

С.М. Красноступ,  
Ю.А. Царёв,  
А.Г. Далальянц

ИСПЫТАНИЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН  
И ОРУДИЙ ДЛЯ ПОЛЕВОДСТВА

Ростов-на-Дону  
2012

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

С.М. Красноступ, Ю.А. Царёв, А.Г. Далальянц

# ИСПЫТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН И ОРУДИЙ ДЛЯ ПОЛЕВОДСТВА

Учебное пособие

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов  
Российской Федерации по образованию в области  
транспортных машин и транспортно-технологических комплексов  
в качестве учебного пособия для студентов  
высших учебных заведений, обучающихся по специальности  
190206 «Сельскохозяйственные машины и оборудование».*

Ростов-на-Дону  
2012

УДК 631.3.001.4(075.4)  
К 78

*Рецензенты:*

доктор технических наук, профессор *В.Е. Касьянов* (РГСУ);  
кандидат технических наук, начальник технического отдела Технического центра ООО «Комбайновый завод «Ростсельмаш»» *А.В. Ефремов*

**Красноступ С.М.**

К 78 Испытания сельскохозяйственных машин и орудий для полеводства: учеб. пособие / С.М. Красноступ, Ю.А. Царёв, А.Г. Далальянц. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2012. – 135 с.

ISBN 978-5-7890-0736-5

Изложены основные положения и методы проведения испытаний сельскохозяйственных машин и орудий как вновь создаваемых, так и находящихся в эксплуатации.

Учебное пособие предназначено для бакалавров, специалистов и магистров вузов, готовящих профессиональные кадры для работы в сфере агропромышленного комплекса (АПК).

УДК 631.3.001.4(075.4)

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Донского Государственного технического университета

Научный редактор  
кандидат технических наук, профессор А.Г. Далальянц

© Красноступ С.М., Царёв Ю.А.,  
Далальянц А.Г., 2012

ISBN 978-5-7890-0736-5  
2012

© Издательский центр ДГТУ,

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Создание новых и совершенствование существующих сельскохозяйственных машин является сложным многоэтапным и длительным процессом. Этот процесс реализуют научно-исследовательские организации, конструкторские бюро, машинно-испытательные станции (МИС), проектно-технологические службы, заводы-изготовители продукции.

Выпускаемая нашей промышленностью техника позволяет механизировать основные операции в полеводстве и животноводстве.

Исходным документом для создания или модернизации машины является техническое задание (ТЗ) заказчика. В задании определяется: назначение машины, условия ее работы, функциональные показатели (высота среза стеблей, глубина заделки семян и т.д.), технико-эксплуатационные требования (масса машины, агрегатирование, количество обслуживающего персонала и т.д.), экономические требования.

На основе технического задания конструкторская организация составляет техническое предложение на разработку конструкции. Техническое предложение включает техническое задание, описание предполагаемой конструкции, показатели ее унификации, стандартизации и нормализации. После утверждения технического предложения разрабатывается эскизный проект новой машины. Он содержит характеристику принципиально новых конструктивных решений, дает представление об устройстве и работе машины. На основании эскизного проекта изготавливаются макеты механизма, рабочие органы, которые подвергаются лабораторным испытаниям на специальных стендах.

В дальнейшем разрабатывается технический проект, который дает полное представление об устройстве изделия и содержит данные, необходимые для разработки конструкторской документации. В техническом проекте закладываются основы патентной чистоты

и конкурентоспособности машины. В процессе разработки технического проекта продолжаются лабораторные, стендовые и полевые испытания макетов, оригинальных рабочих органов и механизмов.

После утверждения технического проекта разрабатывается конструкторская документация на опытный образец машины. Изготовленные образцы подвергаются доводочным и предварительным испытаниям по специальным программам и методикам. В процессе испытаний оценивается прочность и работоспособность машины, качество выполняемого функционального процесса. Одновременно устраняются возникающие поломки и нарушения в работе.

Опытные образцы, получившие положительную оценку на предварительных испытаниях, представляются на приёмочные (государственные) испытания. При положительных результатах государственных испытаний проводится корректировка конструкторской документации, оформляется решение о постановке машины на производство, все ее чертежи согласовываются с изготовителем.

По результатам приёмочных испытаний проводят корректировку конструкторской документации и изготавливают установочный образец, который является эталоном для производств.

Чтобы ускорить проектные работы, иногда совмещают этапы технического задания и эскизного проектирования со стендовыми испытаниями. На практике зачастую совмещают разработку технического проекта с подготовкой конструкторской документации, доводочными и предварительными испытаниями.

Большое значение оказывают испытания (периодические) и на обеспечение необходимого качества выпускаемых заводами машин.

В процессе создания и модернизации машины проводятся научно-исследовательские работы (НИР), направленные на повышение ее технического уровня. Понятия «научное исследование» и «испытание» различны. *Научным исследованием* называют процесс изучения определенного объекта (предмета или явления) с целью раскрытия закономерностей его развития. Примером НИР являются создание более совершенных технологий механизированных работ, усовершенствование рабочих органов, изучение физико-механических

свойств сельскохозяйственных материалов, оптимизация ширины захвата и рабочей скорости машины.

Процесс научного исследования осуществляется с помощью общенаучных методов: анализа, синтеза, индукции, дедукции, аналогии, моделирования, абстрагирования и конкретизации. Исследование может быть теоретическим или экспериментальным. Теоретическое исследование заключается в разработке и анализе математических моделей, идентичных оригиналу. Теоретическое исследование проверяется и дополняется экспериментальным. Эксперимент – это научно поставленный опыт, в котором исследователь планомерно видоизменяет условия развития объекта (машины или процесса), чтобы получить ясные закономерности.

Под *испытанием* понимают проверку каких-либо ранее установленных свойств или качеств машины (агрегата, орудия), соответствие их характеристик стандартам, технологическим требованиям на показатели назначения и т.д. Например, при испытаниях зерноуборочного комбайна определяют величину потерь зерна и сравнивают эти потери с ограничениями по агротехническим требованиям.

Испытания, проведенные в условиях реальной эксплуатации, позволяют получить исходные данные для дальнейших расчетов, внесения изменений в машину, планирования технического обслуживания машины в хозяйствах.

Применение теории вероятности в опыте создания сельскохозяйственных машин позволило формализовать систему рациональных приемов в области экспериментальных исследований и испытаний в форме соответствующих методик. Методика позволяет решить вопрос о планировании экспериментов, определить их число и последовательность, провести статистическую обработку полученных результатов, оценить технико-экономический уровень машины. Ошибки в методике приводят к накоплению статистического материала, из которого нельзя сделать верные выводы. Правильная методика позволяет получать объективную информации в ограниченные сроки.

# **1. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН**

## **1.1. Цели и задачи испытаний**

После изготовления опытных образцов изделий необходимо проверить, в какой мере они соответствуют замыслу по созданию новой техники.

Такую проверку выполняют посредством испытаний.

*Испытаниями* называют экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результат воздействия на него при его функционировании и моделировании.

Поскольку условия применения сельскохозяйственной техники многообразны и недостаточно изучены, значения параметров сельскохозяйственных сред (особенно почвенных условий) изменяются в больших пределах, аналитические методы расчетов многих типов рабочих органов еще далеки от совершенства, то испытания вновь изготовленных образцов сельскохозяйственной техники в настоящее время являются важной составной частью (стадией) процесса отработки новых конструкций.

Основной целью испытаний сельскохозяйственной техники является получение объективной, достоверной информации о фактических значениях показателей качества изделий (техники) и соответствии их нормативной документации.

Показатели качества новой техники при испытаниях определяются для принятия решения о дальнейшей судьбе изделия.

Качество продукции – совокупность ее свойств, обуславливающих пригодность продукции удовлетворять определенным потребностям в соответствии с ее назначением. Качество продукции характеризуется целым рядом свойств, которые можно объединить в одиннадцать групп:

1) эксплуатационные и потребительские свойства (для трактора – мощность, скорость, расход топлива; для автомобиля – грузоподъемность, скорость, расход топлива; для станка – точность, производительность, степень автоматизации и т. д.);

2) надежность;

3) технологичность;

- 4) степень стандартизации, унификации и взаимозаменяемости;
  - 5) эргономичность (физиологические и гигиенические показатели, удобство работы и т. п.);
  - 6) техническая эстетика (внешний вид и др.);
  - 7) патентно-правовые показатели, характеризующие патентную защиту и патентную чистоту продукции;
  - 8) экологичность, характеризующая уровень вредных воздействий на окружающую среду, возникающих при использовании машины (выброс вредных веществ, сохранение почвы и т.д.);
  - 9) безопасность человека при эксплуатации машины (при хранении, использовании, транспортировании, монтаже, ремонте, от механических, тепловых, электрических, химических воздействий и т.п.);
  - 10) транспортабельность – приспособленность машины к подготовительным и транспортным операциям;
  - 11) экономические показатели, характеризующие затраты на разработку, изготовление и эксплуатацию, а также экономическую эффективность от использования:
    - народнохозяйственный экономический эффект;
    - годовой экономический эффект;
    - капитальные затраты;
    - годовые текущие затраты;
    - себестоимость машины;
    - затраты на эксплуатацию;
    - затраты на разработку и изготовление опытного образца.
- Экспериментальное определение свойств (или совокупности свойств) испытываемой продукции составляет задачи, которые решаются при проведении испытаний различных видов.

## **1.2. Виды испытаний**

Этапы разработки и испытаний сельскохозяйственной техники нормируются требованиями нормативных документов на продукцию производственно-технического назначения, в том числе стандарта ГОСТ 15309 и др. На различных стадиях жизненного цикла образца сельскохозяйственной техники, как и другой продукции производственно-технического назначения, проводятся следующие испытания:



- на стадии разработки технической документации – лабораторные;
- на стадии изготовления опытных образцов – доводочные, предварительные;
- на стадии производства, включая подготовку, – приемочные, предъявительские, типовые, периодические и сертификационные.

Допускается совмещать испытания. Цель совмещения испытаний – экономия средств и времени. Причем совмещенные испытания должны обеспечивать совокупность всех проверок, предусмотренных для отдельных категорий испытаний. По результатам совмещенных испытаний, как правило, оформляют общий документ, отнесенный к первой из указанных категорий испытаний. В необходимых случаях оформляют отдельные документы по каждой категории испытаний.

Испытания важнейших видов продукции производственно-технического назначения, проводимые в головных организациях по испытаниям именно этих видов продукции, называются государственными. Таким образом, наряду с приемочными испытаниями, т.е. испытаниями для выдачи разрешения на серийное производство, к государственным испытаниям могут относиться квалификационные, периодические, инспекционные и сертификационные.

По условиям и месту проведения испытания могут быть:

- лабораторные – проводимые в лабораторных условиях;
- лабораторно-полевые – проводимые при специальных опытах в полевых условиях;
- стендовые – проводимые на испытательном оборудовании в испытательных или научно-исследовательских подразделениях. Причем испытательное оборудование может серийно выпускаться, например вибрационные стенды для испытаний на вибрацию, ударные стенды и другие, а может специально создаваться (проектироваться и изготавливаться) в процессе создания нового изделия для проведения его испытания с целью получения каких-либо характеристик (показателей);
- полигонные – проводимые на испытательном полигоне;
- эксплуатационные – испытания в условиях, соответствующих условиям использования изделия по прямому назначению. Ха-

рактические свойства изделия при натурных испытаниях определяются непосредственно, без использования аналитических зависимостей, отражающих физическую структуру объекта испытаний или его частей.

По продолжительности, по временной полноте проведения испытания могут быть:

- нормальные, когда методы и условия проведения обеспечивают получение необходимого объема информации о характеристиках свойств продукции (объекта) в такой же интервал времени, как и в предусмотренных условиях эксплуатации;

- ускоренные, когда методы и условия проведения обеспечивают получение необходимой информации о характеристиках свойств объекта в более короткий срок, чем при нормальных испытаниях. Проведение ускоренных испытаний позволяет сокращать затраты средств и времени на создание продукции. Ускорение получения результатов испытаний может быть достигнуто за счет применения повышенных нагрузок и т.п.;

- сокращенные (проводятся по сокращенной программе).

Испытания могут классифицироваться так же, как специальные, по определяемым характеристикам объекта, например:

- функциональные – проводимые с целью определения значений показателей назначения объекта;

- на надежность – проводимые для определения показателей надежности в заданных условиях;

- на безопасность – проводимые с целью подтверждения, установления фактора безопасности для обслуживающего персонала или лиц, имеющих отношение к объекту испытаний.

Необходимо отметить, что в последние годы вопросам обеспечения надёжности сельскохозяйственных машин уделяется большое внимание. Учитывая важность и сложность данной проблемы, вопрос испытаний сельхозмашин на надёжность в пособии вынесен в отдельный раздел.

Приемочные, предъявительские, типовые, периодические и сертификационные испытания сельскохозяйственных машин и тракторов производят государственные зональные машиноиспытательные станции (МИС). Станции регулярно аттестуются органами Госстандарта на право проведения испытаний определенной номенклатуры сельскохозяйственной техники. Такие аттестации подтверждают:

- что станция имеет приборы и оборудование, обеспечивающие необходимую точность измерений;
- кадры специалистов станции имеют соответствующее образование, специальности и квалификации;
- проведение работ по испытаниям ведется методами, определенными нормативно-технической документацией;
- что на станции функционирует система качества испытательных работ и процедур;
- обеспечивается высокое качество, достоверность, объективность работ и требуемая точность результатов испытаний сельскохозяйственной техники.

### 1.2.1. Лабораторные испытания

Эти испытания проводятся на начальной стадии проектирования в стационарных условиях на специальных стендах. Лабораторным испытаниям подвергают те сборочные единицы и рабочие органы, для которых проектное решение еще не ясно или условия применения малознакомы. При этом оцениваются их износостойчивость, надежность, энергоемкость, качество выполнения технологического процесса.

В качестве примера рассмотрим стендовые испытания вариатора хода зерноуборочного комбайна «Дон-1500» (рис.1.1).

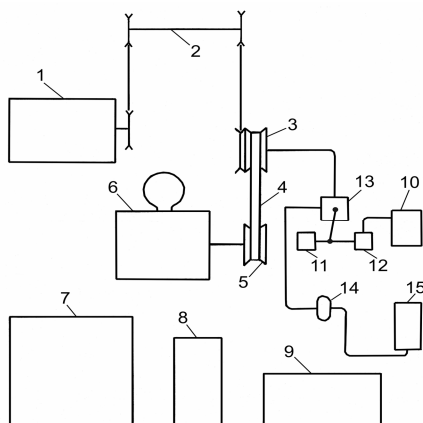


Рис. 1.1. Схема стенда испытания вариатора: 1 – приводной электродвигатель; 2 – контрприводной вал; 3 – вариатор; 4 – вариаторный ремень 68×24×2600; 5 – позиторк; 6 – балансирная машина; 7 – шкаф управления; 8 – мотор-генератор; 9 – пульт; 10 – реле времени; 11 и 12 – электромагниты; 13 – гидрораспределитель; 14 – гидронасос; 15 – гидробак

Электродвигатель 1 мощностью 75 кВт создает крутящий момент на валу вариатора 3. При помощи балансирной машины 6 (DS932-4N), присоединенной к позиторку 5, моделируется нагрузка от ходовой части комбайна. Изменяя передаточное отношение вариатора при помощи гидросистемы, управляемой по программе реле времени 10 и двумя электромагнитами 11 и 12, моделируется режим нагружения (со средним моментом  $M = 500 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ), показанный на рис. 1.2.

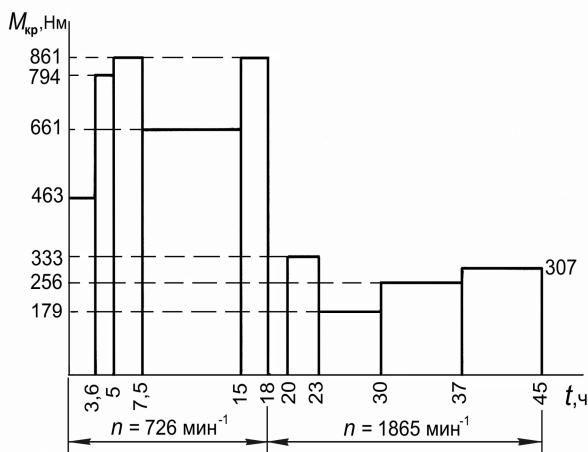


Рис. 1.2. Режимы нагружения вариатора

Тормозные установки для испытания узлов иначе называют балансирными динамометрами (или балансирными машинами), так как они предназначены для измерения крутящего момента по принципу балансирного подвешивания корпуса тормоза, создающего тормозной момент на валу испытуемого узла (двигателя). Корпус 1 тормоза (рис. 1.3) подвешивают в подшипниках и опирают через призму 2 на весовой механизм 3 любого типа. Произведение показанного весами усилия  $P$  на плечо  $l$  дает крутящий момент  $M = Pl$ .

Мощность определяется произведением

$$N = M\omega = Pl\omega,$$

где  $\omega$  – угловая скорость вала тормоза.

К тормозным установкам предъявляются следующие требования:

- 1) создание устойчивой нагрузки во всем диапазоне нагрузок и угловых скоростей на валу испытуемого узла (двигателя);
- 2) обеспечение плавной и достаточно тонкой регулировки нагрузки;
- 3) обеспечение достаточно точного измерения нагрузки;
- 4) простота конструкции и возможность учета погрешностей измерения нагрузки.

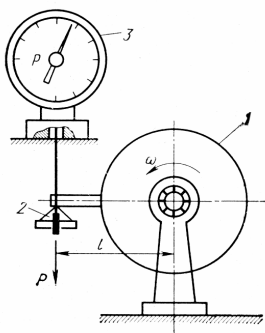


Рис. 1.3. Схема балансирующего динамометра для измерения крутящего момента на валу узла (двигателя)

В качестве тормозов в балансирных электрических машинах применяются генераторы постоянного тока и индукторные тормоза. Они отличаются простотой конструкции, большой энергоемкостью и способностью создавать большой тормозной момент при малой угловой скорости вала. При одинаковых размерах индукторный тормоз создает в 10–12 раз больший тормозной момент, чем обычный электротормоз.

В задачи лабораторных испытаний могут входить также стендовые испытания отдельных узлов и систем двигателей.

После успешных испытаний конструктор может выбрать из различных вариантов решение, наиболее близкое к оптимальному. В дальнейшем под руководством разработчика проводятся испытания на возможность реализации выбранной конструкции в создаваемой машине.

Лабораторные испытания организывают так, чтобы сохранялась возможность регулировать внешние факторы и определять причинно-следственный характер процесса. Однако именно это искусственное регулирование вносит элемент нереальности в программу испытаний. Кроме того, при стендовых испытаниях чрезвычайно трудно создать реальные комбинации внешних условий (запыленность, копирование рельефа поля и т.д.). Например, пока невозможно оценить влияние колебаний жатки при копировании рельефа поля на высоту стерни.

Разновидностью лабораторных испытаний являются дорожные (трековые). Их проводят на специальных треках, имитирующих реальные условия дорог и полей. Такие испытания незаменимы для транспортных средств: тележек, погрузчиков, комбайнов и т.д.

### 1.2.2. Доводочные испытания

Доводочные испытания образцов сельскохозяйственных машин новых конструкций проводятся с целью проверки соответствия их техническому заданию на проектирование, агрозоотехническим требованиям сельского хозяйства, а также с целью доводки машины до работоспособного состояния.

В процессе этих испытаний возникающие отказы подвергаются тщательному анализу, чтобы выяснить, является ли конструкция дефектной или же возникли ошибки в процессе изготовления машины.

Необходимость испытаний определяет разработчик либо при составлении технического задания на разработку, либо в процессе разработки; он же составляет программу и методику испытаний. Испытаниям подвергают опытные или головные образцы продукции и ее составные части.

### 1.2.3. Предварительные испытания

Предварительным испытаниям подвергается машина, показавшая необходимые результаты на доводочных испытаниях, для определения возможности предъявления образцов на приемочные испытания.

Предварительные испытания проводятся конструкторскими организациями на своих полевых базах, в опытных хозяйствах научно-исследовательских институтов, а также на государственных зональных машиноиспытательных станциях или в хозяйствах соответствующих зон страны на договорных условиях по установленным программам и методикам.

Часто испытания проводятся в экстремальных условиях и даже с разрушением образца. Такие испытания незаменимы там, где должна быть обеспечена высокая надежность или техника безопас-

ности (например, проверка прочности кабины трактора в случае опрокидывания).

Опытный образец, показавший на доводочных испытаниях удовлетворительное качество работы, проходит испытания в хозяйственных условиях. Объем выработки этого образца должен быть не менее 50% годовой нормы, установленной для данного типоразмера машин.

Методики предварительных испытаний новых машин составляют на основе ГОСТ на испытания различных типов машин, методик государственных зональных машиноиспытательных станций на испытание машин того же назначения, а также рекомендаций Всесоюзного института сельскохозяйственного машиностроения (ВИСХОМ).

Программу предварительных испытаний составляют в зависимости от поставленных задач, объема испытаний и степени новизны конструкции машины. В общем виде программа должна состоять из следующих основных разделов:

1. Лабораторно-полевые испытания:

- выбор и подготовка полевых участков, материалов или объектов для испытаний и составление их подробной характеристики;
- отладка и настройка машины на оптимальные условия работы;

- определение показателей качества работы машины и составление агрозоотехнической оценки;

- проверка эффективности регулировочных устройств в работе, достаточности имеющихся регулировок, сменных рабочих органов и деталей, анализ рациональности технологической схемы машины и удобства управления ею;

2. Оценка эксплуатационно-технологических показателей.

3. Оценка энергетических показателей.

Испытания в хозяйственных условиях проводятся с целью проверки устойчивости и надежности технологического процесса, осуществляемого машиной, и определения её эксплуатационно-технологических показателей.

В процессе предварительных испытаний по возможности устраняют выявившиеся конструктивные и производственные недостатки машин, определяют пригодность их для хозяйственной эксплуатации и представления на государственные испытания. Результаты за-

водских испытаний вносят в протокол, составленный по форме (согласно нормам Н-2026-55), или в протокол государственных испытаний сельскохозяйственных машин.

