказа $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$, где n — число объектов наблюдения.

Средняя наработка до отказа

$$t_{\text{ср}} = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (8.2)$$

или

$$t_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i. \quad (8.3)$$

В случае распределения Вейбулла из уравнений (8.1) и (8.2) получаем:

$$t_{\text{ср}} = a\Gamma(1 + 1/b), \quad (8.4)$$

где Γ — знак гамма-функций.

Отсюда при $b=1$ для экспоненциального распределения $t_{\text{ср}}=a$.

Из уравнения (8.4) при $b=2$ получаем для распределения Релея $t_{\text{ср}} = a\sqrt{\pi}/2$.

Вероятность безотказной работы за наработку τ

$$P(\tau) = \int_{\tau}^{\infty} f(t) dt \quad (8.5)$$

или

$$P(\tau) = N(\tau)/n,$$

где $N(\tau)$ — число изделий, оставшихся работоспособными до конца наработки.

В случае распределения Вейбулла из уравнений (8.1) и (8.5) получаем:

$$P(\tau) = \exp[-(\tau/a)^b], \quad (8.6)$$

а для экспоненциального распределения из уравнения (8.6) при $b=1$

$$P(\tau) = \exp(-\tau/a).$$

Интенсивность отказов

$$\lambda(t) = f(t)/P(t) \quad (8.7)$$

$$\lambda(t) \approx \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{\Delta t N(t)},$$

где $P(t)$ — находится по уравнению (8.5); Δt — некоторый достаточно малый промежуток времени.

В случае распределения Вейбулла из уравнений (8.1), (8.6) и (8.7) получаем:

$$\lambda \approx \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a} \right)^{b-1}.$$

Отсюда при $b=1$ для экспоненциального распределения $\lambda(t) = 1/a = \text{const}$, а при $b=2$ для распределения Релея $\lambda(t) = 2t/a^2$, т. е. здесь интенсивность отказов увеличивается при росте наработки по линейному закону.

Восстанавливаемые изделия. Для опытного определения показателей надежности восстанавливаемых изделий проводят наблюдения при испытании или эксплуатации N изделий в заданных условиях.

Среднее число отказов до наработки t

$$m_{\text{ср}}(t) = \frac{\sum_{i=1}^N m_i(t)}{N},$$

где $m_i(t)$ — число отказов i -го изделия до наработки t .

Характеристика потока отказов

$$H(t) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^N m_i(t)}{N}.$$

На практике часто бывает так, что после некоторой наработки функция $H(t)$ становится линейной:

$$H(t) = H(t_0) + \omega(t - t_0), \quad (8.8)$$

где $\omega(t - t_0)$ — параметр потока отказов.

В этом случае период до $t = t_0$ называется периодом приработки.

П а р а м е т р п о т о к а о т к а з о в

$$\omega(t) = \frac{dH(t)}{dt} \quad (8.9)$$

или

$$\omega(t) = \frac{\sum_{i=1}^N m_i(t + \Delta t) - \sum_{i=1}^N m_i(t)}{N \Delta t},$$

где Δt — достаточно малый промежуток времени.

Из уравнений (8.8) и (8.9) следует, что после периода приработки

$$\omega(t) = \omega = \text{const.}$$

Наработка на отказ

$$T = \frac{t_2 - t_1}{H(t_2) - H(t_1)}$$

или

$$T = \frac{t_2 - t_1}{m_{\text{ср}}(t_2) - m_{\text{ср}}(t_1)},$$

где t_2 и t_1 — наработки, характеризующие конец и начало рассматриваемого периода.

После периода приработки $T = 1/\omega = \text{const.}$ Если при испытании N изделий получено m отказов,

$$T = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N t_i, \quad (8.10)$$

где t_i — наработка i -го изделия после периода приработки.

Вероятность безотказной работы в период между наработками t_1 и t_2

$$P(t_2 - t_1) = \exp[H(t_1) - H(t_2)].$$

После периода приработки

$$P(\tau) = \exp(-\omega\tau) = \exp(-\tau/T),$$

где $\tau = t_2 - t_1$.