В целях ускорения создания машин в отдельных случаях допускается представление на государственные испытания образцов машин, прошедших предварительные испытания в том же году, если результаты этих испытаний были положительные и не упущены агротехнические сроки.

Испытания опытных машин предусматривают проверку на всех видах работ, для которых они предназначены, согласно ТЗ и программе испытаний.

На каждом виде работ испытания проводят на типичном и экстремальном фонах.

Под *типичным* следует понимать фон, характеристики которого должны соответствовать или быть близкими паспортным характеристикам типичного хозяйства зоны (по длине гона, расстоянию транспортирования груза, урожайности, твердости и влажности почвы и т.п.).

К *экстремальным* относят фоны, у которых один или несколько показателей имеют значение, установленное в ТЗ, плюс 15% нижнего и минус 15% верхнего значений норматива. Например, если ТЗ установлено значение показателя условия работы в пределах от 4 до 15, то экстремальным следует считать фон со значениями от 4 до 4,6 ( $4 + 0,15 \cdot 4$ ) и от 12,75 до 15 ( $15 - 0,15 \cdot 15$ ). Объем работ на данном фоне должен быть достаточным для проведения эксплуатационно-технологической оценки испытываемого и базового агрегатов, а также для определения показателей качества работы, показателей энергооценки и при необходимости показателей условий труда механизатора. Определение показателей качества работы, энергетических показателей и показателей эксплуатационно-технологической оценки должно проводиться во взаимосвязи.

Объем выработки при предварительных испытаниях должен быть не менее 50% годовой нормы, установленной для типоразмера испытываемой машины. Например, объем работы, выполняемой сельскохозяйственными машинами при проведении заводских испытаний, должен быть не менее следующих величин:



Плуги общего назначения .....	0,5 га на 1 см захвата
Бороны зубовые (луговые) .....	50 ч работы на минеральной почве, 100 ч на болотистой
Бороны дисковые .....	20 га на 1 м захвата
Культиваторы .....	25 га на 1 м захвата
Сеялки зерновые .....	15 га на 1 м захвата
Сеялки свекловичные и овощные .....	10 га на 1 м захвата
Катки для прикатывания почвы .....	50 га на 1 м захвата
Картофелесажалки .....	8 га на 1 сошник (ряд)
Зерноуборочные комбайны .....	35 га на 1 м захвата
Жатки бобовых культур .....	20 га на 1 м захвата
Стогометы и стогообразователи .....	750 т
Кукурузоуборочные машины .....	15 га на 1 русло
Силосоуборочные комбайны .....	300 т силосной массы на 1 м захвата
Машины зерноочистительные .....	100 ч чистой работы
Косилки тракторные .....	25 га на 1 м захвата
Грабли тракторные (боковые или поперечные) .....	25 га на 1 м захвата
Подборщики-копнители тракторные .....	150 га на машину
Пресс-подборщики тракторные производительностью в т /ч:	
до 5 .....	150 га на машину
до 10 .....	250 га на машину
Льнотеребилки .....	20 га на машину
Льномолотилки .....	100 га на машину
Льноуборочные комбайны .....	25 га на машину
Картофелеуборочные комбайны .....	15 га на 1 ряд
Картофелесортировальные пункты .....	400 т на машину
Опыливатели и опрыскиватели .....	15 га на 1 м захвата
Тракторные прицепы и навесные платформы .....	350 т на 1 т грузоподъемности
Погрузочно-разгрузочные машины прерывного действия .....	1000 т на 1 т грузоподъемности
Погрузочно-разгрузочные машины непрерывного действия .....	50 ч чистой работы

Выполнение объема предварительных испытаний требует значительного времени, поэтому для проведения их в установленные агротехнические сроки целесообразно при необходимости переносить

испытания в другое место с более поздними сроками полевых работ, а для машин, качество работы которых не зависит от установленных агротехнических сроков, целесообразно часть установленного объема испытаний выполнять ускоренными методами.

Результаты полевых испытаний могут существенно отличаться от лабораторных, стендовых и тем более от инженерных расчетов. Недостаток полевых испытаний состоит в том, что их условия слабо поддаются регулированию, поэтому и полученные результаты трудно объяснить. К тому же точность измерений в полевых условиях получается значительно ниже, чем в лаборатории.

### **1.2.3.1. Лабораторно-полевые испытания**

Целью лабораторно-полевых испытаний является определение показателей качества работы машины в виде агрозоотехнической оценки, а также эксплуатационно-технологической и энергетической оценок.

#### *Выбор, подготовка полевых участков и материалов для предварительных испытаний*

Для испытания машины в хозяйственных условиях участки по рельефу, возделываемой культуре, почвенно-ботанической характеристике и агрономическим срокам выполняемых работ должны быть типичными для зоны, в которой будет работать испытываемая машина.

Участок или материал для лабораторно-полевых испытаний проверяемой машины выбирают в соответствии с существующими ГОСТами или методиками испытаний машин, применяемыми государственными машиноиспытательными станциями.

Участок для лабораторно-полевых испытаний машин должен удовлетворять следующим основным требованиям:

1) микро- и макрорельеф участка должен быть ровным; уклоны не более 2° (3,5%);

2) почва должна быть однородной и соответствовать типу почвообрабатывающих машин, для уборочных машин должны быть характерными урожайность, густота и высота растений;

3) прямолинейность рядков, равномерность ширины междурядий и согласованность ширины захвата сеялки и культиватора должны соответствовать требованиям механизированной обработки пропашных культур;

4) участок должен быть однородным по основной и дополнительной обработке (для почвообрабатывающих машин), не иметь сорняков, а при наличии сорняков распределение их по густоте травостоя и видимому составу должно быть равномерным.

Тяговые испытания следовало бы проводить на горизонтальном участке поля (уклон не более 0,1%) с ровным микрорельефом. Однако найти такой участок довольно трудно, поэтому принято проводить тяговые испытания на участке с продольным уклоном до 0,5% (0,3°) с езками для каждого опыта «туда» и «обратно», что усредняет погрешность за счет изменения величины сопротивления перекачиванию агрегата при движении вверх и вниз по уклону. Уклон в 0,5%, т.е. 0,5 м на 100 м пути, уже замечен на глаз и существенно влияет на сопротивление перекачиванию трактора. Легко подсчитать, что сопротивление перекачиванию вверх и вниз по уклону в 0,5% изменяется до 5%.

Для выбранного участка составляют: почвенную характеристику (тип почвы, влажность, плотность в горизонтах 0–30 см в интервалах через 5 см, рельеф и микрорельеф); агрономическую характеристику (предшествующая культура, время и глубина обработки, время и качество посева, метеорологические данные); характеристику возделываемой на участке культуры (сорт, стадия спелости, высота растений, количество растений на 1 м<sup>2</sup>, количество растений в одном гнезде, ширина междурядий, полеглость или пониклость растений, урожайность зерна или корней и растительной массы, влажность зерна и растительной массы, засоренность участка); характеристику сорняков и их примерный ботанический состав.

Характеризуя состояние поля, кроме определения его вида, следует указать предшествующую культуру и предшествующую обработку в предыдущем и текущем годах, а также имеющийся растительный покров, так как это в значительной мере определяет плотность почвы и сопротивление ее горизонтальному сдвигу. Весьма существенным в этом отношении является также тип почвы, характеризующий ее механическим составом и содержанием в ней гумуса.

Для характеристики почвы определяют ее тип, агрегатный состав, влажность, твердость, плотность.

При определении этих показателей применяют: почвенные твердомеры, плотномеры, сушильные шкафы, весы аналитические, наборы решет и другие вспомогательные средства.

При определении влажности до взвешивания навески почвы, семена, растения и другие материалы должны быть подготовлены в соответствии с ГОСТ 20915 «Методы определения условий испытаний».

Влажность  $W$  семян, растений и материалов (%) определяют по формулам;

а) при сушке в один прием

$$W = \frac{a'}{c'} 100,$$

где  $a'$  – масса испарившейся при сушке воды, г;  $c'$  – масса сырой навески семян (материала), г;

б) при сушке в два приема

$$W = \left( 20 - \frac{Aa''}{5} \right) \frac{100}{20},$$

где  $A$  – масса 20-граммовой навески измельченных семян после предварительного подсушивания;  $a''$  – масса 5-граммовой навески измельченных семян после повторного подсушивания.

Для определения влажности растений и других материалов допускается применять экспресс-методы с помощью влагомеров, позволяющих определить влажность с погрешностью не более 1 % при влажности до 18 % и с погрешностью не более  $\pm 2$  % при влажности свыше 18 %.

Испытания следует проводить при оптимальной влажности почвы, когда рабочие органы сельскохозяйственных орудий залипают незначительно и тяговое сопротивление почти постоянно. Наиболее благоприятна для работы машин влажность 17–18%.

Влажность почвы  $W$  определяют как отношение

$$W = \frac{g_1 - g_2}{g_2} 100\%,$$

где  $g_1$  – масса пробы влажной почвы;  $g_2$  – масса пробы почвы после высушивания до постоянного веса.

Пробы почвы на влажность при испытаниях агрегатов (тракторов) берут почвенным буром на глубине 5, 10 и 15 см в трех точках, равномерно расположенных по участку испытаний. Влажность на глубине 15 см в достаточной мере характеризует условия работы почвозацепов трактора. Пробы берут один раз в день, обычно в середине рабочего дня, так как опыт показывает, что на глубине более 3 см в течение одного дня влажность изменяется незначительно.

Стандартные банки (бюксы) для взятия проб почвы делают из дюралюминия. Обычно банка имеет высоту 40 мм, диаметр 35 мм, толщину стенок 1 мм и массу не более 20 г.

Каждая банка с крышкой должна быть взвешена и занумерована. При взятии проб в журнал заносят дату, место и глубину взятия пробы, номер банки. Для доставки в лабораторию банки укладывают в ящик с двойными стенками, пространство между которыми заполнено теплоизоляционным материалом. В таком термосе в помещении или в тени пробы сохраняют влажность несколько часов.

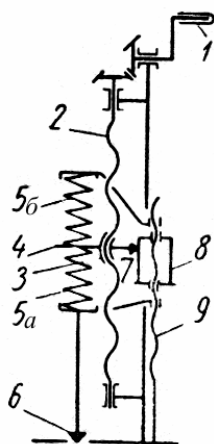


Рис. 1.4. Почвенный плотномер (ВИСХОМ):  
1 – ручка; 2 – винт;  
3 – гайка; 4 – опора;  
5 (а и б) – пружины;  
6 – плунжер; 7 – перо;  
8 – барабан; 9 – винт привода барабана

Плотность почвы на различной глубине определяют плотномером. Существует несколько конструкций регистрирующих почвенных плотномеров (рис. 1.4). Работа их основана на регистрации усилия вдавливания в почву штока с коническим или шаровым наконечником, размеры которого установлены стандартом: угол заострения наконечника должен быть  $22^{\circ}30'$ , площадь сечения наконечника для плотных почв  $100 \text{ мм}^2$ . Для мягких почв применяется конический или шаровой наконечник сечением 2 или  $280 \text{ мм}^2$ .

Твердость  $P$  почвы определяют по формуле

$$P = hg/f,$$

где  $h$  – средняя ордината диаграммы, записанной плотномером для рассматриваемого слоя почвы, см;  $g$  – масштаб пружины, Н/см;  $f$  – площадь поперечного сечения наконечника штока плотномера,  $\text{мм}^2$ .

Диапазоны измеряемых усилий изменяют сменой пружин. Наибольшая глубина погружения плунжера 300 мм. Отношение перемещений ленты и плунжера равно 1 : 3.

При определении твердости почвы производят не менее 15 измерений равномерно по площади опытной делянки. При обработке диаграмм определяют среднюю ординату для слоев толщиной 0 – 5; 5 – 10; 10 – 15 см.

Доставленные в лабораторию пробы немедленно взвешивают, после чего время их просушки может не регламентироваться. Пробы сушат при температуре 105°C в сушильном шкафу до достижения постоянного веса. В процессе сушки пробу периодически взвешивают (первый раз через 3 – 4 ч, затем через каждый час) на технических весах с точностью до 0,1 г.

При работе с плотномером следует обращать внимание на правильность записи диаграммы. Наличие горизонтальной линии в начале диаграммы, совпадающей с осью абсцисс, означает, что пружина имеет предварительную затяжку либо обладает излишне высокой жесткостью, или имеется свободный ход у штока плотномера до соприкосновения его с почвой. Если имеется горизонталь в конце диаграммы, которая проходит по верхней границе бланка, то жесткость пружины мала; пружина в этом случае сжимается полностью до достижения заданной глубины наконечником штока плотномера.

Перед началом записи диаграммы плотности на каждом бланке проводят нулевую ординату (сжимая пружину стоящего на твердом полу и прижатого к нему плотномера) и нулевую абсциссу (проворачивая барабан поднятого в воздух плотномера).

Плотность почвы  $Q$  (г/см<sup>3</sup>) следует определять по формуле

$$Q = \frac{b}{V},$$

где  $b$  – масса абсолютно сухой почвы (со всего бура), г;  $V$  – объем образца взятой почвы, см<sup>3</sup>.

Для стационарных машин (зерноочистительные машины, сушиллки, погрузчики, измельчители кормов и др.) дается характеристика материала, подлежащего обработке. Она включает вид, сорт, объемный вес, влажность, фракционный состав и другие данные, необходимые для оценки работы машины.

Определение характеристик обрабатываемого материала или культуры включает определение влажности семян, растений и других материалов по методам ГОСТ 12041 «Семена сельскохозяйственных культур. Метод определения влажности».

Определение засоренности семян сорной растительностью, органическими, минеральными примесями должно проводиться по методам ГОСТ 12036 и ГОСТ 12037.

Засоренность семян зерновых, зернобобовых, сахарной свеклы, кормовых и других культур следует определять по соответствующим стандартам на каждую культуру.

Все результаты измерений заносятся в специальные формы, предусмотренные ГОСТ 20915.

### **1.2.3.2. Агротехническая оценка**

Одним из важных требований, предъявляемых к сельскохозяйственным машинам для механизации растениеводства, является обеспечение высокого, регламентированного ТЗ качества выполнения технологического процесса. Поэтому достоверные показатели агротехнической эффективности испытываемых машин являются определяющими для обоснования рекомендаций по результатам испытаний.

Качество выполнения технологических процессов определяется путем проведения лабораторно-полевых испытаний. Для проведения лабораторно-полевых испытаний выбирается фон, отвечающий ТЗ или ТУ. До проведения опытов при испытаниях машину регулируют в соответствии с рекомендациями руководства по эксплуатации для оптимизации режима работы.

Показатели определяют на зачетном гоне при движении сельскохозяйственных машин и орудий в прямом и обратном направлениях. Повторность опытов трехкратная. Время одного опыта при установившемся движении должно быть не менее 15 с.

Длина зачетных проходов для почвообрабатывающих машин принимается 30 м, уборочных – 50 м, транспортных – 100 м; длина интервалов между зачетными гонами для транспортных машин – 50 м, для остальных – 15 – 20 м.

Мощность  $N_t$  на преодоление тягового сопротивления прицепных машин и орудий определяется тяговым динамометрированием

ем с помощью динамометрической тележки или специально оборудованного трактора.

Мощность на привод рабочих органов, а для самоходных машин и на самоперекачивание, определяется с помощью передвижной тензоизмерительной лаборатории.

Мощность, необходимая на преодоление тягового сопротивления, определяется по формуле

$$N_{\delta} = Rv,$$

где  $R$  – тяговое сопротивление, Н;  $v$  – рабочая скорость, определенная как частное от деления пути на продолжительность опыта, м/с.

Мощность на привод рабочих органов определяют для холостого хода и при работе на каждом из режимов нагрузки машины.

Для характеристики машины по полученным данным находят удельную энергоемкость – мощность, отнесенную к единице ширины захвата (для машин, не производящих обработку продукта, например, лущильников, сеялок, жаток, косилок), или мощность, отнесенную к часовой или секундной подаче исходного материала (для молотилок, комбайнов различного назначения, зерноочистительных машин, сушилок).

Агротехническая оценка сельскохозяйственных машин необходима для сравнительного определения всей совокупности показателей, характеризующих качество выполнения технологического процесса новой техникой.

Агротехническую оценку проводят на типичных фонах, в оптимальные для зоны сроки. Машины с новыми рабочими органами дополнительно испытывают в экстремальных условиях (например, активные рабочие органы культиваторов – при рыхлении прикатанной почвы; двухножевые режущие аппараты – при скашивании полеглых стеблей).

### **Агротехническая оценка машин и орудий для обработки почвы**

Оценка показателей качества выполнения технологического процесса плугов и глубокорыхлителей проводится по методам РД 10.4.1 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для глубокой обработки почвы. Программа и методы испытаний», культиваторов для сплошной обработки почвы, борон, катков, вы-



равнителей, чизельных культиваторов, агрегатов комбинированных почвообрабатывающих и других машин и орудий для предпосевной обработки почвы – по методам РД 10.4.2 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Программа и методы испытаний», а также по ГОСТ 26244 «Обработка почвы предпосевная. Требования к качеству и методы определения».

Агротехническая оценка почвообрабатывающих машин проводится при лабораторно-полевых испытаниях, которые включают выбор фона и определение характеристики условий испытаний, показателей качества работы, выбор режимов работы.

Условия испытаний почвообрабатывающих машин характеризуются следующими параметрами: тип почвы и название по механическому составу, рельеф (уклон); влажность и твердость почвы (по слоям 5, 10, 15, 20, 25 и 30 см); засоренность почвы камнями; характеристика дернового покрова, пожнивных и растительных остатков; предшествующая обработка.

Участок для лабораторно-полевых испытаний почвообрабатывающих машин, орудий выбирают в соответствии с их назначением; он должен обеспечивать возможность выполнения работ, намеченных программой испытаний. Поле следует выбирать однородным по предшествующей обработке, растительному покрову и почве, которая должна быть характерной для зоны. Лабораторно-полевые испытания плугов проводят, как правило, на двух агрофонах: пласт трав и стерня.

При агротехнической оценке определяют наиболее характерные показатели качества работы. Такими показателями машин для глубокой обработки почвы (плуги, щелерезы, кротователи) являются: постоянство ширины захвата и глубины обработки, крошение почвы на различные по величине фракции, полнота подрезания сорных растений и глубина заделки растительных остатков внутрь почвы, гребнистость поверхности поля, перемещение генетических горизонтов поля на солонцовых почвах.

При опытах измеряются: скорость движения, м/с; рабочая ширина захвата, м; глубина обработки, см; крошение почвы, %; полнота заделки растительной и пожнивной массы, %; глубина заделки растительной и пожнивной массы, см; гребнистость поверхности поля

(высота гребней), см; плотность почвы, г/см<sup>3</sup>; высота гребня на поверхности дна борозды, см; путь заглубления (для каменистых почв), м; угол оборота пласта, град.

Качество работы машин и орудий для поверхностной обработки почвы характеризуется устойчивостью глубины хода их рабочих органов, вспушенностью обработанной поверхности, гребнистостью поверхности почвы, степенью рыхления (крошения почвы), подрезания сорняков, повреждения культурных растений, залипания и забивания рабочих органов.

При лушении стерни оценивают заделку пожнивных остатков, выровненность почвы, вынос влажного слоя почвы на поверхность, изменение количества эрозионных неровностей (лунок, щелей, гребней, перемычек, валиков и т.д.).

Общие показатели по машинам и орудиям для предпосевной подготовки почвы: скорость движения, м/с; рабочая ширина захвата, м; глубина обработки, см; крошение почвы, %; гребнистость поверхности поля (высота гребней), см; подрезание (уничтожение) сорных растений, %.

Кроме того, по дисковым лушительникам и боронам определяют: измельчение пожнивных остатков (для крупностебельных культур), %; заделку пожнивных остатков (для крупностебельных культур), %.

### **Агротехническая оценка посевных машин**

Руководящий документ РД 10.5.1 распространяется на испытания всех типов посевных машин и приспособлений к ним для посева зерновых, зернобобовых культур, семян льна, конопли, трав, овощных и бахчевых культур, сахарной свеклы, подсолнечника, кукурузы, хлопчатника, клещевины, арахиса, сои, сорго, а также комбинированных посевных машин для посева вышеперечисленных культур с одновременным внесением минеральных удобрений.

Определение качественных показателей сеялок проводят при стендовых испытаниях (определение качественных показателей высевающих аппаратов) и при лабораторно-полевых испытаниях (определение качественных показателей сошников). Определение этих показателей у сеялок различных типов существенных различий не имеет.

Условия испытаний при определении показателей агротехнической оценки посевных машин имеют следующие основные характеристики:

а) характеристика высеваемой культуры: наименование культуры; чистота семян, %; всхожесть и посевная годность семян, %; влажность семян, %; масса 1000 штук семян, г; наличие и характеристика предпосевной обработки семян;

б) характеристика поля (участка): тип почвы; влажность почвы, %; твердость почвы, МПа; агрегатный (гранулометрический) состав почвы, %; глубина взрыхленного слоя, см; предшествующая обработка; наличие пожнивных и сорных остатков в почве;

в) характеристика метеоусловий: температура воздуха, °С; влажность воздуха, %; скорость ветра, м/с.

Наиболее характерными показателями условий, влияющих на качество выполнения технологического процесса посевных машин, являются характеристика семян, влажность и твердость почвы, ее агрегатный состав и наличие пожнивных и сорных остатков.

При лабораторно-полевых испытаниях определяются:

1. Норма высева семян, кг/га, шт/м, тыс.шт./га.

Регулировочные параметры (устанавливаются по стендовым испытаниям).

Массу семян, высеянных всеми аппаратами, определяют путем взвешивания с погрешностью не более  $\pm 1$  г и вычисляют фактическую норму высева  $Q_{\phi}$ , кг/га:

$$Q_{\phi} = 10^4 \frac{\sum q_i}{BL},$$

где  $\sum q_i$  – масса семян, высеянных всеми аппаратами в  $i$ -й повторности, кг;  $B$  – ширина захвата сеялки, м;  $L$  – длина участка, м.

Для сеялок точного высева и пунктирных фактическая норма высева  $Q_m$ , шт./м:

$$Q_m = 10^6 \frac{\sum q_i}{ALn_p};$$

$$\text{в килограммах } Q'_m = 10 \frac{Q_m A}{B}.$$

2. Глубина заделки семян, мм (определяется: 1 – методом непосредственного нахождения семян в почве в день посева; 2 – методом послойного снятия почвы специальным прибором; 3 – методом замера этиолированной части всходов).

3. Количество семян, заделанных в слое, предусмотренном исходными требованиями, % (определяется по результатам измерений глубины заделки семян).

4. Количество семян, не заделанных в почву, шт./м<sup>2</sup>.

5. Глубина заделки удобрений, мм (определяется методом послойного снятия почвы).

6. Величина почвенной прослойки между семенами и удобрениями, мм.

7. Высота гребней после прохождения сеялки, см.

8. Динамика появления всходов. (Наблюдения за появлением всходов ведутся до тех пор, пока количество растений на учетных делянках в течение двух–трех дней повторяется). Данные подсчетов используются для расчета относительной полевой всхожести.

9. Относительная полевая всхожесть  $\Pi_B$ :

$$\Pi_B = 10^2 \frac{n_B}{n_{c.B}},$$

где  $n_B$  – число взошедших семян, шт./м<sup>2</sup> (шт./м);  $n_{c.B}$  – число высеванных всхожих семян, шт./м<sup>2</sup> (шт./м).

Число высеванных всхожих семян определяют по формуле

$$n_{c.B} = \frac{Q'_M a'}{A},$$

где  $a'$  – посевная годность семян, %.

По сахарной свекле число клубочков  $n_{c.B}$ , шт./м, определяют:

$$n_{c.B} = \frac{n_{общ}}{P_{к.р}},$$

где  $n_{общ}$  – общее число всходов (включая и погибшие растения), шт/м;  $P_{к.р}$  – ростковость (сумма ростков на сто клубочков при определении лабораторной всхожести).

10. Сохранение стерни, % (для сеялок прямого посева).

11. Массовая доля эрозионно опасных частиц менее 1 мм в слое почвы 0–5 см, % (противоэрозионные сеялки, см. РД 10.4.2, определяется увеличение или уменьшение).

12. Уничтожение сорных растений при культивации паров (сеялки-культиваторы).

13. Уплотнение почвы в зоне расположения семян (удобрений), г/см<sup>3</sup>.

14. Ширина ленты, полосы, ряда посева (для ленточного посева), мм.

15. Распределение семян в рядке, %.

16. Ширина основных междурядий, см.

17. Характеристика гряд, гребней и распределение семян в гнездах (для посева на гребнях и в грядах).

18. Урожайность, т/га. Опыты на урожайность закладывают при посеве в сравнении с сеялкой-аналогом на оптимальной скорости не менее чем в трехкратной повторности.

Показатели качества выполнения технологического процесса после математической обработки заносят в специальные ведомости-формы в соответствии с РД 10.5.1.

Полученные показатели по испытываемой машине сопоставляются с нормативными требованиями и сравниваются с показателями машины-аналога.

По сравниваемым машинам анализируются следующие основные показатели качества выполнения технологического процесса: рабочая ширина; высевающая способность сеялки; неравномерность высева семян (удобрений) между отдельными аппаратами; неустойчивость общего высева семян (удобрений); глубина заделки семян; количество семян, заделанных в заданном слое; число семян, не заделанных в почву; относительная посевная всхожесть.

### **Агротехническая оценка зерноуборочных машин**

Оценка показателей качества выполнения технологического процесса производится по методам ОСТ 70.8.1 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины зерноуборочные. Программа и методы испытаний».

При агротехнической оценке зерноуборочных машин определяют: ширину захвата, высоту среза, толщину и ширину вала, потери зерна в срезанных и несрезанных колосках, потери *свободным* зерном, производительность комбайна за 1 ч основного времени при уровне потерь за молотилкой 1,5%, пропускную способность молотилки при отношении масс зерна и соломы  $Z:C = 1:1,5$ ; чистоту бункерного зерна, микроповреждения зерен, потери в щели комбайна и т.д.

Дробление зерна должно быть не более 2%. Содержание сорной примеси в зерновой массе бункера должно быть не более 2%.

Определение потерь за молотилкой зерноуборочного комбайна можно механизировать, собирая массу соломы из копнителя на брезент и повторно обмолачивая ее специально отрегулированным комбайном.

На оценку уборочных машин большое влияние оказывает характеристика и состояние сельскохозяйственной культуры. Спелость культуры определяют по преобладающей группе зерен. Например, если группа зерен восковой спелости составляет 70 %, полной – 10% и молочно-восковой – 20%, то считают, что данная культура находится в фазе восковой спелости.

*Характеристика культуры перед прямым комбайнированием и скашиванием в валки:*

- сорт культуры;
- способ уборки;
- спелость культуры, %:

$$C = 10^2 \frac{n_i}{n},$$

где  $n_i$  – количество зерен данной группы в партии, шт.;  $n$  – общее количество зерен в партии, шт. (вычисления производятся до целого числа);

- высота растений, см:

$$\bar{l} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i,$$

где  $l_i$  – высота отдельных растений, см;  $n$  – количество измерений.

– полеглость растений, %:

$$\Pi = 100 \frac{\bar{l}}{l_2},$$

где  $l$  – средняя высота растений, см;  $\bar{l}_2$  – среднее расстояние от поверхности почвы до вершины склонившегося колоса, см;

$$\bar{l}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_{2i},$$

где  $l_{2i}$  – расстояние от поверхности почвы до вершины склонившегося колоса отдельных растений, см;  $n$  – количество измерений;

– распределение колосьев по высоте, %:

$$P = 10^2 \frac{P_i}{n},$$

где  $P_i$  – количество колосьев в  $i$ -й группе, шт.;  $n$  – суммарное количество растений, срезанных с десяти площадок, шт.;

– засоренность культуры над фактической высотой среза (по массе), %;

– потери зерна от самоосыпания, г:

$$\bar{q}_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_{ci},$$

где  $q_{ci}$  – масса зерна, собранного с  $i$ -й учетной площадки, г;  
 $n$  – количество учетных площадок;

– отношение массы зерна к массе соломы;

– влажность зерна, %;

– влажность соломы, %;

– урожайность зерна, ц/га;

– масса 1000 шт. зерен, г.

При агротехнической оценке применяют влагомеры, секундомер, конусную молотилку, весы, линейку, решета и т.д.

Большое влияние на достоверность агротехнических показателей оказывает правильное определение объема выборки: число опытов (проб), повторностей опыта и т.д. Для определения высоты и полеглости стеблей, потерь от самоосыпания зерен используются

рамки размером 50×50 см (зерновые культуры) или 100×100 см (бобовые).

*Показатели качества работы жатки комбайна:*

– ширина захвата, м:

$$B_{\text{ж}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_i,$$

где  $B_i$  – ширина захвата (определяется в 50 точках, расположенных через 1–3 м по ходу агрегата на каждой учетной делянке);

– потери зерна за жаткой, %:

а) потери за жаткой свободным зерном, %:

$$\Delta q_{\text{сз}} = \frac{10q_{\text{сз}}}{S_2 Y_3} - \frac{10q_{\text{с}}}{S_2 Y_3},$$

где  $q_{\text{сз}}$  – потери свободного зерна, г;  $q_{\text{с}}$  – потери зерна от самоосыпания, г;  $Y_3$  – урожайность зерна, ц/га:

$$Y_3 = \frac{G_3 Z_{\text{м}}}{LB_{\text{ж}}} + \frac{q_{\text{нк}}}{10S_1} + \frac{q_{\text{ск}}}{10S_1} + \frac{q_{\text{сз}}}{10S_2},$$

где  $G_3$  – масса зерна в бункере, кг;  $Z_{\text{м}}$  – содержание основного зерна и зерновой примеси в зерне из бункера, %;  $L$  – длина учетной делянки, с которой собрано зерно в бункер, м;  $q_{\text{нк}}$  – потери зерна в несрезанных колосьях, г;  $q_{\text{ск}}$  – потери зерна в срезанных колосьях, г;  $q_{\text{сз}}$  – потери свободного зерна, г;  $S_1$  – площадь рамки для учета потерь зерна в срезанных и несрезанных колосьях, м<sup>2</sup>;  $S_2$  – площадь рамки для учета потерь свободным зерном, м<sup>2</sup>;

б) потери за жаткой зерна в срезанных колосьях, %:

$$\Delta q_{\text{ск}} = \frac{10q_{\text{ск}}}{S_1 Y_3};$$

в) потери за жаткой зерна в несрезанных колосьях, %,

$$\Delta q_{\text{нк}} = \frac{10q_{\text{нк}}}{S_1 Y_3};$$

г) суммарные потери зерна за жаткой, %.

$$\Delta q' = \Delta q_{\text{сз}} + \Delta q_{\text{ск}} + \Delta q_{\text{нк}};$$



– высота среза, см:

$$\bar{h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i,$$

где  $\bar{h}$  – среднее значение, см;  $h_i$  – текущее значение;  $n$  – количество измерений;

среднеквадратическое отклонение, см:

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2};$$

коэффициент вариации, %:

$$V = \frac{\sigma_h}{\bar{h}} 100.$$

*Качество работы молотилки комбайна:*

– пропускная способность молотилки при отношении массы зерна к массе соломы 1:1,5 и уровне потерь 1,5 %, кг/с. Отношение массы зерна к массе соломы:

$$v = 1 : \frac{G_c + G_n}{G_\varphi},$$

где  $G_c$  – масса соломы, кг;  $G_n$  – масса половы, кг;  $G_\varphi$  – масса зерна, кг;

– урожайность зерна на учетной делянке при повторности опыта, ц/га:

$$\dot{O}_\varphi = \frac{G_\varphi C_1 + 0,1q\eta}{LB_\alpha},$$

где  $C_1$  – содержание основного зерна и зерновой примеси в бункере, %;

$$\eta_i = \eta = \frac{q + q_1}{q},$$

где  $\eta$  – коэффициент тарировки лабораторной молотилки;  $q$  – масса потерь при первом обмолоте пробы на лабораторной молотилке;  $q_1$  – масса потерь при повторном обмолоте пробы на лабораторной молотилке;

– подача фактическая, кг/с:

$$\Pi_{\phi} = \frac{G_c + G_{\Pi} + G_3}{t},$$

где  $t$  – время прохождения учетной деланки, с;

– подача приведенная, кг/с:

$$\Pi_{\Pi} = 1,67 \frac{G_c + G_{\Pi}}{t}.$$

*Производительность комбайна в час основного времени при уровне потерь зерна за молотилкой 1,5% на подборе валков, т/ч:*

$$W = 3,6 \frac{G_3 Z_M}{t};$$

– потери зерна за молотилкой, г:

$$q_M = q_{nc} + q_{nn} + q_{cc} + q_{cn},$$

где  $q_{nc}$  – потери зерна недомолотом в соломе (за соломотрясом), г;

$q_{nn}$  – потери зерна недомолотом в полове (за очисткой), г;

$q_{cc}$  – потери свободным зерном в соломе, г;  $q_{cn}$  – потери свободным зерном в полове, г;

– потери зерна недомолотом в соломе (за соломотрясом), %:

$$\Delta q_{i\bar{n}} = \frac{100\eta_i q_{i\bar{n}}}{10G_{\phi}C_{\phi} + q_i \eta_i},$$

где  $\eta_M$  – коэффициент тарировки молотилки;

– потери зерна недомолотом в полове (за очисткой), %:

$$\Delta q_{i\bar{i}} = \frac{100\eta_i q_{i\bar{i}}}{10G_{\phi}C_{\phi} + q_i \eta_i};$$

– потери свободным зерном в соломе, %:

$$\Delta q_{\bar{n}\bar{n}} = \frac{100\eta_i q_{\bar{n}\bar{n}}}{10G_{\phi}C_{\phi} + q_i \eta_i};$$

– потери свободным зерном в полове, %:

$$\Delta q_{\bar{n}\bar{i}} = \frac{100\eta_i q_{\bar{n}\bar{i}}}{10G_{\phi}C_{\phi} + q_i \eta_i}.$$

– потери зерна в щели комбайна, установленного на брезентовое полотно, %:

$$\Delta q_{\text{ш}} = \frac{100q_{\text{ш}}}{10G_{\text{с}}C_{\text{ш}} + q_{\text{ш}} + q_{\text{ш}} \eta_{\text{ш}}};$$

где  $q_{\text{ш}}$  – потери зерна в щели комбайна, г;

– потери зерна распылом (распылением при дроблении), %:

$$\Delta q_{\text{др}} = D_{\text{др}}K_{\text{др}}$$

где  $D_{\text{др}}$  – дробление зерна (распыление при дроблении), %;

$K_{\text{др}}$  – коэффициент распыла ( $K_{\text{др}} = 0,2-0,3$ );

– суммарные потери зерна за молотилкой, %:

$$\Delta q = \Delta q_{\text{ис}} + \Delta q_{\text{ин}} + \Delta q_{\text{св}} + \Delta q_{\text{сн}} + \Delta q_{\text{др}} + \Delta q_{\text{ш}};$$

– подача соломы на соломотряс, кг/с:

$$\Pi_{\text{с}} = \frac{G_{\text{с}}}{t};$$

– подача вороха на очистку, кг/с:

$$\Pi_{\text{в}} = \frac{G_{\text{п}} + G_{\text{з}}}{t};$$

– содержание сорной примеси в зерне из бункера, %;

– дробление зерна, %;

– обрушивание зерна (для пленчатых культур), %;

– микроповреждение зародыша зерна, %;

– скорость движения, км/ч:

$$v = 3,6 \frac{L}{t}.$$

Показатели качества выполнения технологического процесса после математической обработки заносят в ведомости-формы в соответствии с ОСТ 70.8.1.

По сравниваемым машинам анализируют значения показателей, основными из которых являются: потери за жаткой; потери за молотилкой; пропускная способность; производительность за час основного времени; содержание сорной примеси в зерне из бункера.

Чистота зерна в бункере при нормальных условиях уборки должна быть около 95–98 %. Далее анализируют микроповреждения с помощью лупы десятикратного увеличения.

Основные энергетические показатели комбайна (скорость движения, тяговое сопротивление, крутящие моменты и пр.) оценивают тензометрическим методом на различных режимах работы.

Основные показатели качества работы этой группы машин – ширина захвата, энергетические показатели (скорость движения, тяговое сопротивление, потребная мощность на привод и пр.), высота среза травы, потери сена (соломы), производительность (т/ч или га/ч), размеры, масса, плотность и прочность формируемых валков (копен, стогов, тюков), загрязненность убираемой массы землей.

Производительность машины определяют по массе убранной соломы (сена) в единицу времени (т/ч):

$$Q=3,6G/t,$$

где  $G$  – масса сена (соломы), кг;  $t$  – время опыта (средняя продолжительность рабочего цикла), с, либо по убранной площади в единицу времени:

$$W=0,36 B v_m,$$

где  $B$  – фактическая ширина захвата машины, м;  $v_m$  – скорость движения машины, м/с.

Качество вязки тюков пресс-подборщиками оценивают вручную путем пятикратного бросания с высоты 2 м десяти тюков на каждой учтенной делянке. Деформированные тюки взвешивают и выражают в процентах к массе всех тюков.

Загрязненность почвой убираемой массы учитывают отбором трех проб массой не менее 5 кг.

Выделенную почву взвешивают с точностью до 1 г и подсчитывают процентный состав.

### **Агротехническая оценка зерноочистительных машин**

Зерноочистительные машины при испытании оценивают по качеству очистки семян от примесей, сорняков, по устойчивости режима работы и по производительности.

Качество работы машины определяется:

1) из сопоставления состава и механических свойств конечного продукта с составом и свойствами исходного.

2) из учета количества и качества семян основной культуры, выделившихся в отходах.

О качестве конечного продукта, получаемого после обработки на машине, судят по чистоте (т. е. составу) и соответствию чистоты агрономическим или торговым требованиям. Например, по посевным качествам семена делятся на три класса: 1-й класс – чистота 99,0%; 2-й класс – чистота 98, 5%; 3-й класс – чистота 97,0%.

Общие свойства семян могут быть охарактеризованы средней индивидуальной массой 1000 зерен, средним размером (длина, ширина, толщина), натурой (масса единицы объема).

При оценке машин путем сопоставления конечного продукта с исходным учитываются такие показатели, как чистота (% семян основной культуры), отход основной культуры в примеси (%), число семян других растений в 1 кг (шт.), число семян сорных растений в 1 кг (шт.), всхожесть семян (%).

Качественный эффект работы машин зависит от полноты и равномерности загрузки, режима работы воздушного потока и решет, подбора и установки решет, очистки их от застрявших зерен, подбора и установки ячеистой поверхности, установки разделительных клапанов и других факторов. Поэтому испытания машин проводят при различных значениях перечисленных факторов.

Производительность машины определяется наибольшим количеством исходного материала, загружаемого в машину в единицу времени, обеспечивающим высокий качественный эффект. Качественный эффект (производительность) выявляется: 1) при загрузке, указанной заводом; 2) при загрузке на 25 % меньше от указанной заводом; 3) при загрузке, большей заводской на 25 %.

### **Испытание специальных уборочных машин**

Работа силосоуборочных, кукурузоуборочных, картофелеуборочных и свеклоуборочных машин оценивается такими показателями:

- *качество измельчения стеблей* определяют методом разбора 3–5 проб массой не менее 0,5 кг каждая. Разбор сводится к замеру частиц по длине;

- *полнота измельчения стеблей (%)* – отношение массы основной длины резки (по агротехтребованию) к массе всей навески, умноженное на 100 %;

– *степень очистки початков (%)* от оберток устанавливают отношением массы початков, очищенных полностью (не более двух листьев) и частично (не более 5 листьев), к общей массе, умноженным на 100 %.

Потери (%) за *силосоуборочными комбайнами* получаются за счет увеличенной высоты среза, несрезанных стеблей и разброса измельченной листостебельной массы.

Потери за *кукурузоуборочными комбайнами* складываются из потерь початков, упавших на землю, и на несрезанных стеблях и потерь свободным зерном, просыпавшимся на землю и в силосную массу.

Зерна, просыпавшиеся на землю, собирают с делянки длиной 1 м и шириной, равной ширине захвата комбайна. Количество зерен в силосной массе устанавливают разбором 5 кг пробы с последующим определением массы отобранных зерен. Все остальные потери учитывают на делянке длиной 20 м и шириной, равной ширине захвата комбайна.

Глубина хода лемеха (см) *картофелеуборочных машин* есть среднее значение глубины залегания нижнего клубня плюс  $3\sigma$ , где  $\sigma$  – отклонение допуска. При этом резаных клубней не должно быть.

Ширина разбрасывания клубней картофеля в валках (см) есть средняя расстояний между крайними клубнями в 30 точках с интервалом 0,5 м на учетной делянке длиной не менее 20 м.

Учет полноты выкопки корнеплодов (%) ведется на пяти контрольных площадках шириной, равной ширине захвата агрегата, и длиной по 20 м каждая. На площадках подсчитывают общее количество корней до уборки и количество неподкопанных и невыбранных. Количество неподкопанных корней не должно превышать 1,5%, а невыбранных – 2%.

Количество, характер повреждений и засоренность корнеплодов проверяются в корзинах, контейнерах или ящиках у весов. Для этого отбирают и отдельно взвешивают примеси и чистые клубни, с отделением из последних поврежденных (забоины, царапины) и резаных корнеплодов. Процент кондиционных клубней не должен быть ниже 90–95 %, а их засоренность ботвой и землей не должна превышать 5 %.

Качество обрезки корнеплодов (свеклы) проверяют при разборке их в бункере (на полотне) после прохода машины по учетной

делянке длиной 5–10 м. Потери исчисляются в весовом и количественном отношении ко всему урожаю на 1 га.

Методы определения таких показателей качества работы этой группы машин, как ширина захвата (м), высота среза (см), подача (кг/с), энергетические показатели и производительность (т/ч или га/ч), изложены ранее.

Примеры агротехнической оценки разных типов сельскохозяйственной техники свидетельствуют, с одной стороны, о важности указанной оценки для выработки рекомендации по новой технике, а с другой стороны, о сложности и большой трудоемкости указанной оценки.

### **1.2.3.3. Эксплуатационно-технологическая оценка**

Эксплуатационно-технологическую оценку машин проводят в сельскохозяйственных регионах (зонах), для которых они предназначены, с учетом отличительных характеристик зон, условий эксплуатации и правил производства механизированных работ.

Испытания опытных машин предусматривают проверку на всех видах работ, для которых они предназначены согласно ТЗ и программе испытаний.

Опытный образец новой машины, показавший удовлетворительное качество работы при лабораторно-полевых испытаниях, отвечающий агротехническим требованиям, испытывается в хозяйственных условиях. По результатам этих испытаний определяют надежность и долговечность машины и производят ее эксплуатационно-технологическую оценку.

Цель оценки – получение показателей, используемых для технико-экономической оценки машин на соответствие их техническому заданию, техническим условиям и показателям технического уровня.

Нормативно-техническая документация по данному виду оценки машин представлена:

ГОСТ 24055 "Методы эксплуатационно-технологической оценки. Общие положения";

ГОСТ 24056 "Методы эксплуатационно-технологической оценки машин на этапе проектирования";

ГОСТ 24057 "Методы эксплуатационно-технологической оценки машинных комплексов, специализированных и универсальных машин на этапе испытаний";

ГОСТ 24059 "Методы эксплуатационно-технологической оценки транспортных средств на этапе испытаний".

Испытания в хозяйственных условиях проводят на характерных для хозяйства и данной зоны полях и культурах.

В сельском хозяйстве различают эксплуатацию техники нормальную, проводимую главным образом на машиноиспытательных станциях, и рядовую – в колхозах и совхозах. В первом случае тщательно выполняют инструкции по обслуживанию и ведут точный хронометраж времени эксплуатации и ремонта, во втором случае требования инструкций по обслуживанию выполняют недостаточно тщательно.

При подготовке машин к проведению функциональных испытаний должны быть соблюдены следующие требования:

- техническое состояние машин, представленных на испытания, должно отвечать ТЗ (или ТУ) и инструкции по эксплуатации;

- машина должна быть агрегатирована с соответствующими энергетическими средствами, удовлетворять требованиям безопасности и гигиены труда;

- энергетические средства (тракторы, самоходные шасси, двигатели) и электроприводы сельскохозяйственных агрегатов должны соответствовать нормативам, установленным технической документацией на конкретные типы машин;

- до начала испытаний машина должна быть обкатана и отрегулирована в соответствии с инструкцией по эксплуатации;

- техническое и технологическое обслуживание агрегатов следует проводить с использованием персонала и технических средств, предусмотренных инструкцией по эксплуатации.