Среднее время восстановления в случае, если на отыскание и устранение m отказов было затрачено время $t_1, t_2, t_3, \dots, t_m$:

$$T_{\text{в}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_i. \quad (8.11)$$

Коэффициент готовности в установившемся режиме эксплуатации

$$k_{\text{г}} = T/(T + T_{\text{в}}),$$

где T и $T_{\text{в}}$ находят по уравнениям (8.10) и (8.11).

Коэффициент технического использования для случая, когда в течение рассматриваемого промежутка времени суммарная наработка составляет $t_{\text{с}}$, а суммарная продолжительность простоев в связи с восстановлением и техническим обслуживанием составляет соответственно $t_{\text{р}}$ и t_0 :

$$k_{\text{т}} = \frac{t_{\text{с}}}{t_{\text{с}} + t_{\text{р}} + t_0}.$$

8.4. АНАЛИЗ СТАБИЛЬНОСТИ МОЩНОСТНЫХ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ

Производительность и экономичность трактора в значительной мере определяются стабильностью (устойчивостью) его мощностных и экономических показателей. Для отдельных сборочных единиц и трактора в целом она определяется сопоставлением этих показателей, снимаемых через каждые 900...1000 моточасов эксплуатации испытываемого трактора. Определение стабильности показателей всего трактора производят путем снятия тяговой характеристики, двигателя — скоростной характеристики и определения расхода масла на угар, гидравлического навесного устройства — нагрузочной характеристики.

Испытания по определению стабильности показателей обычно приурочиваются к плановому техническому обслуживанию. Первые испытания должны проводиться после 150...200 моточасов работы.

Для определения стабильности показателей трактора снимают частичную тяговую характеристику на треке. Тяговую характеристику снимают на той передаче, на которой развивается максимальная тяговая мощность при номинальном тяговом усилии. Испытания проводят при положительных температурах окружающего воздуха (15...30 °С).

По тяговой характеристике определяют максимальную тяговую мощность и удельный расход топлива на указанном выше режиме.

Стабильность показателей двигателя оценивается по скоростной характеристике. По ней определяются следующие показатели: максимальная мощность; удельный расход топлива при максимальной и номинальной мощности; частота вращения коленчатого вала двигателя при максимальной и номинальной мощности; запас крутящего момента. Показатели должны быть приведены к стандартным условиям.

Для определения стабильности показателей гидравлического навесного устройства снимается нагрузочная характеристика, по которой определяется максимальная грузоподъемность, максимальное значение коэффициента объемных потерь, давление срабатывания предохранительного клапана и клапана автомата.

8.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ПЛАНОВОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Большое влияние на степень использования рабочего времени трактора, а следовательно, и на его производительность, оказывают простои при выполнении технического обслуживания, регулировке узлов, заправке и регламентируемом планово-предупредительном ремонте. Продолжительность простоев в значительной степени зависит от совершенства конструкции трактора и качества его изготовления, а также от полноты инструкции по техническому обслуживанию и рекомендуемого комплекта инструмента и приспособлений.

**Табл. 8.1. Количество и сроки контрольных опытов
по определению трудоемкости ТО**

Вид и периодичность ТО	Количество контрольных опытов
В период обкатки трактора	Один
Ежесменные	По три в начале, середине и конце испытаний
При периодичности менее 150 ч	По два в начале, середине и конце испытаний
При периодичности менее 600 ч	По одному в начале, середине и конце испытаний
При периодичности более 600 ч	Два
Сезонное	По одному каждого наименования опыта

Перечень работ, выполняемых при различных видах технического обслуживания, регламентируется инструкцией по уходу и эксплуатации трактора. Обычно предусматривается следующая периодичность ТО: ежесменное техническое обслуживание через 8...12 ч, ТО-1 через 60...80 ч, ТО-2 через 240...300 ч, ТО-3 через 960...1000 ч и сезонное техническое обслуживание в осенне-зимний или весенне-летний период эксплуатации.

Трудоемкость планового технического обслуживания определяется на основании контрольных опытов. Опыты проводят в количестве и сроки, указанные в табл. 8.1.