Сбор информации для эксплуатационно-технологической оценки машин проводят во время контрольных смен и в течение всего периода эксплуатационно-технологических испытаний. В последнем случае имеется в виду получение информации по времени на устранение технических и технологических неисправностей (отказов), а также на проведение наладки и регулировок.



Для получения необходимых при расчетах данных испытаний используют следующие методы:

- фотографию рабочего времени, когда все операции и элементы времени записывают в хронологической последовательности в форму наблюдательного листа;

- фотохронометраж, представляющий собой комбинированное наблюдение, при котором в отдельные периоды проводится сплошная фотография рабочего времени, а в другие – хронометраж.

Допускается данные испытаний получать хронометражными наблюдениями, когда элементы времени регистрируют путем измерения длительности циклически повторяющихся элементов времени, например на повороты, выгрузку (загрузку), агрегатирование и перевод в рабочее и транспортное положение и др. Следует отметить, что к работающим по технологическим циклам машинам относятся такие, у которых время основной работы прерывается какой-либо операцией вспомогательного времени (поворотом, переездом, выгрузкой, загрузкой и т.д.).

В процессе испытаний записывают время работы машины и время, затраченное на различного рода остановки: обслуживание машины в борозде; ожидание транспортных средств; по организационным причинам; по метеорологическим причинам, а также на технический уход до и после работы (смены).

Время основной работы  $T_o$  (в часах) – время работы машины на выполнение технологического процесса (за вычетом времени на остановки и повороты) определяется в течение не менее трех контрольных смен, общей продолжительностью не менее 18 часов сменного времени; время работы машины в загоне (технологическое)  $T_{тех}$  складывается из времени чистой работы, времени на повороты и времени на устранение нарушений технологического процесса (за вычетом времени на устранение поломок и других неисправностей машины); сменное время  $T_{см}$  включает время работы машины в загоне  $T_{тех}$ , время на устранение поломок, деформаций и неисправностей  $T_{10}$  и время на техническое обслуживание  $T_9$ .

Основные эксплуатационно-технологические показатели:

- производительность и качество выполнения рабочей операции;

- удельный расход топлива (электроэнергии);

- количество обслуживавшего персонала;
- коэффициенты, характеризующие затраты времени для рабочих ходов, технологического обслуживания машины, надежности технологического процесса.

В состав эксплуатационного времени работы машины  $T_{эк}$  входит время основной работы  $T_0$ , когда выполняется технологический процесс, и время, необходимое для обеспечения этой работы:

$T_{эк} = T_0 + T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7 + T_8 + T_9 + T_{10}$ ,  
где  $T_1$  – время на повороты машины в конце гона;  $T_2$  – время для технологического регулирования режимов работы (заправка сеялок семенами, удобрениями, разгрузка бункера, установка режущего аппарата по высоте, вынос мотовила и т.д.);  $T_3$  – время на устранение технологических отказов (очистка мотовила от намотавшихся стеблей, режущего аппарата от грязи и т.п.);  $T_4$  – время на холостые переезды внутри одного поля или с поля на поле, из бригады на поле и т.д.;  $T_5$  – время агрегатирования машины с энергосредством, перевода машины в рабочее или транспортное положение;  $T_6$  – регламентированные затраты времени (отдых, получение наряда и т.п.);  $T_7$  – время на ежесменное и ежемесячное техническое обслуживание машины;  $T_8$  – время на переоборудование машины (замена одного режущего аппарата другим и т.д.);  $T_9$  – время на сезонное техническое обслуживание машины;  $T_{10}$  – время на устранение технических отказов по неисправностям.

Технологическое время

$$T_{тех} = T_0 + T_1 + T_2 + T_3.$$

Сменное время

$$T_{см} = T_{тех} + T_4 + T_5 + T_6 + T_7.$$

Эксплуатационное время

$$T_{эк} = T_{см} + T_8 + T_9 + T_{10}.$$

Эксплуатационно-технологические коэффициенты, характеризующие затраты времени:

- коэффициент технологического обслуживания, устанавливающий необходимость дополнительных затрат труда для осуществления рабочего процесса машины:

$$K_2 = \frac{T_{\text{оп}}}{T_{\text{оп}} + T_3};$$

– коэффициент надежности выполняемого технологического процесса, характеризующий надежность выполнения машиной технологического процесса работы в данных, конкретных условиях:

$$K_2 = \frac{T_{\text{оп}}}{T_{\text{оп}} + T_3};$$

– коэффициент технического обслуживания, характеризующий эффективность заложенных в машине устройств для регулирования рабочих органов и ухода за ней:

$$K_3 = \frac{T_{\text{оп}}}{T_{\text{оп}} + T_7};$$

– коэффициент использования рабочего времени смены, характеризующий использование сменного времени непосредственно на выполнение технологического процесса:

$$K_{\text{см}} = \frac{T_{\text{оп}}}{T_{\text{см}}};$$

– коэффициент использования эксплуатационного времени

$$K_{\text{эк}} = \frac{T_{\text{оп}}}{T_{\text{эк}}};$$

где  $T_{\text{оп}}$  – время основной работы машины за нормативную продолжительность смены.

Производительность за час чистой работы

$$W_o = \frac{Q}{T_o},$$

где  $Q$  – объем работы, выполненный машиной.

Производительность за час сменного времени

$$W_{\text{см}} = \frac{Q}{T_{\text{см}}}.$$

Затраты труда в чел.-ч. на единицу выполненной работы или единицу получаемой продукции

$$З_{\text{тм}} = \frac{A_o}{W_{\text{см}}},$$

где  $A_o$  – количество обслуживающего персонала;  $W_{\text{см}}$  – производительность за час сменного времени.

Удельный расход горючего (на единицу выполненной работы)

$$g_{\text{раб}} = \frac{U_p}{\Sigma Q},$$

где  $U_p$  – расход горючего за период контрольных смен, кг;  
 $Q$  – объем работы, выполненной за период контрольных смен.

Расход горючего на длительные холостые переезды в величину  $U_p$  не входит.

*Пример.* Определить показатели производительности жатки 6-метрового захвата в агрегате с трактором МТЗ-80. Данные хронометража:  $Q = 47,4$  га – наработка жатки,  $T_o = 16,8$  ч,  $T_{оп} = 4,65$  ч (при 7-часовой смене),  $T_{см} = 7,15$  ч,  $T_{эк} = 8,8$  ч.

Для этих условий:

производительность за 1 ч основного времени

$$W_o = \frac{Q}{T_o} = \frac{47,4}{16,8} = 2,82 \text{ га};$$

производительность за 1 ч сменного времени

$$W_{\text{см}} = W_o K_{\text{см}} = W_i \frac{T_{он}}{T_{\text{см}}} = 2,82 \frac{4,65}{7,15} = 1,83 \text{ га};$$

производительность за 1 ч эксплуатационного времени

$$W_{\text{эк}} = W_o K_{\text{эк}} = W_i \frac{T_{он}}{T_{\text{эк}}} = 2,82 \frac{4,65}{8,8} = 1,49 \text{ га};$$

#### 1.2.3.4. Энергетическая оценка

Основная задача энергетической оценки при испытаниях сельскохозяйственной техники – определение энергетических затрат при выполнении технологического процесса испытываемой машиной, выявление соответствия энергоемкости испытываемой машины тяговым и мощностным показателям энергетического средства при рабо-

те в диапазоне скоростных и нагрузочных режимов, установленных техническим заданием на проектирование или другой нормативной документацией.

Энергетическая оценка способствует изысканию (из множества испытываемых) предпочтительного, более экономичного, с энергетической точки зрения, варианта сельскохозяйственного агрегата по совокупности показателей. Эта задача решается методом сравнения значений основных оценочных показателей работы испытываемой машины с показателями работы серийных машин аналогичного назначения.

Рабочая программа энергетической оценки агрегата должна соответствовать цели этапа создания новой сельскохозяйственной техники. В соответствии с поставленной целью должна изменяться структура оценочных показателей.

Так, при исследовательских испытаниях на этапах разработки рабочих органов и создания макетного образца, когда на основе расчетов на прочность определяются конструкторские параметры машины, возникает необходимость в определении максимальных сил, напряжений, моментов на рабочих органах и в рамных конструкциях.

При предварительных испытаниях выявляется и оценивается работоспособность как отдельных сборочных единиц, так и всей конструкции машины в целом. На этом этапе необходимо энергетическую оценку машин проводить по расширенной программе (на различных агрофонах, типах почвы, влажности, различных поступательных скоростях движения и подачах материалов и т.п.), с замером большого количества параметров для полной оценки энергетических показателей агрегата.

При периодических испытаниях необходимость в проведении энергетической оценки машин отпадает.

Для энергетической оценки различных испытываемых сельскохозяйственных машин (прицепных, полунавесных, навесных, седельных и самоходных) и получения сопоставимых результатов сравнительных испытаний необходимы единая методика и типовые средства измерений. При испытаниях энергетическую оценку новой техники выполняют в соответствии с РД 10.2.2 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы энергетической оценки» и руководящими документами или отраслевыми стандартами на методы испыта-

ний машин отдельных типов. РД и стандарты устанавливают общие методы определения и анализа энергетических показателей технологического процесса при выполнении конкретного технологического процесса в различных диапазонах скоростных и нагрузочных режимов, предусмотренных техническими заданиями на их проектирование.

Действующие РД предусматривают энергетическую оценку не машины в отдельности, а оценку сельскохозяйственного агрегата, в состав которого входит испытываемая сельхозмашина и энергетическое средство.

При энергетической оценке мобильной сельскохозяйственной техники определяются составляющие мощностного баланса тракторного агрегата, а сравнительная оценка различных машин производится по энергоемкости агрегатов.

Уравнение мощностного баланса в общем случае имеет следующий вид:

$$N_e = N_{кр} + N_{BOM} + N_g + N_m + N_f + N_6 \pm N_a \pm N_j ,$$

где  $N_e$  – мощность, развиваемая двигателем энергетического средства во время работы агрегата; правая часть уравнения – это мощности, расходуемые:  $N_{кр}$  – на тягу машины;  $N_{BOM}$  – на привод рабочих органов от вала отбора мощности (BOM);  $N_g$  – на привод гидросистемы агрегата от двигателя;  $N_m$  – на механические потери в трансмиссии трактора, приводе BOM и гидронасоса;  $N_f$  – на самопередвижение энергетического средства;  $N_6$  – на буксование движителей;  $N_a$  – на преодоление подъемов;  $N_j$  – на преодоление сил инерции.

Мощность  $N_a$  может иметь разные знаки в зависимости от того, движется ли агрегат на подъем или спускается вниз по склону, а мощность  $N_j$  – совершается ли разгон или происходит снижение скорости движения. При установившемся движении на горизонтальном участке мощности  $N_a$  и  $N_j$  равны нулю. Уравнение мощностного баланса в этом случае будет иметь вид

$$N_e = N_{кр} + N_{BOM} + N_g + N_m + N_f + N_6 .$$

Кроме того,

$$N_e = N_k + N_{BOM} + N_g + N_m ,$$

где  $N_k$  – мощность на ведущих органах движителей трактора.

Энергетическая оценка при испытаниях сельскохозяйственной техники сводится к измерению отдельных энергетических параметров на установившемся режиме работы для определения средних значений составляющих мощностного баланса агрегата и усредненных силовых воздействии на его рабочие органы. При этом фиксируются и показатели условий и технологических режимов работы испытываемой машины.

Для проведения энергетической оценки сельскохозяйственных агрегатов энергетические средства (тракторы, самоходные машины и т.п.) оборудуются измерительными преобразователями (датчиками), приборами и аппаратурой для измерения крутящих моментов на силовых валах трансмиссии энергетических средств и привода рабочих органов сельскохозяйственных машин, усилий, частот вращения, скоростей движений и других параметров.

При регистрации энергетических параметров используют приборы для измерения:

- времени (секундомер, электрочасы);
- частоты вращения (тахограф, стробоскоп);
- линейно-угловых величин (микрометр, штангенциркуль);
- сил и крутящих моментов (тяговые тензометрические звенья, тензометрические валы и т.д.);
- крутильных колебаний и ускорений (акселерометры, креномеры и т.д.);
- давления и расхода жидкости и газа (расходомеры, манометры и т.д.);
- специальные тарировочные стенды и тензоизмерительные устройства;
- информационно-измерительные системы ЧЕК-1, ПТЛ-1 и ЭМА-П (ЭМА-ПМ).

Энергетическую оценку сельскохозяйственных агрегатов проводят совместно с агротехнической или зоотехнической оценкой машины.

Для энергетической оценки методом определения мощностного баланса машиноиспытательные станции имеют тракторы каждого тягового класса, оборудованные соответствующими тензометрическими преобразователями для измерения силовых параметров и электрическими преобразователями для измерения скоростных параметров. Схема размещения измерительного оборудования на тракто-

ре МТЗ-82 (кл. 1,4) представлена на рис. 1.5. Идентично размещается измерительное оборудование и на тракторах других тяговых классов.

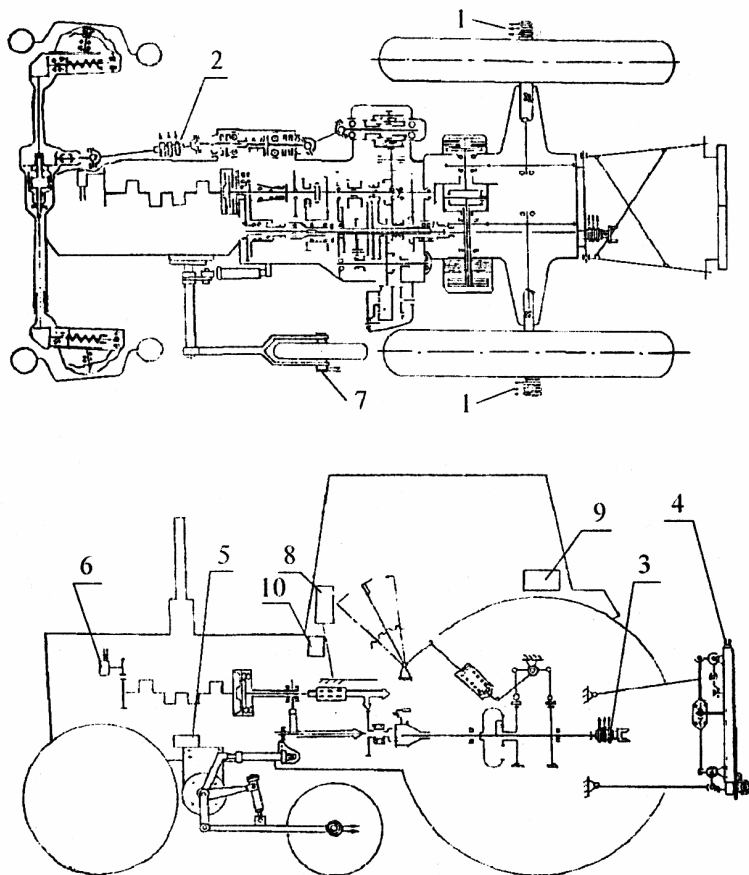


Рис. 1.5. схемы размещения измерительного оборудования на тракторе МТЗ-82:  
 1 – тензометрические полуоси задних ведущих колес трактора; 2 – тензометрический карданный вал привода передних ведущих колес трактора; 3 – ротационный тензодинамометр на ВОМ трактора; 4 – тензодинамометрическая автосцепка; 5 – датчик расхода топлива ИП179; 6 – датчик оборотов вала двигателя; 7 – путеизмерительное колесо; 8 – регистрирующая аппаратура ЭМА-П; 9 – блок питания аппаратуры ЭМА-П; 10 – блок электронный датчика расхода топлива ИП179



Условия приведения энергетической оценки, фоны, количество повторностей и режимы работы агрегата устанавливаются РД и стандартами на методы испытаний машин отдельных видов.

До начала испытаний должны быть определены регуляторные характеристики двигателей энергетических средств методами их торможения. Значения мощности, крутящего момента, частоты, вращения вала, расхода топлива и другие показатели должны соответствовать паспортным данным. Регулировки сельскохозяйственной машины должны быть выполнены в соответствии с заводской инструкцией по эксплуатации и быть оптимальными в агротехническом отношении. Давление в шинах энергетического средства и сельскохозяйственных машин должно соответствовать указанному в заводской инструкции.

При энергетической оценке мобильных агрегатов регистрируют следующие основные параметры: крутящие моменты на валу двигателя, ведущих органах движителя или на валу их привода, валу отбора мощности, валу гидронасоса и др.; тяговое сопротивление; частоту вращения коленчатого вала двигателя, ведущих колес, вала отбора мощности, вала-гидронасоса и др.; пройденный путь; продолжительность опыта.

Обычно продолжительность опыта  $t = 20\text{--}30$  с. Все вышеуказанные параметры регистрируют на рабочем и холостом ходу машины.

Основными способами измерений являются электрические измерения неэлектрических величин.

### **Показатели энергетической оценки и методы их определения**

Составляющие энергетического баланса машинно-тракторного агрегат (МТА) в основном определяются косвенным путем по результатам прямых измерений функционально связанных с ними параметров: крутящих моментов, давлений, перемещений, времени, скоростей поступательного и вращательного движений и др. по следующим формулам.

Эффективная мощность двигателя:

а) при измерении крутящего момента и частоты вращения вала двигателя

$$N_e = 10^{-3} M_d \omega_d, \text{ кВт},$$

где  $M_d$  – крутящий момент на валу двигателя, Н·м;  $\omega_d$  – угловая скорость вала двигателя, рад/с;

$$\omega_a = \frac{\pi n_a}{30},$$

где  $n_d$  – частота вращения вала двигателя, мин<sup>-1</sup>;

б) при измерении крутящих моментов и частоты вращения ведущих органов (колес, звездочек) движителей, ВОМ и вала гидронасоса

$$N_e = 10^{-3} \left( \sum_{i=1}^n \frac{M_{ki} \omega_{ki}}{\eta_{ki}} + \frac{M_{\text{ВОМ}} \omega_{\text{ВОМ}}}{\eta_{\text{ВОМ}}} + \frac{M_{\text{аи}} \omega_{\text{аи}}}{\eta_{\text{аи}}} \right), \text{ кВт},$$

где  $M_{ki}$ ,  $M_{\text{ВОМ}}$ ,  $M_{\text{аи}}$  – крутящие моменты соответственно  $i$ -го ведущего органа (колеса, звездочки), ВОМ, вала гидронасоса, Нм;  $\omega_{ki}$ ,  $\omega_{\text{ВОМ}}$ ,  $\omega_{\text{аи}}$  – угловые скорости соответственно  $i$ -го ведущего органа (колеса, звездочки), ВОМ и вала гидронасоса, рад/с;  $\eta_{ki}$ ,  $\eta_{\text{ВОМ}}$ ,  $\eta_{\text{аи}}$  – механический КПД трансмиссий от места измерения до вала двигателя.

Значения КПД принимают по данным завода-изготовителя или определяют расчетным путем по формуле

$$\eta_i = \eta_o^m \eta_e^p \eta_{\text{зв}}^k \eta_{\text{ш}}^n \eta_{\text{ш}}^l, \text{ где}$$

где  $\eta_{\text{ц}} = 0,98$  – КПД одной цилиндрической пары шестерен;  $\eta_{\text{к}} = 0,97$  – КПД одной конической пары шестерен;  $\eta_{\text{цепь}} = 0,93$  – КПД цепной передачи;  $\eta_{\text{рем}} = 0,95$  – КПД ременной передачи;  $\eta_{\text{подш}} = 0,99$  – КПД подшипников качения;  $m, p, k, n, l$  – число пар соответствующих шестерен, звездочек, шкивов, подшипников, установленных в трансмиссии.

Мощность, развиваемая движителями энергетического средства:

а) при измерении крутящих моментов и частоты на ведущих органах (колесах, звездочках) движителей

$$N_k = 10^{-3} \sum_{i=1}^n M_{ki} \omega_{ki}, \text{ кВт};$$

б) при измерении крутящих моментов и частоты вращения вала двигателя, ВОМ и вала гидронасоса

$$N_k = 10^{-3} \left( M_{\dot{a}} \omega_{\dot{a}} - \frac{M_{\text{BOM}} \omega_{\text{BOM}}}{\eta_{\text{BOM}}} - \frac{M_{\dot{a}i} \omega_{\dot{a}i}}{\eta_{\dot{a}i}} \right), \text{ кВт},$$

где  $\eta_{\text{гн}}$  – механический КПД трансмиссии от ведущих колес (звездочек) до вала двигателя.

Мощность, потребляемая машиной от BOM (или промежуточного вала привода рабочих органов)

$$N_{\text{BOM}} = 10^{-3} M_{\text{BOM}} \omega_{\text{BOM}}, \text{ кВт}.$$

Мощность, потребляемая гидронасосом на привод рабочих органов

$$N_{\dot{a}i} = 10^{-3} M_{\dot{a}i} \omega_{\dot{a}i}, \text{ кВт}.$$

Мощность двигателя, затрачиваемая на преодоление механических потерь в силовых передачах энергетического средства

$$N_i = \sum_{i=1}^n \frac{N_{ki} (1 - \eta_{ki})}{\eta_{ki}} + \frac{N_{\text{BOM}} (1 - \eta_{\text{BOM}})}{\eta_{\text{BOM}}} + \frac{N_{\dot{a}i} (1 - \eta_{\dot{a}i})}{\eta_{\dot{a}i}}, \text{ кВт},$$

где  $N_{ki}$  – мощность на  $i$ -м движителе.

Мощность, затрачиваемая на самопередвижение энергетических средств:

а) при измерении крутящего момента движителя и тягового сопротивления

$$N_{\dot{i}} = N_{\dot{e}i} \frac{100 - \delta_{\dot{i}}}{100} + N_{\dot{e}c} \frac{100 - \delta_{\dot{c}}}{100} - N_{\dot{e}d}, \text{ кВт},$$

где  $N_{\text{кп}}$ ,  $N_{\text{кз}}$  – мощность, развиваемая соответственно передними и задними колесами движителя при рабочем проходе агрегата, кВт;  $N_{\text{кр}}$  – тяговая мощность, кВт;  $\delta_{\text{п}}$ ,  $\delta_{\text{з}}$  – буксование соответственно передних и задних колес движителя при рабочем проходе агрегата, %;

б) при измерении крутящего момента и частоты вращения вала двигателя

$$N_{\dot{i}} = 10^{-3} \dot{I}_{\dot{a}d} \omega_{\dot{a}d} \eta_{\dot{e}} \frac{100 - \delta}{100}, \text{ кВт},$$

где  $M_{\text{дх}}$  – крутящий момент на валу двигателя при движении на холостом ходу, Нм;  $\omega_{\text{дх}}$  – угловая скорость вала двигателя на рабочем ходу, рад/с;  $\eta_{\text{к}}$  – механический КПД трансмиссии от

вала двигателя до ведущих органов движителей;  $\delta$  – буксование ведущих органов движителей на рабочем ходу, %;

в) при измерении крутящего момента и частоты вращения ведущих органов движителей

$$N_i = 10^{-3} \sum_{i=1}^n M_{kix} \omega_{kip} \frac{100 - \delta}{100}, \text{ кВт},$$

где  $M_{kix}$  – крутящий момент на ведущем органе  $i$ -го движителя при движении на холостом ходу, Нм;  $\omega_{kip}$  – угловая скорость ведущего органа  $i$ -го движителя на рабочем ходу, рад/с.

Мощность на буксование

$$N\delta = 0,01 N k \delta, \text{ кВт},$$

где  $\delta$  – буксование движителей.

Буксование движителей энергетического средства с жесткой механической передачей

$$\delta = \left( 1 - i \frac{n_{xp}}{n_{\hat{e}p}} \right) 100, \%,$$

где  $i = \frac{n_{\hat{e}x}}{n_{\hat{o}\hat{o}}}$  – коэффициент, определяемый на дороге с твердым

покрытием на холостом ходу энергетического средства;  $n_{кx}$ ,  $n_{кр}$  – количество отметок за время опыта ведущих колес (звездочек) соответственно на холостом и рабочем ходу;  $n_{xx}$ ,  $n_{xp}$  – количество отметок путеизмерительного колеса соответственно на холостом и рабочем ходу.

Тяговая мощность энергетического средства:

а) при определении составляющих мощностного баланса агрегата

$$N_{кр} = N_e - N_{BOM} - N_f - N_m - N_f - N_{\delta}, \text{ кВт},$$

или

$$N_{кр} = N_k - N_f - N_{\delta}, \text{ кВт};$$

б) при прямом измерении тягового сопротивления машины

$$N_{кр} = 10 - 3 R v, \text{ кВт},$$

где  $R$  – тяговое сопротивление машины, Н;  $v$  – рабочая скорость движения машины, м/с.

Скорость движения машины

$$v = \frac{S}{t}, \text{ м/с,}$$

где  $S$  – путь, пройденный за опыт, м;  $t$  – продолжительность опыта, с.

Основными оценочными энергетическими показателями, по которым в настоящее время проводится сравнение испытываемых агрегатов, являются:

- коэффициент загрузки двигателя по мощности (для оценки качества агрегатирования машины и потенциальной возможности повышения ее производительности);

- тяговое сопротивление или тяговая мощность машины (для оценки агрегата и нагруженности трансмиссии энергетического средства);

- буксование (для оценки тягово-сцепных свойств энергетического средства);

- мощность на привод активных рабочих органов машин (для оценки конструктивных особенностей машин);

- удельные показатели (для оценки эффективности сравниваемых машин).

Оценочные показатели определяют по следующим формулам.

Коэффициент загрузки двигателя по мощности

$$K_{Ne} = \frac{N_e}{N_{ei} 100}, \%,$$

где  $N_{ei}$  – номинальная эксплуатационная мощность двигателя по паспортным данным, кВт.

Тяговое сопротивление машины

$$R = 10^3 \frac{N_{\text{ед}}}{v}, \text{ Н.}$$

Фактический тяговый КПД энергетического средства

$$\eta_{\text{д}} = \frac{N_{\text{ед}}}{N_{\text{д}}} 100, \%, \text{ или } \eta_{\text{д}} = \frac{N_{\text{ед}}}{N_{\text{д}} - N_{\text{л.и.}}} 100, \%.$$

Удельные затраты энергосредства на физическую единицу наработки

$$q_{N_d} = \frac{N_d}{W_+}, \text{ кВт}\cdot\text{ч/га; кВт}\cdot\text{ч/т},$$

где  $N_d$  – эффективная мощность, развиваемая двигателем на данной операции, кВт;  $W_+$  – производительность агрегата за час основного времени на данной операции, га/ч; т/ч и т.д.

Удельные сопротивления

$$k_{\text{г.в}} = \frac{R}{F} \quad \text{или} \quad k = \frac{R}{B_\delta},$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения обрабатываемого пласта, см<sup>2</sup>;  $B_\delta$  – рабочая ширина захвата, м.

При энергетической оценке могут определяться и другие показатели в зависимости от поставленных задач.

#### 1.2.4. Приёмочные (государственные) испытания машин

Основная цель *государственных испытаний* состоит в том, чтобы отобрать для постановки на производство машину, наиболее полно отвечающую требованиям сельского хозяйства. С этой целью испытывают одновременно новый образец и эталон – серийную машину.

Государственные испытания организывают и самостоятельно проводят МИС. В испытаниях могут участвовать представители предприятия-разработчика и предприятия-заказчика. Для получения достоверных результатов за машинами устанавливается техническое наблюдение и хронометраж, фиксируются все неисправности, отказы, расход горючего, запасных частей и т.д.

В процессе этих испытаний определяют:

- технологичность агрегатирования трактора с сельскохозяйственными машинами и транспортными средствами на типичных для данного трактора в данной сельскохозяйственной зоне операциях (возможность комплектования технологически и энергетически оптимального агрегата, удобство и трудоемкость составления агрегата и переналадки трактора для составления данного агрегата);

- энергозатраты на выполнение тракторным агрегатом сельскохозяйственных операций (энергооценка тракторных агрегатов –

определение тягового сопротивления машин в агрегате, нагрузки трактора и его двигателя, в том числе динамическая оценка этих показателей);

- качество выполнения сельскохозяйственных операций на принятых технологических скоростях (агротехническая оценка тракторных агрегатов);

- производительность тракторных агрегатов при выполнении типичных для данных машин сельскохозяйственных операций;

- топливная экономичность тракторного агрегата (расход топлива в кг/га на выполнение технологических операций в целом, на основную работу и на переезды);

- приспособленность агрегатов для работы в различных условиях (проходимость, маневренность, управляемость, устойчивость, обратимость управления).

При измерениях допускаются следующие абсолютные значения погрешности: тяговое усилие – 0,01Ркр; крутящий момент на валу отбора мощности – 0,01М; время – 0,2 с; путь – 0,005s. Частота вращения вала отбора мощности 0,05n. Масса топлива – 0,01Uр; температура – 2°С.

При агротехнической оценке качества работы тракторного агрегата определяют: устойчивость хода рабочих органов машин, ширину захвата агрегата, прямолинейность движения агрегата, путь заглубления и выглубления рабочих органов машин, проходимость агрегата в междурядьях (по абрису и защитной зоне), повреждаемость растений, глубину колеи и степень уплотнения почвы колесами или гусеницами испытываемого агрегата.

Первым источником сведений о работе агрегата при технологических испытаниях являются технические наблюдения. Основные формы технических наблюдений в зависимости от их назначения и характера могут быть следующие: сплошной или выборочный хронометраж производственных процессов, бригадно-полевой и рядовой хозяйственный учет, инженерные или собственно технические наблюдения. Виды учета применяют в различных сочетаниях в зависимости от задач испытаний.

Под сплошным хронометражем подразумевается непрерывный хронометраж производственных процессов, выполняемых испытываемым агрегатом, а также процессов по обслуживанию этого агрега-

та в течение всего периода испытаний. Сплошной хронометраж является основной и наиболее надежной формой наблюдений при испытаниях сельскохозяйственных машин (особенно при испытаниях экспериментальных образцов).

Бригадно-полевой учет включает учет выработки агрегата и расхода топлива и смазочного масла, а также контроль за выполнением правил технического обслуживания и технической эксплуатации в тех случаях, когда по программе испытаний не требуется детального изучения баланса рабочего времени тракторного агрегата. Бригадно-полевой учет определяет суммарные рабочие показатели агрегата и условия нормальной его эксплуатации, например, при испытаниях агрегатов и их узлов на износ. В этом случае один учетчик осуществляет наблюдение за группой машин.

Рядовой хозяйственный учет служит для оценки эксплуатационных качеств в случаях массовой проверки тракторных агрегатов или их узлов в производственных условиях, когда испытания имеют характер статистического наблюдения.

Выборочный хронометраж применяют в тех случаях, когда в процессе испытаний на рядовых хозяйственных работах программой предусмотрена более детальная проверка некоторых показателей тракторных агрегатов (например, производительность и расход топлива). Выборочный хронометраж, в отличие от сплошного, проводят в отдельные периоды времени, например, в отдельные смены; при этом в зависимости от назначения хронометража можно производить специальную подготовку этих смен.

Инженерное наблюдение является неотъемлемой частью технического наблюдения большего числа испытаний. Наблюдение проводят руководитель испытаний и механик, в него включают: оценку режима и характера работы сельскохозяйственных машин; оценку удобства управления, обслуживания, технического обслуживания и ремонта; обследование дефектов и поломок.

Технический учет при типовых испытаниях сельскохозяйственных машин, как правило, осуществляют на базе сплошного хронометража в сочетании с техническим наблюдением.

Важнейшим этапом государственных испытаний является проверка работы машины в хозяйственных условиях. Главные задачи этого этапа:



- проверка функциональных возможностей и реальной производительности машины в различных условиях;
- выявление эксплуатационной надежности машины.

Для выполнения этих задач необходимо, чтобы испытанная машина выполнила 3 – 4-летний объем работ.

Так как эти испытания должны охватывать весь диапазон работ, предусмотренных функцией исследуемой машины, они длятся в течение полного рабочего цикла, т.е. в течение соответствующего сельскохозяйственного или рабочего сезона. Если речь идет о машинах для растениеводства, то должны быть учтены также возможные почвенные и климатические различия различных зон. Это требует участия в эксплуатационных испытаниях, по меньшей мере, 3, 5 машин или комплексов для каждой зоны. Что касается животноводства, то здесь, с учетом экономических соображений, достаточно лишь одной машины.

По результатам государственных испытаний новых машин принимается одна из следующих рекомендаций.

- Работы над машиной прекратить – значит, машина не перспективна или имеется более совершенная машина.

- Продолжить работу по имеющемуся образцу. Рекомендация принимается, если образец допускает внесение в него конструктивных улучшений, а ранее испытания были проведены в недостаточном объеме.

- Изготовить экспериментальные образцы (в количестве до 5 штук). Такая рекомендация принимается, если машина требует серьезной доработки и проверки.

- Изготовить опытную партию (несколько десятков машин). Такую рекомендацию получают машины, не нуждающиеся в серьезной доработке, но требующие проверки в различных почвенно-климатических и хозяйственных условиях.

- Изготовить серию машин. Эта рекомендация является этапом освоения перспективной машины. Иногда такие рекомендации даются на машины, конструктивно отработанные, но потребность в которых не превышает 100 –1500 штук.

- Рекомендовать к производству. В этом случае машины заказываются в количестве нескольких тысяч штук и выпуск рассчитывается на несколько лет.

### 1.2.5. Периодические испытания

Периодическим испытаниям подвергают продукцию серийного (массового) производства с целью контроля значений показателей технических условий на изготовление. Для испытаний представляют образцы продукции, отобранные в соответствии с государственными стандартами, техническими условиями и прошедшие приемосдаточные испытания. Для испытаний из каждого 3-месячного выпуска машин выбирается один образец.

Периодические испытания проходят в три этапа.

Первый этап – техническая экспертиза. Определяются и классифицируются производственные дефекты машины. Обычно дефекты разделяют на конструкторские и технологические. Дефекты конструкции машины возникают при ошибочных расчетах на прочность, неправильном выборе материалов. Примером конструкторских дефектов являются: некачественная работа машины (дробление зерна при обмолоте, неравномерная глубина заделки семян сеялкой, забивание плуга растительными остатками, низкая производительность зерносушилки), остаточная деформация деталей, вытяжка и проскальзывание ременных передач и т.д.

Дефекты технологии изготовления возникают при несоблюдении на производстве узаконенного технологического процесса изготовления, неисправности приспособлений и т.д. Примерами технологических дефектов являются: недопустимое отклонение размеров детали от номинальных, некачественная сварка, трещины в литье, некомплектность машины.

Второй этап – обкатка машины. Предварительно проводят замер длины цепей, толщины звездочек, контура зубьев и других изнашиваемых деталей. Эти данные помещают в графу таблицы «до испытания». Длительность обкатки или дорожных испытаний около 12 ч.

Третий этап – хозяйственные (эксплуатационные) испытания в объеме не меньшем годичной загрузки машины. Все простои машины фиксируются в хронокарте с указанием их причин.

После испытаний проводится полная разборка машины, чтобы выявить износившиеся детали, скрытые поломки. Снова проводятся замеры изнашиваемых элементов машины. Таблица замеров с графами «до испытания» и «после испытания» и данные хронометража оформляются в виде акта, являющегося основанием для проведения мероприятий по устранению обнаруженных недостатков.

По результатам контрольных испытаний принимается одна из рекомендаций:

- сохранить в производстве. Иногда к этому выводу дается дополнение: устранить выявленные при испытаниях конструкторские или технологические недостатки; изготовить и принять новый эталонный образец после устранения выявленных при испытаниях недостатков;

- снять с производства. Такая рекомендация применяется в следующих случаях: имеется лучшая машина, которая ставится на производство взамен снимаемой; отпала необходимость в выполнении технологического процесса, для которого машина предназначена; испытываемая машина показала полную неработоспособность;

- приостановить производство. Такая рекомендация применяется в следующих случаях: в машине обнаружены крупные недостатки; выпущенная серия машин оказалась хуже тех образцов, на основании которых она рекомендовалась к производству.

### 1.2.6. Типовые испытания

Типовые испытания проводятся в виде сравнительных испытаний сельскохозяйственной машины, подвергшейся конструктивным усовершенствованиям. Испытания должны определить эффективность конструктивных изменений. Они проводятся по специальным методикам в зависимости от целей. Объём испытаний зависит от вида усовершенствования. Это могут быть, например, полномасштабные лабораторно-полевые испытания, если усовершенствованию подверглась очистка комбайна, или испытания только выгрузной системы комбайна, если она подверглась усовершенствованию.

### 1.2.7. Предъявительские и сертификационные испытания

*Предъявительские (квалификационные) испытания* проводят: при оценке готовности предприятия к выпуску конкретной серийной продукции, если изготовители опытных образцов и серийной продукции разные, а также при постановке на производство продукции по лицензиям и продукции, освоенной на другом предприятии. Испыта-

ниям подвергают образцы из установочной серии (первой промышленной партии), а также первые образцы продукции, выпускаемой по лицензии и освоенной на другом предприятии.

*Сертификационным испытаниям* должны подвергаться серийные образцы изделий и образцы изделий, подготовленные к производству, для определения соответствия фактических значений показателей качества требованиям, установленным в национальных стандартах, технических условиях на конкретные изделия, международных стандартах, а также в другой нормативной документации, предусмотренной договорами о разработке и (или) поставке продукции, а также для решения вопроса выдачи сертификата соответствия.

### **1.3. Техническая экспертиза**

Техническая экспертиза образцов новых сельскохозяйственных машин включает проверку их технического состояния, оценку конструкции и качества изготовления, а также проверку прочности и надежности наиболее ответственных узлов и деталей и машины в целом. Она делится на предварительную и заключительную.

*Предварительную техническую экспертизу* проводят до испытаний машины (трактора). В нее входят технический осмотр машины и выявление наружных дефектов, недостатков сборки и внешнего вида. Так как качество сборки – один из решающих факторов качества изготовления машины и в значительной степени определяет срок ее службы, обязательным условием испытаний является испытание машины заводской сборки. Поэтому при первоначальной технической экспертизе не разрешается какая-либо разборка машины, не предусмотренная инструкцией по эксплуатации или не вызванная необходимостью устранения неисправности. Если программой испытаний (например, для экспериментальных образцов) предусмотрен обмер (микрометраж) деталей при первоначальной технической экспертизе, то этот обмер производят на заводе-изготовителе перед сборкой машины.

Предварительная техническая экспертиза включает в себя проверку:

- 1) комплектности машины, запасных частей и инструментов;
- 2) соответствия машины чертежам и техническому заданию на проектирование. Проверяют основные размеры машины; параметры рабочих органов и пределы их регулирования; кинематическую схему; систему привода и управления; паспортные данные – вес машины; распределение его по опорам; дорожный просвет; проходимость; маневренность; радиусы поворота; объемы резервуаров; удельное давление на почву; продольную и поперечную устойчи-

вость (для самоходных, транспортных и погрузочных машин) и другие показатели;

3) качества материалов и изготовления машины. Качество изготовления проверяют по видимым дефектам (трещины, раковины, надломы, искривления, вмятины, дефекты механической обработки, литья, штамповки, сварки, окраски);

4) качества сборки. Проверяют (внешним осмотром, измерениями и прокручиванием вхолостую) правильность сопряжения узлов и деталей; соблюдение установленных зазоров и плотностей; отсутствие течи жидкостей через уплотнители; легкость вращения валов; правильность действия рабочих органов; механизмов привода; регулирования и управления; исправность предохранительных устройств; отсутствие осевого и радиального биения колес и др.;

5) в необходимых случаях проведения специальных испытаний узлов и деталей (подшипники, цепи, кривошипно-шатунные механизмы, предохранители и др.) на прочность и износостойкость с целью определения сроков их службы;

6) наличия (в соответствии с правилами техники безопасности) тормозов и других защитных устройств, а также приспособлений, облегчающих работу обслуживающего персонала (автоматы, сигнализаторы), средств гигиены труда, их эффективности и надежности действия.

Кроме того, проверяют соответствие машины требованиям безопасной работы, изложенным в Единых требованиях безопасности к сельскохозяйственным тракторам, самоходным шасси, самоходным машинам и другим сельскохозяйственным машинам и орудиям; производят также первоначальные замеры (микрометраж) быстро изнашивающихся деталей.

Предварительную техническую экспертизу за исключением микрометража выполняют, как правило, без разборки машин.

Если машина прибывает на испытание в разобранном виде, то удобство монтажа и правильность сопряжения узлов и деталей проверяют в процессе ее сборки.

Существенные дефекты, выявленные при проведении предварительной экспертизы, должны быть устранены до испытания машины.

Заключительную техническую экспертизу проводят после окончания испытаний. В нее входят:

1) проверка общего технического состояния машины, определение требующих замены деталей, оценка пригодности машины для дальнейшей работы;

- 2) анализ характера и причин поломок, деформаций и преждевременного износа деталей;
- 3) проведение микрометража и оценка износостойкости деталей, замеренных до испытания машины;
- 4) оценка эффективности и надежности действия средств защиты и облегчения труда;
- 5) оценка проходимости и системы привода и управления машины.

### **Конструктивные параметры сельскохозяйственной машины (трактора)**

Оценку конструктивных параметров новой сельскохозяйственной машины рассмотрим на примере определения параметров трактора, как наиболее общих (для сельхозмашин часть оценок не производится).

Для конструктивной и технико-экономической оценки трактора проверяют и определяют следующие его параметры: массу трактора – конструктивную, эксплуатационную и конструктивную с балластными грузами; проходимость: давление на грунт (статическое), колею, дорожный просвет, радиус горизонтальной проходимости, наименьший радиус поворота без нагрузки; координаты центра тяжести; угол боковой устойчивости; продольную устойчивость. При этом составляют или уточняют габаритную схему трактора с указанием габаритных размеров и положения центра тяжести, кинематическую схему трансмиссии, схему расположения подшипников, схему смазочной системы, схему охлаждения и электрооборудования.

Трактор взвешивают в полностью заправленном состоянии с комплектом инструмента в инструментальном ящике и при установленных инструкцией весовых комплектациях. Конструктивную (сухую) массу трактора определяют, вычитая массу воды, топлива и масла из массы машины с полной заправкой. Взвешивание производят на платформенных весах с точностью до 0,005 т.

Для определения давления колесных тракторов на грунт, а также для нахождения координат центра тяжести трактора определяют распределение силы тяжести на передние и задние колеса.

Давление на грунт (статическое) для гусеничного трактора подсчитывают делением веса трактора на площадь опорной поверхности гусениц (удвоенной ширины гусеницы, умноженной на ее

опорную длину). За опорную длину гусеницы принимают расстояние между осями крайних опорных катков плюс длину одного звена. Если опорами служат направляющие и ведущие колеса, то за опорную длину гусеницы принимают расстояние между осями этих колес.

Для колесных тракторов давление на грунт определяют отдельно для передних и задних колес делением массы трактора, приходящейся на опорную поверхность колес. Для баллонных тракторов опорную поверхность колес определяют по отпечатку на картоне или фанере, подложенной под колесо на ровном полу. (Шину колеса предварительно накачивают до номинального давления, затем поднимают колесо домкратом, смазывают шину краской и плавно опускают на пол).

Колею определяют как разность ширины трактора по внешним кромкам гусениц или ведущих колес и ширины одной гусеницы или ведущего колеса, т.е. как расстояние между продольными вертикальными плоскостями симметрии ведущих колес.

Дорожный просвет измеряют от наиболее низкой точки трактора, установленного на горизонтальной площадке при полном погружении шпор колес в почву. Для пропашных тракторов определяют также абрис – рисунок проходимости.