Контрольные опыты следует проводить при температуре не ниже 10 °С и не менее двух опытов по ежесменному техническому обслуживанию при отрицательных температурах окружающей среды. Отрицательная температура окружающей среды не должна отклоняться от средней многолетней минимальной температуры, характерной для зоны испытаний, более чем на 10 °С и не должна быть выше —5 °С.

Техническое обслуживание при контрольных опытах проводится квалифицированным персоналом, например мастером-наладчиком (основной исполнитель), трактористом-машинистом не ниже 2-го класса, слесарем или электриком не ниже 4-го разряда.

Техническое обслуживание должно проводиться с применением инструмента, входящего в комплект оснащения трактора, подвижных и стационарных средств, предусмотренных в рекомендациях завода-изготовителя.

При проведении контрольных опытов измеряются параметры, наименование и допустимые погрешности измерения которых приведены в табл. 8.2.

При этом также должны регистрироваться: номенклатура применяемых топлив, масел, гидросмесей и других материалов; номенклатура и количество израсходованных запасных частей; номенклатура применяемого инструмента и средств технического обслуживания; замечания по удобству выполнения операций.

Обработка результатов измерений и определение показателей производится по следующим формулам:

Табл. 8.2. Допустимые погрешности измерений при контрольных опытах

Измеряемый параметр	Погрешность измерения, не более
Продолжительность одного ТО данного вида	± 1 мин
Время занятости каждого исполнителя при выполнении операций ТО	± 2 с
Объем топлива, израсходованного на проведение ТО данного вида	5%
Объем (масса) масел и смазочных материалов, израсходованных на проведение ТО данного вида	1%

а) трудоемкость i -го вида технического обслуживания трактора (чел.-ч)

$$S_i = \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^k t_{jl},$$

где n — количество исполнителей i -го вида технического обслуживания; k — количество операций при i -м виде технического обслуживания; t_{jl} — оперативное время, затрачиваемое на выполнение l -и операции j -м исполнителем и определяемое как среднеарифметическое значение из всех измерений за период испытаний, ч;

б) средняя трудоемкость планового технического обслуживания трактора за назначенный период (чел.-ч)

$$S = \sum_{i=1}^m S_i z_i,$$

где z_i — планируемое количество ТО i -го вида за назначенный период работы трактора; m — количество видов плановых ТО;

в) удельная трудоемкость планового технического обслуживания трактора (чел.-ч/моточас)

$$s = S/t_p,$$

где t_p — наработка за назначенный период, моточас.

8.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСА ТРАКТОРА

Под *ресурсом* понимается наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние. Предельное состояние — это состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно либо восстановление его исправного или работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Различают ресурс до первого ремонта, межремонтный ресурс, назначенный ресурс, средний ресурс и др.

Наработка, в течение которой объект не достигает предельного состояния с заданной вероятностью γ , выраженной в процентах, называется *гамма-процентным ресурсом*. Если, например, $\gamma=90\%$,

то соответствующий ресурс называют девяностопроцентным, и т. д.

Суммарная наработка объекта, при достижении которой применение его по назначению должно быть прекращено, носит название *назначенного ресурса*. Такой ресурс определяется из соображений безопасности и экономичности и указывается в технической документации.

Если ресурс изделий имеет распределение с плотностью вероятности $f(t)$, то средний ресурс

$$t_{cp} = \int_0^{\infty} t f(t) dt.$$

Если же средняя наработка определяется для n изделий с наработкой каждой $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$, то средний ресурс находится по приближенной формуле

$$t_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i.$$

Гамма-процентный ресурс

$$P(t_\gamma) = \gamma/100,$$

а в случае распределения Вейбулла, поскольку

$$\exp [-(t_\gamma/a)^b] = \gamma/100; (t_\gamma/a)^b = -\ln(\gamma/100),$$

$$t_\gamma = a \sqrt[b]{-\ln(\gamma/100)}.$$

В случае экспоненциального распределения при $b=1$

$$t_\gamma = a [-\ln(\gamma/100)] = t_{cp} [-\ln(\gamma/100)].$$

Если, например, $\gamma=90\%$, то $t_{90}=0,105t_{cp}$.

Ресурс сборочных единиц и трактора в целом определяется по данным об их работоспособности, которая оценивается состоянием, при котором они способны выполнять заданные функции с параметрами, установленными требованиями технической документации.