Наименьший радиус поворота определяют экспериментально на ровной горизонтальной площадке при повороте трактора вправо и

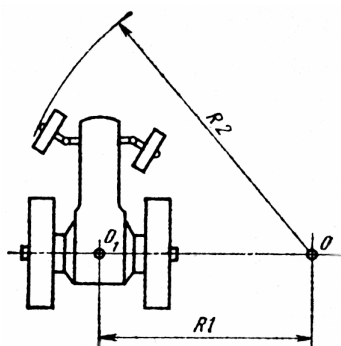


Рис. 1.6. Схема измерения радиуса поворота и радиуса горизонтальной проходимости

влево на угол не менее  $180^\circ$  на первой передаче без нагрузки на крюке. Поворот производят с применением и без применения тормозов. Радиус поворота измеряют до точки  $O_1$ , называемой кинематическим центром агрегата (рис. 1.6). Для колесного трактора это средняя точка между полуосями ведущих колес, для гусеничного трактора она совпадает с его центром тяжести.

Положение центра тяжести трактора определяют экспериментально с помощью талей и крановых (или платформенных) весов тремя

координатами (рис. 1.7): расстоянием  $L$  от оси ведущего колеса по длине трактора, расстоянием  $h$  от опорной поверхности и смещением его по ширине трактора от продольной плоскости симметрии. Координату  $L$  (рис. 1.7, а) определяют из уравнения моментов относительно точки опоры А при горизонтальном расположении трактора, подвешенного за передний крюк (или брус):

$$L = P_1 L_1 / G,$$

где  $P_1$  – показание весов;  $L_1$  – расстояние от точки опоры до точки подвески по горизонтали;  $G$  – вес трактора.

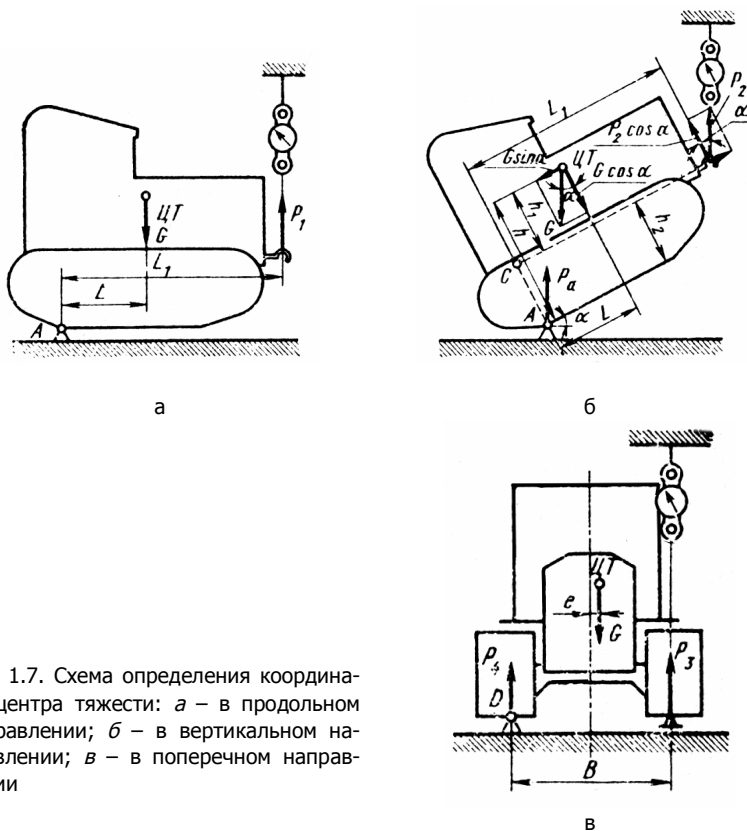


Рис. 1.7. Схема определения координаты центра тяжести: а – в продольном направлении; б – в вертикальном направлении; в – в поперечном направлении



Для определения координаты  $h$  трактор несколько приподнимают над горизонталью за подвешенный конец (рис. 1.7, б). Координату определяют из уравнения моментов относительно точки А:

$$Ghs\sin\alpha + P_2L_1\cos\alpha = GL\cos\alpha + P_2h_2\sin\alpha,$$

откуда

$$h = L\operatorname{ctg}\alpha - \frac{P_2}{G}(L_1\operatorname{ctg}\alpha - h_2).$$

За точку опоры в обоих случаях можно принять любую точку рамы, тележки, ось ведущего колеса, или непосредственно опереть трактор краем опорной поверхности гусеницы либо ободом ведущего колеса на призму. Угол подъема очень малым брать не следует, так как при этом понижается точность измерения.

Третью координату определяют по весу, приходящемуся на опоры одной из сторон трактора (рис. 1.7, в). Из уравнения моментов относительно точки опоры D

$$P_3B = G(0,5B \pm e),$$

откуда

$$e = \frac{P_3 - 0,5G}{G}B \quad \text{при } P_3 > P_4$$

и

$$e = \frac{0,5G - P_3}{G}B \quad \text{при } P_3 < P_4.$$

В этом случае подвеску одной стороны трактора производят при помощи балки и стропа, либо просто при помощи троса, закрепленного за обод ведущего и направляющего колес и расположенного точно в их плоскости симметрии.

### **Микрометраж деталей**

*Условия измерений.* Большинство деталей двигателя и трактора в местах сопряжения имеют номинальные размеры с допусками, выраженными в сотых, иногда в тысячных долях миллиметра. Предельный износ большинства деталей двигателя выражается десятками и сотыми долями миллиметра. Например, предельный износ шеек коленчатого вала по диаметру составляет 0,08–0,12 мм, предельная овальность и конусность шеек допускается 0,12 мм и т.д. За период

испытаний в 3000 ч многие детали вырабатывают лишь 30 % своего ресурса. Отсюда вытекают высокие требования к точности измерений при микрометраже.

Измерительный инструмент по классу точности должен соответствовать требованиям точности измерений и периодически подвергаться поверке. Для исключения погрешности вследствие загрязнения поверхности измеряемых деталей их тщательно моют, а перед измерением протирают чистой салфеткой. Особое внимание уделяют чистоте и организации рабочего места.

Для предупреждения температурных погрешностей микрометраж следует производить при стандартной температуре деталей, инструмента и окружающего воздуха, равной  $20 \pm 5$  °С. При температуре, значительно отличающейся от стандартной, надо вводить температурную поправку

$$\Delta l = l(a_1 - a_2)(t - 20),$$

где  $l$  – номинальный размер;  $a_1$ ,  $a_2$  – коэффициенты линейного расширения соответственно материалов измеряемой детали и измерительного инструмента;  $t$  – температура измерения.

Предназначенные для микрометража детали и инструмент должны находиться в помещении, где производится микрометраж, не менее 2 ч.

Серьезным вопросом является предупреждение погрешностей субъективного порядка (колебания измерительного усилия, параллакс, неточность приемов и т.д.). Эти ошибки в определенной степени можно устранить повышением квалификации микрометриста и проведением начального и конечного микрометража по возможности одним и тем же лицом при помощи тех же инструментов.

*Выбор мест обмеров.* До начала микрометража должны быть точно установлены места, способ и требуемая точность измерений. Точки обмеров определяются поясами и плоскостями. Поясом называется поперечное сечение детали, определяющее положение точек обмеров по длине детали. Плоскостью обмера называется сечение детали или обмеряемой ее части (например, шейки вала) в продольной плоскости (обычно в плоскости симметрии), определяющей точки обмеров в каждом поясе. Для сохранения единообразия наименования плоскостей и поясов обмеров, а также для удобства их обозначения в практике испытаний приняты следующие условия.

Все цилиндрические детали, если это не предусмотрено особо программой испытаний, обмеряют в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, обозначаемых АА и ВВ.

*Указания по микрометражу.* Места обмеров деталей и точность измерений должны быть нормализованы. Методические приемы и техника выполнения операций микрометража требуют навыков и опыта и могут видоизменяться по мере совершенствования. Ниже в качестве примеров приведены указания по микрометражу некоторых основных деталей трактора.

Гильзы цилиндров обмеряют без выпрессовки их из блока (чтобы избежать погрешностей вследствие деформации) при помощи индикаторного нутромера с точностью до 0,01 мм. Пояса обмеров размечают на полоске жести, имеющей в верхней части загиб, которым полосу подвешивают на гильзе. Для гильз четырехтактных двигателей в зависимости от нагрузки на стенке гильзы устанавливают следующие пояса измерений:

1) пояс расположения верхнего компрессионного кольца при верхнем положении поршня;

2) пояс расположения нижнего компрессионного (или верхнего маслосъемного) кольца при верхнем положении поршня;

3) пояс расположения верхнего компрессионного кольца при нижнем положении поршня;

4) пояс расположения нижнего маслосъемного кольца при нижнем положении поршня;

5) дополнительно один – два пояса для равномерного размещения поясов измерений по длине гильзы.

Износ трапецеидальных шлицев на валах измеряют при помощи калиброванных роликов. Ролики укладывают в шлицы (рис. 1.8), и штангенциркулем с нониусом 0,02 мм устанавливают разность между размерами по роликам до испытаний (или на изношенной части шлица) и после испытаний (на изношенной части шлица). Износ  $\Delta$  шлица по толщине определяется по формуле

$$\Delta = \frac{D_e - D_i}{2} \sin \frac{\alpha}{2},$$

где  $D_n, D_k$  – размер по роликам соответственно до и после испытаний;  $\alpha$  – угол между боковыми сторонами соседних шлицев.

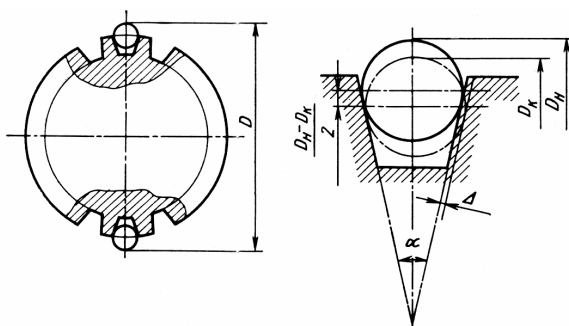


Рис. 1.8. Измерение износа шлицев с помощью роликов

Диаметр ролика подбирают таким, чтобы ролик утопал во впадине между неизношенными шлицами не более чем на одну треть глубины впадины. Если обмер производился до испытаний, то следует замаркировать обмеренные шлицы с указанием места измерения в микрометричном листе. Кроме того, износ шлицев можно измерять при помощи штангензубомера.

Износ шлицев втулки определяют по величине зазора втулки на валу за вычетом износа шлицев вала. Зазор между шлицами вала и втулки измеряют следующим образом. Шлицеванный вал 2 (рис. 1.9) зажимают в тисках или в патроне токарного станка. На вал надевают сопряженную с ним деталь 1, износ шлицев которой требуется измерить. На детали укрепляют рычаг 3, величину качания которого измеряют индикатором 4. Зазор в шлицевом соединении определяют по длине дуги качания рычага, отнесенной к радиусу средней линии шлицев.

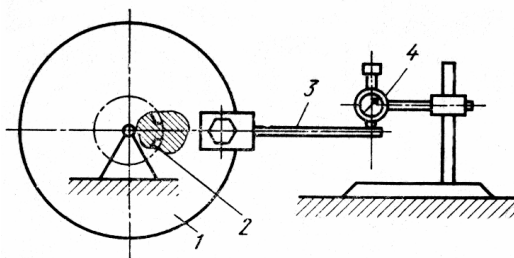


Рис. 1.9. Определение износа шлицевого соединения по зазору втулки на валу

В шариковых и роликовых подшипниках для выявления их износа измеряют радиальный и осевой зазоры. Для измерения радиального зазора (рис. 1.10, а) подшипник укладывают на плиту 1. Внутреннее кольцо 2 плотно прижимают к плите. Качание (зазор в мм) внешнего кольца 3 замеряют индикатором 4. Для измерения осевого зазора (рис. 1.10, б) подшипник внешним кольцом 7 укладывают на подставках 5, и индикатором 8 измеряют вертикальное перемещение (зазор) внутреннего кольца 6.

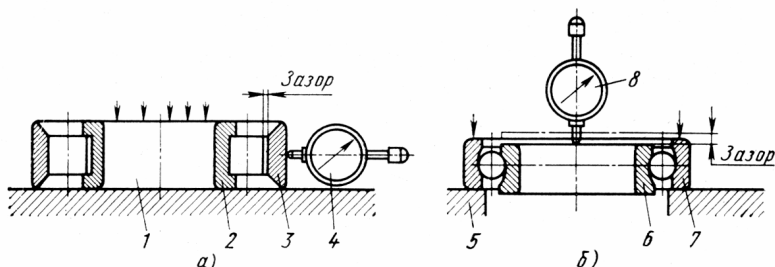


Рис. 1.10. Измерение радиального (а) и осевого (б) износов подшипников

Износ сопряженных звеньев гусениц определяют по суммарному изменению длины всей гусеницы и трех контрольных секций по 10 звеньев в каждой. Контрольные секции необходимы на тот случай, когда в процессе испытаний заменяют вышедшие из строя звенья или пальцы гусеницы, а также для контроля результатов измерения длины всей гусеницы. Перед измерением гусеницу растягивают под действием усилия в 10 кН для гусениц тракторов класса 50 кН и выше, 5 кН для гусениц тракторов класса 30 кН. Растягивающее усилие должно быть одинаковым в начале и в конце испытаний, чтобы избежать погрешностей вследствие различной деформации деталей.

#### **1.4. Оценка безопасности конструкции сельскохозяйственных машин**

При испытаниях тракторов (сельхозмашин) обязательной является оценка их конструкции с точки зрения обеспечения требуемых условий труда, безопасности работы тракториста и обслуживающих тракторный агрегат рабочих, а также отрицательного влияния тракторного агрегата на окружающую среду. Такая оценка имеет большое значение: на ее основе принимаются меры по обеспечению высокой

производительности, безопасности работы на агрегате, сохранению здоровья людей и охране окружающей среды.

Несовершенство органов управления и кабины трактора повышает утомляемость тракториста и снижает производительность его труда. Исследования показали, например, что при работе на тракторе с усилием на рычагах управления до 60 Н (6 кгс) тракторист не ощущает большой физической утомляемости, тогда как при усиллии на рычагах 140 Н (14 кгс) к концу смены у тракториста наблюдается переутомление и упадок сил. Плохая обзорность, неудобная рабочая поза тракториста, несовершенство подвески и сиденья, недостаточное освещение, шум, вибрации, перегрев приводят к снижению работоспособности тракториста, вызывают профессиональные заболевания.

Основным стандартом, устанавливающим методы определения и оценки параметров труда, обеспечения требований безопасности и влияния машинно-тракторного агрегата на окружающую среду, является ГОСТ 12.2.002–81 «Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности». Кроме этого стандарта, организации или лица, проводящие оценку безопасности конструкции машины, должны руководствоваться рядом других стандартов, на которые сделаны ссылки в ГОСТ 12.2.002–81. Часть таких стандартов устанавливает методы и технические средства оценки отдельных параметров безопасности. К ним относятся ГОСТ 23734–79, ГОСТ 20062–81, ГОСТ 16527–80, ГОСТ 12.4.095–80, ГОСТ 12.1.005–76, ГОСТ 12.1.014–79, ГОСТ 12.1.016–79.

При проведении испытаний пользование стандартами и выполнение их требований являются строго обязательными.

Лица, выполняющие эту работу, должны соблюдать правила безопасности, установленные ГОСТ 12.3.002–75, должны предварительно пройти обучение и инструктаж в порядке, установленном ГОСТ 12.0.004–79.

Методы определения безопасности, изложенные в ГОСТ 12.2.002–81, распространяются не только на тракторы, но и на сельскохозяйственные самоходные, навесные, прицепные и ручные машины, что позволяет сравнивать их по степени безопасности. Этот стандарт распространяется на все виды испытаний – предварительные, приемочные и периодические, что обеспечивает единство мето-

дов испытаний при разработке конструкции, отработке ее в период испытаний и при эксплуатации тракторов после начала серийного производства. Это позволяет также сравнивать показатели, полученные в различные периоды работы над конструкцией трактора, в различных условиях эксплуатации и различными испытательскими организациями, что имеет значение для совершенствования конструкции и определения направлений дальнейшего развития тракторостроения.

При первоначальной технической экспертизе определяют наличие защитных устройств движущихся и нагретых выше 70 °С узлов и деталей, безопасность обслуживания, ухода за трактором и его эксплуатации, удобство пользования рычагами управления, наличие средств обеспечения условий труда, обзорность с рабочего места агрегатов, узлов и приборов постоянного контроля и удобство наблюдения за ними, обеспеченность приборами для работы в ночное время, обеспеченность пожаробезопасности, электробезопасности, возможность фиксирования навесных машин в транспортном положении, наличие устройств для погрузки и разгрузки трактора при перевозке по железным дорогам и автотранспортом и удобство их расположения, а также наличие мест для установки домкратов, удобство и безопасность работы с ними при подъеме и перемещении машины.

Так, кабины тракторов должны иметь не менее трех аварийных выходов на различных сторонах, двери и окна кабины должны открываться изнутри, в кабине должно находиться средство, которым можно разбить окно. Боковые окна кабины должны иметь устройства, фиксирующие их в открытом положении. Передние и задние стекла кабины должны быть оборудованы стеклоочистителем и солнцезащитными устройствами. Трактор должен иметь звуковой сигнал с уровнем звука, на 8 дБА превышающим уровень внешнего шума трактора. Должно быть устройство для подсоединения проводки системы сигнализации агрегируемой машины.

При первоначальной технической экспертизе производят также измерения, необходимые для определения размеров ограждения опасных мест, измерения нагрузки на управляемые колеса, свободного хода рулевого колеса, силы, удерживающей привязные рем-

ни, размеров рабочего места оператора, сил сопротивления перемещению рычагов управления.

Нагрузка на управляемые колеса в соответствии с ГОСТ 12.2.019-76 должна быть не менее 0,2 эксплуатационного веса трактора, ширина подножки – не менее 150 мм, глубина – не менее 100 мм, расстояние от наружной кромки до стенки подножки – не менее 150 мм, интервал между подножками – 250–300 мм, высота расположения первой подножки – не более 400 мм. Свободный ход рулевого колеса – не более 25°. Большинство указанных осмотров, опробований и измерений не требуют сложных устройств и выполняются визуально при помощи складных метров, рулеток, циферблатных динамометров. Некоторые измерения, такие как определение свободного хода рулевого колеса и усилия на рычагах управления, требуют специальных приспособлений.

Одним из первых испытаний трактора после этого является определение его статической устойчивости. Углы поперечной статической устойчивости для тракторов тягового класса выше 6 кН (кроме хлопоководческих) должны быть не менее 35°, а для класса 6 кН они указываются в нормативно-технической документации на трактор.

Определение эффективности действия тормозов проводится для тракторов и тракторных поездов следующим образом.

Сначала определяется эффективность рабочих тормозов при транспортной комплектации трактора. Эти испытания проводят на сухом, ровном участке дороги с асфальтированным покрытием. Измерения допускаются при скорости ветра не более 3 м/с.

В момент прохода контрольной вешки тракторист нажимает на педаль (рычаг) для экстренного торможения до полной остановки поезда. Сила сопротивления педали или ручного рычага тормоза при торможении не должна превышать 300 Н при ножном и 200 Н при ручном рычаге. Для ее определения применяют тензопедаль (рис. 1.11).

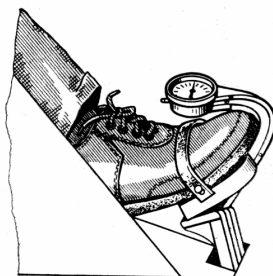


Рис. 1.11. Тензопедаль для определения силы сопротивления педали ножного тормоза



Определение эффективности действия стояночных тормозов проводят на участке сухой, укатанной грунтовой дороги с продольным уклоном не менее  $20^\circ$  для колесных тракторов и  $30^\circ$  для гусеничных. При этом должен быть выбран участок с характеристикой, регламентированной стандартом: влажностью на глубине 5 и 10 см не более 15%, твердостью не менее 3 МПа. Скорость ветра и в этом случае должна быть не более 3 м/с.

Обзорность с рабочего места тракториста определяют на ровной площадке размером  $16 \times 30$  м методом панорамного фотографирования или угловых измерений. Площадку разбивают на участки  $1 \times 1$  м. Ширина любого из непросматриваемых участков впереди трактора должна быть не более 700 мм. Расстояние между любыми непросматриваемыми участками, образуемыми элементами конструкции кабины шириной более 80 мм, должны быть не более 2200 мм. Допускается не более двух непросматриваемых участков спереди и не более шести спереди и с обеих боковых сторон вместе.

Измерение силы сопротивления рулевого колеса производят при движении трактора по дороге или площадке с твердым покрытием (асфальт, асфальтобетон) по криволинейной траектории. Для этого рулевое колесо оборудуют средством замера или замеряют дина-

мометрическим колесом. Скорость движения должна быть  $3 \pm 0,5$  км/ч. Измерения производят без орудия и с орудием, создающим наибольшую нагрузку на управляемые колеса.

Измерение силы сопротивления рычагов поворота производят при движении трактора по стерне зерновых колосовых культур. Измерения производят три раза, и среднее арифметическое значение силы является оценочным показателем. Оно не должно превышать 50 Н.

Измеряют также силы сопротивления перемещению других рычагов управления (рис. 1.12). Это делает-

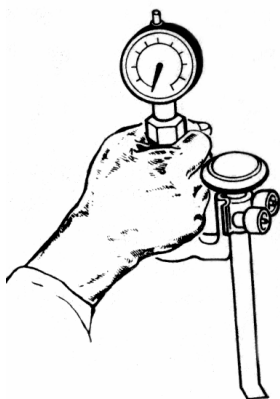


Рис. 1.12. Определение усилия на рычаге переключения передач при помощи тензорукьятки

ся на месте, без движения трактора, но при работающем двигателе после прогрева всех систем трактора до рабочих температур.

Определение оценочного показателя ведут также по трем измерениям. Силы сопротивления на рычагах должны быть не более: муфты сцепления – 120 Н при ножном и 60 Н при ручном воздействии; коробки передач – 60 Н при переключении на ходу и 200 Н при переключении с остановкой трактора; управления подачей топлива – 30 Н; регулятора частоты вращения – 60 Н; распределителя гидросистемы – 60 Н. На всех остальных рычагах, а также при техническом обслуживании усилия не должны превышать 200 Н.

Для измерения уровней шума используется специальная шумоизмерительная аппаратура, которая должна соответствовать ГОСТ 17187–81 и ГОСТ 17168–82. При измерении шума не должно быть дополнительных источников шума рядом с испытуемым трактором. Место для проведения работ должно быть ровным и открытым. Испытуемый трактор при измерениях должен находиться не ближе 25 м от шумоотражающих объектов, таких как здания, другие машины, лесные посадки и т.п. (Измеритель шума и вибраций ИШВ-1 конструкции завода «Виброприбор»).

Кроме шума и вибрации на работоспособность тракториста влияет микроклимат в кабине. Он изменяется в зависимости от изменений температуры, влажности наружного воздуха, а также от теплового воздействия двигателя, гидросистемы, движения трактора и т.д.

Нормальными условиями для работы считаются такие, при которых температура воздуха в кабине в теплый период не превышает более чем на 2–3° С температуру наружного воздуха, но не ниже 14°С и не выше 28° С при относительной влажности воздуха 40–60% и не выше 26° С при относительной влажности воздуха 60–80%. Для районов с жарким климатом температура воздуха в кабине не должна превышать 31° С.

Конструкция кабины должна обеспечивать поддержание нормального микроклимата во время работы при любых погодных условиях. Поэтому при испытаниях проводят измерения температуры,

относительной влажности и скорости движения воздуха в кабине, а также температуры внутренних поверхностей кабины, которая должна быть (кроме поверхностей стекол) не выше 35° С. Измерения производят при работе трактора с нагрузкой двигателя на  $70 \pm 15\%$  номинальной мощности в самый жаркий или самый холодный день летом или зимой в зависимости от использования трактора.

Содержание пыли в рабочей зоне тракториста определяется при работе трактора на выполнении операций, при которых получается наибольшая запыленность окружающего агрегат воздуха (обычно это культивация или сев). Замеры производят в зоне дыхания тракториста. Если трактор оборудован кабиной, имеющей средства нормализации микроклимата, то кабина должна быть при измерениях закрыта, а все средства нормализации – работающими. Климатические камеры позволяют создавать условия запыленности воздуха и также могут использоваться для проведения таких замеров. За результаты измерений берут среднее арифметическое значение, определенное из пяти замеров.

Величина допустимой концентрации пыли в кабине зависит от содержания в ней  $\text{SiO}_2$  при отсутствии токсичных веществ. Она не должна превышать 10 мг/м<sup>3</sup> без наличия  $\text{SiO}_2$  и 1 мг/м<sup>3</sup> при содержании 70%  $\text{SiO}_2$ . Концентрация окиси углерода не должна превышать 20 мг/м<sup>3</sup>. Для отбора и анализа проб воздуха применяют специальные приборы.

В целях выяснения возможности использования трактора в ночное время в неосвещенных местах производят определение освещенности искусственными источниками, которыми оборудован трактор. Определяется освещенность приборов управления внутри кабины, рабочих органов машин, которые используются в ночное время, участков поля впереди по всей ширине захвата машины в трех точках (посередине, слева и справа на расстояниях 5; 10 и 20 м), а также мест загрузки при работе с погрузочными устройствами, мест выгрузки при работе с самосвальными транспортными средствами, емкостями и т.д. Определяется также освещенность мест смазки и регули-

ровки, если эти операции предусмотрены в течение одной рабочей смены.

Тракторы спереди должны быть оборудованы не менее чем двумя фарами, число фар сзади трактора должно обеспечивать удовлетворительную освещенность агрегатируемых с трактором машин в ночное время. Для работы на транспорте обязательно наличие сзади габаритных огней. На тракторе должна быть предусмотрена возможность подключения переносной лампы мощностью не менее 20 Вт. Освещенность пульта управления должна быть не менее 5 лк (люкс).

Участок впереди трактора должен иметь уровень освещенности от 5 до 20 лк, место выгрузки – не менее 15 лк, рабочие органы машин – не менее 5–20 лк.

Кроме перечисленных испытаний для оценки безопасности определяются защитные свойства кабин или каркасов, предохраняющих тракториста от травм при опрокидывании трактора. Эта работа должна выполняться, как правило, при предварительных испытаниях трактора организациями или предприятиями, разрабатывающими или изготавливающими кабины.

Для испытаний по определению защитных свойств кабин и каркасов должны иметься специальные устройства, позволяющие наносить удары по кабине грузом массой  $2000 \pm 20$  кг с высоты  $H$ , установленной для каждого класса трактора, нагружать кабину сверху балкой с усилием, вдвое большим эксплуатационной массы трактора, и устройства для нагрузок кабины сзади, спереди и сбоку.

## **2. ИСПЫТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН НА НАДЕЖНОСТЬ**

Наука о надежности машин рассматривает целый ряд самостоятельных вопросов. Сюда относятся: теория физико-химического старения (функциональный износ, пластическое усталостное разрушение, другие виды разрушений), статистическая теория надежности (методы оценки и расчета надежности, сбор и обработка информации об отказах, теория надежности систем, методы испытаний и моделирования), методы конструирования надежных машин, методы обеспечения надежности в производстве (оценка материалов, заготовок, технологических процессов, культуры и экономики производства), теория эксплуатации и ремонта (методы обеспечения сохранности и поддержания надежности машин). Наука о надежности машин имеет непосредственную связь со всеми этапами их создания: проектированием, разработкой, изготовлением (производством) и эксплуатацией.

Надежность – 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.

Вероятность является основным элементом определения понятия надежности, его количественной характеристикой и может выражаться в виде дроби или в процентах от общей продолжительности работы машины.

Успешное выполнение машиной заданных функций – элемент определения ее надежности, требующий определенных критериев. Например, в тракторе, выполняющем сельскохозяйственные работы, произошел отказ (поломка) сигнальных приборов работы двигателя. Трактор может выполнять технологический процесс, однако понятие «успешное выполнение» заданных функций в этом случае не применимо, так как работа без приборов, контролирующих работу двигателя, может привести к аварии трактора.

Наиболее важным элементом определения надежности является время. Без знания времени устойчивого выполнения машиной своих функций или времени ее простоев из-за неисправностей невозможно оценить вероятность выполнения определенного процесса.

Условия, в которых будет работать машина, также являются элементом понятия надежности.

Надежность сельскохозяйственных машин (тракторов) есть интегральное свойство качества, обеспечивающее способность выполнять технологический процесс, сохраняя эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение заданного промежутка времени или требуемой наработки. Перспективы развития конструкций сельскохозяйственных машин дают основание утверждать, что их надежность и долговечность будут и впредь оставаться основными показателями их качества.

## **2.1. Оценочные показатели надежности при испытаниях**

Количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность сельскохозяйственной машины (трактора), есть показатель её надежности.

ГОСТ 27.002-89 определяет надежность как комплексное свойство, которое в зависимости от назначения объекта и условий его эксплуатации может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость в отдельности или в определенном сочетании этих свойств как для объекта в целом, так и для его частей. Рассмотрим более подробно некоторые понятия надежности применительно к практике испытаний сельскохозяйственной техники.

*Безотказность* – свойство сельскохозяйственной техники (объекта) непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки. В общей теории надежности машин рассматривается вопрос о возможной оценке надежности по наработке единичного образца до первого отказа или продолжительности безотказной работы. При этом предполагается использовать числовое значение наработки до первого отказа в качестве основного показателя надежности изделия в машиностроении.

*Долговечность* – свойство машины (объекта) сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной для данной модели системе технического обслуживания и ремонтов. Для сельскохозяйственных машин и тракторов долговеч-

ность регламентируется в часах работы (моточасах) поагрегатно и для объекта в целом.

*Ремонтопригодность* – приспособленность объекта к предупреждению и обнаружению причин отказов и устранению их последствий с помощью ремонтов и технического обслуживания, предусматривает восстановление утраченной работоспособности.

*Сохраняемость* – свойство объекта непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течение, и после хранения и (или) транспортировки. В сельскохозяйственном производстве сельхозмашины используются сезонно, при этом в условиях безангарного хранения они подвергаются воздействию атмосферных условий. Дефекты и неисправности, возникающие во временном периоде «сохраняемость» сельхозмашины, принято относить к наработке и определять влиянием условий эксплуатации. Это вызвано отсутствием достаточно достоверной методики оценки сохраняемости тракторов и сельскохозяйственных машин.

*Предельное состояние* – состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена из-за неустранимых нарушений требований безопасности, выхода значений заданных параметров за установленные пределы, неустранимого снижения эффективности эксплуатации ниже допустимой, необходимости проведения среднего или капитального ремонта. В практике испытаний сельскохозяйственных машин понятие «предельное состояние» используется для определения ресурса.

*Отказ* – событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта. В общих понятиях надежности используется также термин «повреждение», т.е. нарушение исправности без потери работоспособности. Накопление повреждений может привести к потере работоспособности – отказу. К последствиям отказа относятся явления, процессы и события, возникшие после отказа и в непосредственной причинной связи с ним. Некоторые последствия отказа могут служить одновременно и его признаками.

Стандарт предусматривает несколько терминов, характеризующих понятие «отказ». Практическое значение для испытаний сельскохозяйственных машин имеют следующие определения:

- независимый и зависимый отказы, когда между отказами объектов (узлов) отсутствует или существует причинно-следственная связь;

- конструкционный отказ, возникающий в результате несовершенства конструкции;

- производственный отказ, когда его причиной является несовершенство или нарушение процесса изготовления или ремонта машин на ремонтном предприятии;

- эксплуатационный отказ, возникающий в результате нарушения установленных правил или условий эксплуатации машины.

В практике испытаний могут встречаться граничные явления, которые нельзя однозначно отнести к повреждениям, неисправностям или отказам. Единые эти понятия для сельскохозяйственной техники могут быть определены нормативной документацией, разработанной испытателями, изготовителями и потребителями продукции сельскохозяйственного машиностроения. Отказы, вызванные нарушением установленных правил и норм эксплуатации, при оценке надежности сельхозмашин не учитываются.

Нормативной документацией предусмотрен ряд общих понятий: исправное, неисправное состояния, неработоспособное состояние, ремонтируемый, неремонтируемый объекты и др. Учитывая их незначительную употребляемость при определении надежности сельскохозяйственных машин, подробные описания этих терминов мы приводить не будем, а рассмотрим некоторые понятия показателей надежности. Показатели надежности делятся на единичные и комплексные.

К единичным показателям относятся: вероятность безотказной работы машины; интенсивность отказов; средняя наработка на отказ; гамма-процентный ресурс.

Основным комплексным показателем надёжности является коэффициент готовности. К комплексным показателям надежности относятся также средние и удельные показатели трудоемкости и стоимости технического обслуживания и ремонта.



### 2.1.1. Единичные показатели надёжности изделия

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  – это вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки отказ изделия не возникнет. Вероятность безотказной работы выражается в долях единицы или в процентах и изменяется от единицы до нуля.

В связи со стохастическим характером свойств материалов изделия, начальных выходных параметров, характеризующих его предельное состояние, условий эксплуатации и др., срок  $T$  службы изделия до отказа также имеет стохастический характер и формирование закона распределения времени безотказной работы изделия (рис. 2.1) может быть представлено следующим образом.

Если представить линиями  $X(t)$  траектории случайного процесса изменения параметра  $X$  (частного или обобщенного для определенного изделия) для  $n$  изделий, а  $X^*$  считать его допустимым значением, то по количеству изделий, достигших значения  $X_{пж}$  за время  $t_h$  можно построить кривую плотности вероятности времени безотказной работы этого изделия.

Кривая плотности характеризует закон распределения времени работы изделия до отказа.

Закон распределения времени безотказной работы изделия, выраженный в дифференциальной форме в виде плотности вероятности  $f(t)$  или в интегральной форме в виде функции распределения  $F(t)$ , дает полную характеристику надежности изделия: вероятность безотказной работы  $P(t)$ , математическое ожидание  $m(t)$  и дисперсию  $D$  или среднее квадратичное отклонение и другие численные характеристики. Знание этого закона для определенного типа изделия позволяет оценить наработку до отказа не конкретных изделий, прошедших испытания, в результате чего установлено время их наработок до отказа, а прогнозировать поведение изделия, принадлежащего всей генеральной их совокупности при оценке вероятности возникновения отказов.

В общем случае вероятность безотказной работы по статистическим данным об отказах оценивается выражением

$$\bar{E}(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} = 1 - \frac{n(t)}{N_0},$$

где  $\bar{P}(t)$  – статистическая оценка вероятности безотказной работы;  $N_0$  – число изделий в начале испытания;  $n(t)$  – число отказавших изделий за время  $t$ .

При большом количестве изделий  $N_0$  статистическая оценка  $\bar{P}(t)$  практически совпадает с вероятностью безотказной работы  $P(t)$ .

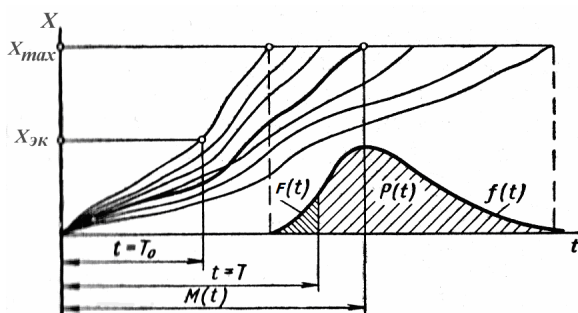


Рис. 2.1. Формирование закона распределения времени безотказной работы:  $f(t)$  – плотность вероятности;  $t = T$  – срок службы изделия – наработка до отказа;  $M(t)$  – математическое ожидание закона распределения

Дифференциальная функция распределения  $f(x)$  позволяет определить безусловную вероятность наступления отказа в заданном промежутке. Вероятность того, что отказ наступит в интервале от  $t$  до  $t + \Delta t$ , равняется  $f(x)\Delta t$ ; соответственно в интервале от  $t_1$  до  $t_2$  ( $t_1 \leq t \leq t_2$ ) вероятность будет

$$F(t) = \int_{t_1}^{t_2} f(t)dt.$$

Вероятность безотказной работы за время наработки  $t$

$$P(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = \int_t^{\infty} f(t)dt.$$

Теория вероятностей дает много различных законов распределения случайных величин: нормальное распределение; логарифмически нормальное распределение; равномерное распределение; распределение Вейбула; геометрическое распределение; экспоненциальные распределения и др. Однако в теории надежности применяются только те из них, которые наиболее достоверно отображают процессы формирования отказов.

Основой для использования определенного вида закона распределения служит накопленный опыт, полученный при испытании различного типа изделий или образцов, а также сведения об аналогах, эксплуатационные наблюдения или теоретические предпосылки. Выбор закона распределения времени работы изделия до отказа является ответственным этапом в прогнозировании надежности изделия (если он, вообще, имеет параметрическую зависимость) и будет достаточно точно истолкован только в том случае, если он принят на основе рассмотрения модели отказа, описывающей процесс повреждения изделия и формирование в результате этого определенного закона  $f(t)$ .

Когда распределение сроков службы не подчиняется каким-либо законам, используют так называемый *непараметрический* метод.

Интенсивность отказов – условная плотность вероятности возникновения отказа невозстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возникал.

Аналитически интенсивность отказов  $\lambda(t)$  определяется по известному закону распределения отказов:

$$\lambda(t) = f(t)/P(t),$$

где  $f(t)$  – плотность распределения наработки до отказа;  
 $P(t)$  – вероятность безотказной работы.

Средняя наработка на отказ определяет отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки. Оценка наработки на отказ определяется формулой

$$\bar{T}_0 = \sum_{i=1}^N t_i / N_r ,$$

где  $t_i$  – момент  $r$ -го отказа  $i$ -го объекта.

Величина наработки на отказ в общем случае зависит от длительности испытаний. Это обусловлено непостоянством потока отказов по времени испытаний.

Гамма-процентный ресурс – наработка, в течение которой машина не достигает предельного состояния с заданной вероятностью процентов. Гамма-процентный ресурс определяется из уравнения

$$1 - F(t\gamma) = \gamma/100,$$

где  $t\gamma$  – гамма-процентная наработка до отказа.

Заданный гамма-процентный ресурс является регламентированной вероятностью (для тракторов и сельскохозяйственных машин  $\gamma = 0,95-0,8$ ).

### 2.1.2. Комплексные показатели надежности изделия

Основным комплексным показателем надёжности машины является коэффициент готовности, определяющий вероятность того, что объект (трактор) окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме периодов, когда применение объекта по назначению не предусмотрено. Коэффициент готовности статистически определяется отношением суммарного времени пребывания наблюдаемого объекта в работоспособном состоянии к суммарному времени продолжительности эксплуатации.

Для тракторов и сельскохозяйственных машин, проходящих испытания, условия эксплуатации характеризуются немедленным восстановлением отказавшего узла. В этом случае коэффициент готовности определяется по формуле

$$K_T = T_0 / (T_0 + T_B),$$

где  $T_0$  – наработка на отказ;  $T_B$  – среднее время восстановления (устранение технических отказов по неисправностям).

Отношение математического ожидания интервалов времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий интервалов времени пребывания объекта в работоспособном состоянии, времени простоев, обусловленных техническим обслуживанием, и времени ремонтов за тот же период эксплуатации называется коэффициентом технического использования.

Для тракторов и сельскохозяйственных машин, когда наработка испытываемых машин различна, формула коэффициента технического обслуживания преобразуется в виде

$$K_{тн} = T_{сум} / (T_{сум} + T_{рем} + T_{обс}),$$

где  $T_{сум}$  – суммарная наработка всех испытываемых машин;  
 $T_{рем}$  – суммарное время простоев из-за плановых и внеплановых ремонтов всех испытываемых машин;  $T_{обс}$  – суммарное время простоев из-за планового и внепланового технического обслуживания машин.

Время простоев по организационным причинам при определении коэффициента технического использования не учитывается. Как указывалось ранее, к комплексным показателям надежности относятся также средние и удельные показатели трудоемкости и стоимости технического обслуживания и ремонта.

Показатели надежности сельскохозяйственных машин определяются при эксплуатационных или ускоренных испытаниях. На практике с учетом сезонности сельскохозяйственных работ и зависимости эксплуатационных испытаний от метеорологических условий при испытаниях совмещают рядовую эксплуатацию сельскохозяйственных машин с имитацией выполнения различных сельскохозяйственных операций или с применением специального оборудования для воспроизведения нагрузок на силовые и несущие элементы конструкции машины.

## **2.2. Ускоренные испытания**

### **2.2.1. Методы ускоренных испытаний**

Испытания на надежность – наиболее дорогой и продолжительный вид испытаний. Доля затрат на их проведение для разных групп сельскохозяйственных машин составляет 39–75 % общей стоимости испытаний. Для уменьшения сроков и снижения стоимости используют методы ускоренных испытаний. Объем испытаний по ускоренной методике может составлять 40–60 % планируемой наработки.

Целью ускоренных испытаний является получение информации о надежности машины в более короткие сроки, чем в условиях рядовой эксплуатации. Ускоренные испытания *форсируют* процессы усталости металла, разрушения и износа машины.

Чем больше приходится интенсифицировать нагрузки и ужесточать условия испытаний, тем внимательнее следует относиться к обеспечению качественной и количественной сопоставляемости результатов ускоренных испытаний и результатов эксплуатации. Основой выбора режимов ускоренных испытаний является воспроизведение физической картины отказа, возникавшего в условиях реальной эксплуатации. Под физической картиной отказа понимают вид отказа (внезапная поломка, поломка от усталости и т.д.), место возникновения отказа, форму изношенной поверхности, вид излома и т.д. Ускоренные испытания существенно дополняют полевые испытания машины. К сожалению, при ускоренных испытаниях степень интенсификации отказов оказывается различной для разных деталей. Поэтому степень сокращения продолжительности испытаний должна быть разной.

Для сокращения сроков испытаний применяются три направления.

1. Идеальное моделирование действительных условий испытаний. Отметим, что это возможно в редких случаях. Невозможно, например, смоделировать условия работы комбайна в межсезонье.

2. Максимальное уплотнение рабочего времени за счет введения трехсменной работы, испытаний одной машины в разных климатических зонах страны.

3. Часть нагрузки осуществляется в нормальных полевых условиях, при этом определяют основные агротехнические показатели машины. Оставшаяся нагрузка реализуется на стендах, которые обеспечивают характер износа и деформаций, близкий к тому, который возникает в эксплуатации.

### 2.2.2. Ускоренные испытания в реальных условиях

*Уплотненные по времени испытания.* Уплотненными по времени будем называть такие испытания, при которых ускоренное получение информации достигается без интенсификации (в сравнении с эксплуатацией) физико-химического процесса разрушения (без увеличения силового, объемного, поверхностного и других нагружений). Уплотнение времени достигается: круглосуточными испытаниями, что позволяет увеличить наработку в сравнении с нормальной эксплуатацией, где имеются простои в течение суток; учащенным приложением нагрузки; имитацией воздействия рабочей среды на сельскохозяй-

зайственную машину, что позволяет как бы продолжить сезон эксплуатации, который, как правило, короток; воспроизведением неблагоприятного, но реального сочетания конструктивных, производственных, силовых, абразивных, климатических и других факторов (граничные испытания) и т. д.

Большое достоинство уплотненных испытаний – достижение эффекта ускорения без искажения физической картины потери объектом работоспособности.

Сокращения времени испытаний достигают: за счет увеличения длительности работы в течение суток; проведения испытаний в неагротехнические сроки (на почвенных полигонах и стендах); совмещения циклов технологического процесса и уменьшения времени простоев между ними (имитация); перемещения объекта по климатическим зонам; увеличения номинальных эксплуатационных нагрузок и учащенного воспроизведения нагрузок, близких к максимальным эксплуатационным (форсированные испытания).

*Учащенные испытания.* Если при учащенных испытаниях известно, что частота приложения нагрузки увеличена в  $K_p$  раз или объект реализовал наработку в  $K_p$  раз большую за календарное время, чем в эксплуатации, то средний ресурс, полученный при ускоренных испытаниях  $T_y$ , пересчитывается на ожидаемый средний ресурс в эксплуатации  $T_э$ :

$$T_э = K_p T_y,$$

где  $K_p$  – коэффициент перехода (ускорения).

*Ужесточенные по нагружению (форсированные) испытания.* Ужесточенными по нагружению испытаниями будем называть такие, при которых ускоренное получение информации достигается с интенсификацией (в сравнении с эксплуатацией) физико-химического процесса разрушения (с увеличением силового – объемного, поверхностного и др. нагружения).