Работоспособность деталей и сборочных единиц трактора обычно определяется при проведении технической экспертизы путем микрометрирования деталей, оценки качества поверхностей и сопоставления полученных при этом результатов с нормативными данными по предельным износам и выбраковочным признакам.

Таким образом, в задачи технической экспертизы входят оценка износостойкости деталей трактора и оценка качества изготовления и сборки трактора.

Техническая экспертиза с полной разборкой сборочных единиц и микрометрированием деталей производится после того, как данная сборочная единица выработала свой ресурс до планового ремонта.

При государственных приемочных и предварительных испытаниях допускается проводить техническую экспертизу всех агрегатов

трактора с полной разборкой и микрометрированием после выработки 50% ресурса.

При проведении технической экспертизы трактор полностью разбирается, причем перед этим его тщательно моют и очищают от пыли и грязи. В тех случаях, когда износ определяют сравнением показателей сборочных единиц в начале и в конце испытаний (например, для плунжерных пар топливного насоса или шестеренчатых насосов), отдельные сборочные единицы испытывают на стенде.

В процессе разборки техническое состояние болтовых и заклепочных соединений определяется осмотром, контрольной подтяжкой динамометрическим ключом и остукиванием. Степень сохранности первоначальных регулировок определяется путем замеров.

Состояние уплотнений проверяется осмотром. При этом определяют наличие течей, разрывов и трещин, а также характер изнашивания уплотняющих поверхностей. Износ уплотняющих поверхностей определяется микрометрированием.

При осмотре деталей выявляется наличие раковин, трещин, микротрещин и т. д. Микрометрированием определяется их износ.

Состояние поверхностей поршней двигателя оценивается по действующим нормативам.

Микрометрирование проводится в соответствии с действующим стандартом на методы испытаний тракторов.

Детали, подлежащие микрометрированию, должны быть тщательно очищены и насухо вытерты. На одноименных деталях должны быть поставлены метки или бирки с указанием порядкового номера детали или места ее установки. Микрометрирование проводится в помещении при температуре 15...20 °С после выдержки в этих условиях не менее 10 ч. Мерительный инструмент подбирается для обмера каждой детали соответственно классу точности ее изготовления. Все приборы и инструменты должны применяться в соответствии с прилагаемыми к ним инструкциями, проверяться и маркироваться до начала технической экспертизы.

Обмер деталей проводится в соответствии с указаниями на эскизах микрометражных карт в нескольких местах (сечениях) в целях установления характера изнашивания (неравномерности, односторонности, конусности, овальности и т. п.). Износ в местах, не совпадающих с указанными в микрометражных картах, должен быть измерен, а данные измерений занесены в микрометражную карту с указанием мест (сечений), в которых они выполнены.

Для микрометрирования деталей сложной конструкции применяются специально изготовленные шаблоны. На эскизе детали, подлежащей обмеру, или в графе микрометражной карты должны быть проставлены номинальные размеры с допусками.

При определении износа за исходные размеры должны приниматься данные первичного микрометрирования, который проводится перед сборкой трактора на заводе-изготовителе. Иногда допускается принимать в качестве исходных размеры по чертежу.

Если во время испытаний возникает необходимость замены де-

тали, износ которой подлежит изучению, то эта деталь должна пройти микрометрирование с регистрацией результатов, причины ее замены и продолжительности работы.

При технической экспертизе определяется пригодность сборочной единицы, детали к дальнейшей работе. Состояние сборочной единицы, детали, сопряжения деталей серийных тракторов оценивается по выбраковочным признакам, установленным действующей нормативно-технической документацией, а новых — по выбраковочным признакам аналогичных сборочных единиц, деталей, сопряжений для серийных изделий.

Деталь считается непригодной к дальнейшей работе, если износ или другие показатели ее технического состояния соответствуют предельному состоянию.

Если по износу или другим показателям технического состояния деталь может нормально выполнять свои функции в течение периода, составляющего не менее 30% отработанного времени, она считается пригодной к дальнейшей работе на ограниченный срок. Деталь считается пригодной к дальнейшей работе, если по износу или другим показателям технического состояния она может нормально выполнять свои функции в течение периода, составляющего не менее 50% отработанного времени.

8.7. РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ ТРАКТОРА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Под *ремонтпригодностью* трактора понимается свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонта.

Показателями ремонтпригодности являются вероятность восстановления и среднее время восстановления работоспособного состояния.

Вероятность восстановления работоспособного состояния — это вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданного. Она вычисляется по формуле

$$P_{\text{в}}(t) = \int_0^t f(\tau) d\tau,$$

где $f(\tau)$ — плотность распределения времени восстановления.

Время восстановления работоспособного состояния объекта — время, затрачиваемое на обнаружение и устранение последствий отказа. В генеральной совокупности среднее время восстановления

$$T_{\text{в}} = \int_0^{\infty} \tau f_{\text{в}}(\tau) dt.$$

Среднее время восстановления трактора или его сборочной единицы определяется как среднее арифметическое значение опытного времени восстановления испытываемых изделий.

Средняя стоимость технического обслуживания — средние суммарные затраты на проведение ТО за определенный период эксплуатации изделия. Например, средняя стоимость одного планового ТО составляет 60 руб., а средняя стоимость 1 ч работы по устранению отказов (с учетом стоимости запасных частей) — 6 руб. Было проведено 3 плановых ТО и на устранение отказов затрачено 70 ч. Средняя стоимость $ТО\ 60 \cdot 3 + 70 \cdot 6 = 600$ руб.

Под средней трудоемкостью технического обслуживания понимаются средние суммарные трудозатраты на проведение ТО за определенный период эксплуатации изделия. Она зависит не только от свойств самого изделия, но и от уровня организации обслуживания (квалификации обслуживающего персонала и т. д.).

В процессе проведения государственных приемочных испытаний оценку приспособленности трактора к ремонту обычно осуществляют методом пробной его сборки и разборки. При этом имитируется устранение отказов и неисправностей, имевших место при испытаниях, а также измеряют и регистрируют: продолжительность разборочно-сборочных работ и количество исполнителей; продолжительность устранения неисправностей и количество исполнителей; применяемое оборудование; расход материалов; номенклатуру используемого инструмента; приспособленность типовых ремонтных предприятий (по размерам и планировке производственных помещений) к проведению ремонта данного трактора.

На основании данных пробного ремонта трактора в соответствии с технической документацией на нормирование ремонтных работ, утвержденной в установленном порядке, определяют перечисленные выше показатели, а также трудоемкость разборочно-сборочных работ и технологичность их выполнения.

* *

*

Методы испытаний тракторов развиваются и совершенствуются в соответствии с основными направлениями научно-технического прогресса. С одной стороны, совершенствуются методы испытаний и обработки материалов, методы анализа результатов и принятия решений, испытательное и измерительное оборудование, все шире используются ЭВМ и микропроцессорная техника, внедряются автоматизированные системы испытаний. С другой стороны, на базе результатов испытаний совершенствуются системы проектирования тракторов, так как накапливаемые материалы по нагрузочным режимам используются при математическом моделировании процессов, совершенствовании методов расчета и оптимизации параметров. В этом смысле испытания не только самостоятельная прикладная дисциплина, но и составная часть системы проектирования тракторов. Такой подход способствует повышению качества проектных решений, технического уровня и надежности тракторов, сокращению сроков их проектирования и доводки.

ЛИТЕРАТУРА

- Адлер Ю. П., Маркова Е. В. Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.— М.: Наука, 1976.—280 с.
- Беляк К. Т., Короткевич А. В., Солонский А. С. Токосъемник с ртутной ванной//Новое в методах испытания тракторов и сельскохозяйственных машин.— М.: Союзсельхозтехника, 1967.—Вып. 2.—С. 83—86.
- Гальчук В. Я. Соловьев А. П. Техника научного эксперимента.—Л.: Судостроение, 1982.—256 с.
- Испытания сельскохозяйственной техники /С. В. Кардашевский, Л. В. Погорелый, Г. М. Фудиман и др.— М.: Машиностроение, 1979.—288 с.
- Коробейников А. Т., Лихачев В. С., Шолохов В. Ф. Испытания сельскохозяйственных тракторов.—М.: Машиностроение, 1985.—240 с.
- Ксенович И. П., Солонский А. С., Войчинский С. М. Проектирование универсально-пропашных тракторов.— Мн.: Наука и техника, 1980.—320 с.
- Левитанус А. Д. Ускоренные доводочные испытания тракторов, их узлов и агрегатов.— 2-е изд.— М.: Машиностроение, 1983.—184 с.
- Лихачев В. С. Испытания тракторов.— 3-е изд.— М.: Машиностроение, 1974.—288 с.
- Логинов В. Н. Электрические измерения механических величин.— М.: Энергия, 1976.—104 с.
- Налимов В. В. Теория эксперимента.— М.: Наука, 1971.—207 с.
- Повышение эффективности производства на Минском тракторном заводе им. В. И. Ленина /П. И. Бойков, И. П. Ксенович, А. С. Солонский и др.— М.: Машиностроение, 1980.—230 с.
- Погорелый Л. В. Инженерные методы испытаний сельскохозяйственных машин.— Киев: Техника, 1981.—176 с.
- Прочность и долговечность автомобиля /Б. В. Гольд, Е. П. Оболенский, Ю. Г. Стефанович, О. Ф. Трофимович.— М.: Машиностроение, 1974.—328 с.
- Солонский А. С., Гринюк М. Т., Жуковский И. Н. Выбор параметров стенда для исследования динамики тракторных агрегатов // Пути совершенствования сельскохозяйственной техники.— Мн.: Ураджай, 1973.—С. 213—216.
- Солонский А. С. Выбор параметров стенда и методики форсированных испытаний муфты сцепления на долговечность//Повышение эффективности использования техники в сельском хозяйстве.— Горки, 1970.—Т. 63.—С. 143—156.
- Чудаков Д. А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля.—2-е изд.— М.: Колос, 1972.—384 с.
- Шевцов М. В., Верзал А. И. Элементы статистических методов планирования экстремальных экспериментов.— Мн.: Полымя, 1969.—48 с.
- Шенк Х. Теория инженерного эксперимента.— М.: Мир, 1972.—382 с.
- Электрические измерения неэлектрических величин /А. М. Турчин, П. В. Новицкий, Е. С. Левшина и др.— 5-е изд.— Л.: Энергия, 1975.—576 с.
- Элементы теории испытаний и контроля технических систем /В. И. Городецкий, А. К. Дмитриев, В. М. Марков и др.— Л.: Энергия, 1978.—192 с.
- Ягодков О. П., Соколов Б. Ф. Практика тензометрирования: Метод. пособие.— Челябинск: ЧИМЭСХ, 1972.—83 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
Глава 1. Назначение и научно-методические принципы испытаний	9
1.1. Назначение испытаний	9
1.2. Методика оценки качества и эффективности тракторов	9
1.3. Характеристики внешних условий при испытании тракторов	12
1.4. Понятие о зональном принципе принятия решений	13
Глава 2. Виды испытаний и условия их проведения	15
2.1. Виды испытаний	15
2.2. Показатели качества трактора	21
2.3. Условия проведения испытаний трактора	26
2.4. Порядок представления трактора на испытание	28
Глава 3. Измерительная аппаратура и оборудование	30
3.1. Замеряемые параметры и требования к аппаратуре	30
3.2. Методы преобразования механических величин в электрические	33
3.3. Регистрирующая и усилительная аппаратура	46
3.4. Методы измерения тягового усилия	51
3.5. Методы измерения крутящих моментов	55
3.6. Технические средства для комплексных испытаний тракторов	60
Глава 4. Испытания по оценке конструктивных параметров трактора	67
4.1. Конструктивные параметры трактора	67
4.2. Статическая устойчивость	71
4.3. Оценка условий труда водителя	72
4.4. Безопасность работы	82
4.5. Агрегатирование трактора с сельскохозяйственными машинами	88
4.6. Испытания вала отбора мощности	92
4.7. Лабораторно-полевые испытания навесной системы	93
4.8. Лабораторные испытания двигателя	95
4.8.1. Общие положения	95
4.8.2. Регуляторная и скоростная характеристики	97
4.8.3. Регулировочная характеристика	99
4.8.4. Нагрузочная характеристика	101
4.8.5. Характеристика холостого хода	102
4.8.6. Пусковые характеристики	103
4.8.7. Характеристики продолжительности пуска	103
	181

4.8.8. Расход масла на угар	104
4.8.9. Бестормозные испытания двигателя	104
Глава 5. Оценка тяговых показателей трактора	105
5.1. Общие положения	105
5.2. Участок для тяговых испытаний, условия испытаний	106
5.3. Подготовка участка к испытаниям	111
5.4. Обработка осциллограмм	112
5.5. Оценка тяговой динамики трактора с навесными машинами	116
Глава 6. Эксплуатационно-технологические испытания тракторов	119
6.1. Общие положения	119
6.2. Условия и режимы испытаний. Организация технического учета	120
6.3. Параметры, измеряемые при технологических испытаниях трактора	122
6.4. Оценка основных эксплуатационно-технологических качеств трактора	124
Глава 7. Стендовые испытания тракторов и их сборочных единиц	126
7.1. Методические принципы стендовых испытаний	126
7.2. Стендовые испытания тракторов	128
7.2.1. Общие положения	128
7.2.2. Тяговые показатели колесных тракторов	129
7.2.3. Динамические показатели тракторов	135
7.2.4. Стендовая обкатка тракторов	142
7.3. Испытания трансмиссий	143
7.3.1. Общие положения	143
7.3.2. Параметрические испытания	144
7.3.3. Ускоренные ресурсные испытания	145
7.3.4. Приемочно-сдаточные и периодические испытания	151
7.4. Испытания фрикционных сборочных единиц	152
7.4.1. Общие положения	152
7.4.2. Параметрические испытания	153
7.4.3. Ускоренные ресурсные испытания	153
7.4.4. Приемочно-сдаточные и периодические испытания	157
7.5. Испытания несущих и ходовых систем и кабин	159
7.5.1. Испытания несущих систем	159
7.5.2. Испытания кабин	161
Глава 8. Испытания на надежность	164
8.1. Основные положения	164
8.2. Условия и режимы испытаний	165
8.3. Безотказность трактора и определение ее показателей	167
8.4. Анализ стабильности мощностных и технико-экономических показателей тракторов	173
8.5. Определение трудоемкости планового технического обслуживания	173
8.6. Определение ресурса трактора	175
8.7. Ремонтопригодность трактора и определение ее показателей	178
Литература	180

*Сергей Михайлович Белов,
Александр Степанович Солонский*

ТРАКТОРЫ

Часть IV

Испытания

Зав. редакцией *В. Г. Самарина*
Редактор *Э. Н. Капрова*
Мл. редактор *А. П. Берлина*
Обложка *Р. Р. Сергеева*
Худож. редактор *И. А. Демковский*
Техн. редактор *Г. М. Романчук*
Корректор *В. В. Неверко*

ИБ № 1963

Сдано в набор 17.01.86. Подписано в печать 08.04.86. АТ 13641.
Формат 60×90^{1/16}. Бумага тип. № 1. Гарнитура литературная.
Высокая печать. Усл. печ. л. 11,5. Усл. кр.-отт. 11,81.
Уч.-изд. л. 12,34. Тираж 4200 экз. Зак. 191. Цена 60 к.

Издательство «Высшая школа» Государственного комитета
БССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
220048, Минск, проспект Машерова, 11.

Типография им. Франциска (Георгия) Скорины издательства
«Наука и техника». 220600. Минск, Ленинский пр., 68.

- Белов С. М., Солонский А. С.**
Б 43 Тракторы: Ч. IV. Испытания. Учеб. пособие для втузов;
Под общ. ред. В. В. Гуськова.— Мн.: Выш. шк., 1986 —
182 с.: ил.

Изложены вопросы теории и практики проведения испытаний тракторов, основные сведения по их организации, выбору приборов и стендового оборудования, методов испытаний, обработки первичных материалов и оценки надежности, некоторые данные о научно-методических принципах испытаний тракторов.

Для студентов втузов по специальности «Автомобили и тракторы».

3603030000—045
Б — 55—86
М304(05)—86

ББК 39.34я73