Ужесточенные испытания сокращают время проведения испытаний, однако их следует использовать весьма осторожно, поскольку результаты этих испытаний могут не соответствовать данным эксплуатации. Другими словами, отказы при ускоренных испытаниях могут не повторяться в эксплуатации, и смысл таких ускоренных испытаний теряется. Чтобы обеспечить эффективность ужесточенных испытаний, необходимо соблюсти их подобие эксплуатационным ис-

пытаниям. Подобие испытаний можно сформулировать с двух позиций: физическое и математическое.

Бывают случаи, когда использование напряженных режимов не обеспечивает желаемой степени сокращения испытаний. Тогда необходимо ужесточить условия эксплуатации. Например, для ускоренной оценки стойкости гильз цилиндров двигателя внутреннего сгорания против кавитации искусственно увеличивают зазор между поршнем и гильзой до 0,25–0,35 мм.

При выборе режима ускоренных испытаний следует учитывать особенности эксплуатации машины, иначе ценность проведенных работ окажется низкой. Например, в 50-е годы пытались оценить надежность пусковых двигателей при помощи непрерывных 100-часовых стендовых испытаний в режиме полной мощности. Пусковые двигатели хорошо выдерживали испытания, но в эксплуатационных условиях не обеспечивали нормальной работы трактора даже в течение одного сезона. А за сезон работы трактора пусковой двигатель используется не более 25–40 ч, но при этом работает все время на режиме запуска.

Наиболее сложный и ответственный момент ускоренных испытаний – *выбор режимов полигонных и стендовых испытаний*. Для выбора режимов испытаний анализируют конструкционные и технологические особенности изделия, определяют основные внешние воздействия, оказывающие наибольшее влияние на надежность изделия. Затем устанавливают типичные и экстремальные эксплуатационные режимы нагружения и воздействия среды и их характеристики. В качестве характеристик нагружения (рис. 2.2) используют энергозатраты, нагруженность элементов машин или эксплуатационные показатели (производительность, пропускная способность и др.).

Большинство факторов, влияющих на характеристики нагружения, являются случайными функциями. Наибольшее влияние на нагруженность сельскохозяйственных машин оказывают условия эксплуатации (профиль почвенно-дорожных фонов, неоднородность физико-механических свойств почвы и т. д.) и режимы работы, определяемые вариацией сопротивления машин и вращающего момента на ВОМ трактора.



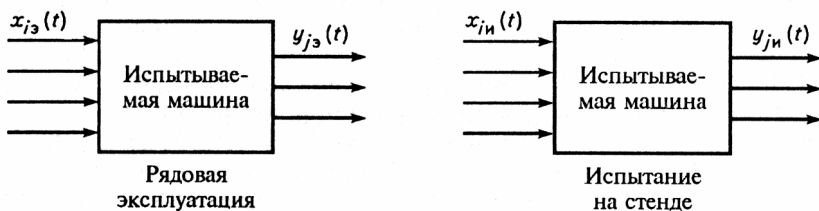


Рис. 2.2. Схема обоснования режимов ускоренных испытаний:  
 $X_{jэ}(t)$ ,  $X_{ji}(t)$  и  $Y_{jэ}(t)$ ,  $Y_{ji}(t)$  – случайные функции факторов нагружения  
и характеристик нагруженности элементов испытываемой машины  
в условиях нормальной эксплуатации и на испытательном стенде

Режимы работы МТА характеризуются периодичностью и числом включений рычагов и педалей механизмов управления. Количественные характеристики нагружения определяют по результатам тензометрирования, с помощью классификаторов нагрузок СИН-404 и режимов СИН-403 или других аттестованных измерительных средств.

Критерии соответствия режимов ускоренных испытаний и испытаний в условиях рядовой эксплуатации – соблюдение условия (2.1)–(2.4) для средних значений характеристик нагружения  $J_{jэ}$  и  $J_{ji}$ , их дисперсий  $D_{y_{jэ}}$  и  $D_{y_{ji}}$ , корреляционных функций  $R_{y_{jэ}}(\tau)$  и  $R_{y_{ji}}(\tau)$  и функций спектральных плотностей  $S_{\omega y_{jэ}}(\tau)$  и  $S_{\omega y_{ji}}(\tau)$ .

$$\left| \bar{y}_{jэ} - \bar{y}_{ji} \right| / \bar{y}_{ji} \leq \varepsilon_{yj}; \quad (2.1)$$

$$\left| D_{y_{jэ}} - D_{y_{ji}} \right| / D_{y_{ji}} \leq \varepsilon_{D_{yj}}; \quad (2.2)$$

$$\left| R_{y_{jэ}}(\tau) - R_{y_{ji}}(\tau) \right| / R_{y_{ji}}(\tau) \leq \varepsilon_{R_{yj}}; \quad (2.3)$$

$$\left| S_{\omega y_{jэ}}(\tau) - S_{\omega y_{ji}}(\tau) \right| / S_{\omega y_{ji}}(\tau) \leq \varepsilon_{S_{\omega yj}}, \quad (2.4)$$

где  $\varepsilon_{yj}$ ,  $\varepsilon_{D_{yj}}$ ,  $\varepsilon_{R_{yj}(\tau)}$  и  $\varepsilon_{S_{\omega yj}(\tau)}$  – относительные отклонения статистических характеристик случайных функций характеристик нагруженности  $J_j(t)$ .

Относительные отклонения по этим характеристикам в соответствии с ОСТ 23.2.158 должны быть не более 20 % при доверительной вероятности  $\beta = 0,8$ .

Эффективность методов ускоренных испытаний оценивают по коэффициенту ускорения по времени, которое равно отношению календарного времени работы объектов в условиях эксплуатации к календарной продолжительности ускоренных испытаний до появления одинаковых повреждений или отказов или достижения предельного состояния:

$$K_y = T_y / T_z,$$

где  $T_z$  и  $T_y$  – время работы объектов в условиях эксплуатации и продолжительности испытания.

### 2.2.3. Полигонные испытания

Полигонные испытания проводят на естественных или искусственных полигонах. Под естественным полигоном понимается фон (поле, дорога, технологическая среда и т.д.), типичный для зоны эксплуатации машин. При выборе поля под естественный полигон учитывают механический состав почвы, удельное сопротивление, твердость и влажность. Участок должен быть характерным по длине гона, микро- и макрорельефу. Площадь участка полигона для испытания отдельной машины должна обеспечить дневную наработку.

Искусственный полигон представляет собой дорожку (трек) с устанавливаемыми на ней одинаковыми или различными препятствиями для проведения испытания машин на эксплуатационном или форсированном режиме. Для имитации воздействия на испытываемый объект внешних нагрузок используют специальные нагрузочные устройства. Трек должен состоять из замкнутой дороги, выезда, устройств для обеспечения автоматизированного вождения и безопасности движения.

Трек для прочностных испытаний обычно является составной частью испытательного полигона, представляющего собой сложный комплекс сооружений различного назначения. Сюда входят трек для тяговых и прочностных испытаний, грязевая ванна для испытания ходовой части, дорожки для испытания тракторов на управляемость, горки для испытания на устойчивость, водяные бассейны с бродами и другие сооружения, назначение которых определяется задачами создания полигона.

Трек для тяговых и прочностных испытаний (рис. 2.3, а) включает несколько дорог замкнутой формы с прямолинейными участками до полукилометра длиной. Здесь имеются дороги для тяговых испытаний колесных и гусеничных тракторов с фонами для высших и низших тяговых показателей и дорога 5 с препятствиями. Фонами высших тяговых показателей служат для колесных тракторов бетонная дорога 3, для гусеничных – плотная грунтовая дорога 2 со специальным гудронированным покрытием, фоном низших тяговых показателей служит песчаная дорога 1, засыпанная сортированным песком.

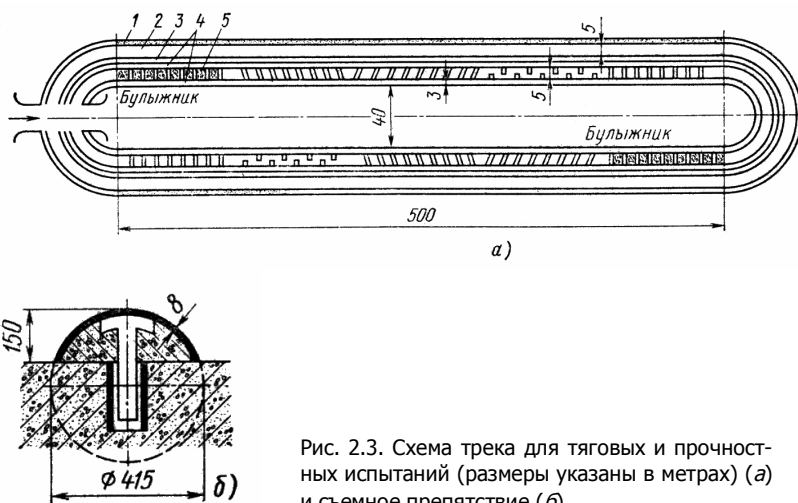


Рис. 2.3. Схема трека для тяговых и прочностных испытаний (размеры указаны в метрах) (а) и съемное препятствие (б)

Дорога препятствий по бокам окантована асфальтированными дорожками 4 для проезда подвижной тензометрической лаборатории и прицепных лабораторных агрегатов.

Существенная часть амплитудного спектра динамических нагрузок от неровностей пути может быть приблизительно воспроизведена небольшим набором искусственных препятствий, расположенных последовательно и в шахматном порядке. Например, на треке для испытаний трактора класса 1,4 т достаточно иметь препятствия высотой 50 мм (булыжная мостовая), 70, 120 и 150 мм (трубы) в количественном соотношении 3:3:3:2. Препятствия выполняют съем-

ными (рис. 2.3, б) с целью перестройки дороги для испытаний различных объектов. Иногда в качестве препятствий, создающих динамические нагрузки, на треке устраивают воронки, ямы и канавы.

Управление испытуемым трактором на треках осуществляют из прицепной лаборатории, которая имеет шасси с уширенной колеи, для того чтобы колеса лаборатории катились по асфальтированным дорожкам, расположенным по сторонам дороги препятствий. Возможно также автоматическое вождение трактора по дороге препятствий.

Требования к оборудованию для ускоренных испытаний определены ОСТ 23.1.160.

#### 2.2.4. Ускоренные испытания в лабораторных условиях

Испытания на надежность проводят в лабораторных условиях с применением специальных стендов, которые подразделяют на комплексные (для испытания изделий в целом) и специальные (для испытания составных частей изделия или комплектующих изделий).

В условиях стендовых испытаний часто проверяется не вся машина, а отдельные ее сборочные единицы. Подвергаются оценке такие показатели, как качество обмолота, равномерность распределения семян сеялкой, надежность (жесткость рамы, деформации корпуса редуктора, нарушение плотности соединений деталей). Для выявления наименее прочных деталей проводят испытания агрегата на статическую прочность. В этом случае агрегат (машину) присоединяют входным валом к крутильной машине, выходная часть агрегата блокируется. На режимах, определенных методикой испытаний, производят закрутку до разрушения какой-либо детали, входящей в испытываемый агрегат. Сокращения продолжительности испытаний можно достигать без ужесточения режимов и условий работы машины или с ужесточением режимов и условий работы. В первом случае создается более высокая временная нагрузка изделия за период испытаний, чем при нормальной эксплуатации. Во втором случае на машины действуют увеличенные по амплитуде и частоте нагрузки по сравнению с нормальными. Режим увеличенных временных нагрузок применяют при испытаниях на усталость и выносливость (например, для зубчатых передач). Режим ужесточенных нагрузок может исполь-

зоваться только при испытаниях отдельных деталей, подвергающихся в эксплуатации кратковременной или периодической нагрузке (например, для гидроцилиндра подъема жатки, пальца мотовила). Применяя повышенные нагрузки, следует обязательно обеспечивать нормальную смазку трущихся поверхностей. Иначе может возникнуть интенсивный износ или заклинивание (задиры) взаимодействующих поверхностей.

Стенд для проведения комплексных испытаний на надежность самоходных зерноуборочных комбайнов состоит из опорных площадок для ведущих 1 и ведомых 2 колес (рис. 2.4). Он оборудован системой электрогидравлических тормозов ведущих колес, моло-

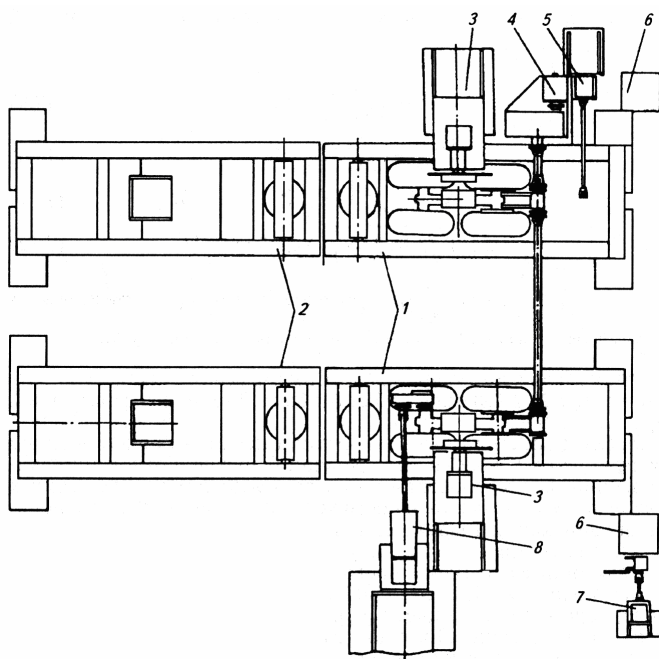


Рис.2.4. Схема стенда для испытания на надёжность зерноуборочного комбайна «Дон-1500»: 1 и 2 – площадка для ведущего и ведомого колёс; 3 – упор бокового смещения; 4 – привод тормоза ходовой части; 5 – привод тормоза наклонной камеры; 6 – опора; 7 – привод тормоза шнека жатки; 8 – привод тормоза молотильного барабана

тильного барабана, шнека жатки и транспортера наклонной камеры. Боковое смещение комбайна в процессе испытаний ограничивается специальным упором 3.

Благодаря аппаратуре управления стенда можно моделировать воздействие на несущие элементы комбайна неровностей поля и случайные функции вращающих моментов в приводах ведущих колес и основных технологических систем комбайна.

Для доработки конструкции новых комбайнов целесообразно использовать специальные стенды для ресурсных испытаний отдельных конструктивных элементов.

Система стендового обеспечения для испытания отдельных элементов зерноуборочного комбайна приведена на рис. 2.5. Стрелками на рисунке показаны виды силовых воздействий, моделируемых аппаратурой управления на каждом из приведенных стендов.

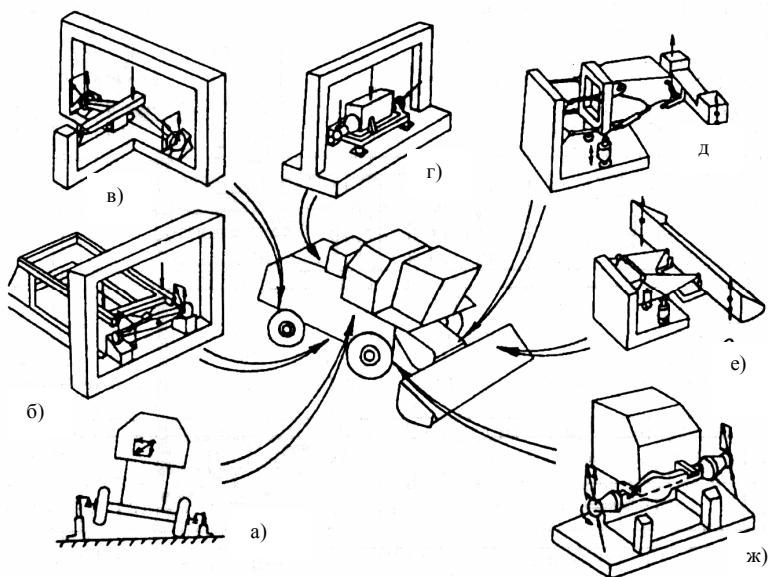


Рис. 2.5. Стенды для испытания отдельных элементов зерноуборочного комбайна: а – каркаса молотилки и площадки водителя; б – рамы молотилки; в – балки управляемого моста; г – подмоторной рамы; д – каркаса наклонной камеры; е – каркаса жатки; ж – кожуха ведущего моста

Для имитации неровностей поля или дороги при испытании транспортных, транспортно-технологических или прицепных машин в транспортном положении используют беговые барабаны или движущиеся ленты, на которые устанавливают с определенной частотой различные препятствия. Типичная схема такого стенда показана на рис. 2.6. К его основным составным частям относятся ленточный стенд 4 и стенд для моделирования нагрузок на навеску трактора с установкой «Цикл».

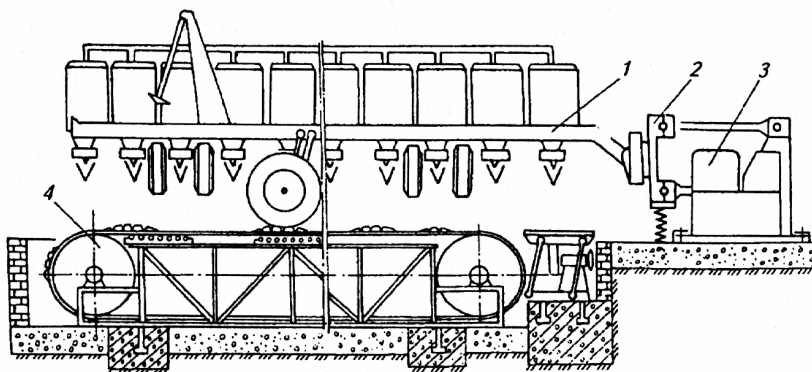


Рис. 2.6. Схема комплекса технических средств для ускоренных испытаний (широкозахватная сеялка в транспортном положении): 1 – испытываемая сеялка; 2 – стенд для испытания навесных машин; 3 – установка «Цикл»; 4 – ленточный стенд

В зависимости от причины потери работоспособности специальные испытания проводят на усталость, износостойкость, коррозионную стойкость, а также при сочетании нескольких видов воздействия.

Технические устройства для проведения стендовых испытаний должны удовлетворять следующим требованиям: высокой производительности и надежности; точности и стабильности заданных режимов работы; удобству их установки и возможности реализации различных режимов нагружения; удобству и высокой точности измерения создаваемых нагрузок; универсальности основных блоков и возможности переоборудования установки под различные типы испытываемых объектов и режимы деформирования; минимальным

энергозатратам; обеспечению требований безопасности; возможности создания различных условий испытаний (корродирующая среда, высокие и низкие температуры, содержание пыли и влаги и т. д.).

Целесообразно компоновать стенды из унифицированных устройств нагружения, управления и крепления, обеспечивающих установку на стенде различных машин. Общая блок-схема стенда представлена на рис. 2.7.

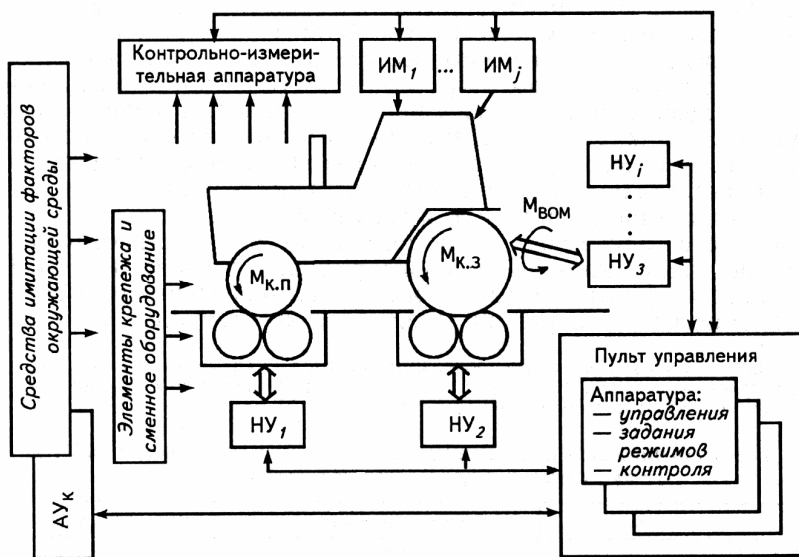


Рис. 2.7. Блок-схема стенда для ускоренных испытаний:

НУ<sub>і</sub> – нагружающие устройства для имитации эксплуатационных нагрузок;  
 ИМ<sub>ј</sub> – исполнительные механизмы управления трактором или машиной;  
 АУ<sub>к</sub> – аппаратура управления; М<sub>к.п</sub>, М<sub>к.з</sub> и М<sub>в.ом</sub> – вращающие моменты соответственно на передних, задних колесах и ВОМ трактора

В зависимости от конструкции стенда применяют различные способы задания внешних нагрузок: имитацию периодической нагрузки с постоянной амплитудой; блок-программное ступенчатое изменение нагрузки или имитацию случайного нагружения.



Для задания нагрузки с постоянной амплитудой и при блок-программном нагружении для условий эксплуатации определяют случайные функции нагружения  $y_{jэ(t)}$  для одной рабочей смены и различных режимов работы. Затем подсчитывают среднее значение параметра нагружения  $y_{jэ}$  и по смешанному распределению амплитуд выбирают максимальное значение амплитуды цикла  $\sigma_{amax}$  такое, вероятность превышения которого будет не более  $P(\sigma_a > \sigma_{amax}) \approx 10^{-5} - 10^{-6}$ . При построении блока нагружения учитывают амплитуды вариации нагрузок, удовлетворяющие условию

$$(0,1 \dots 0,2)\sigma_{amax} \leq \sigma_{ai} \leq \sigma_{amax}.$$

Полученный диапазон изменения амплитуд  $\sigma_{ai}$  разбивают на классы. Их число должно быть не менее 6–8. Для каждого класса амплитуд подсчитывают число циклов  $n_i$ . По результатам обработки статистических данных строят диаграмму блока нагружения (рис. 2.8). Построение производится в соответствии со стандартной методикой. Блоки нагружения строят для каждой из характеристик нагружения  $U_{iэ} - (t)$ .

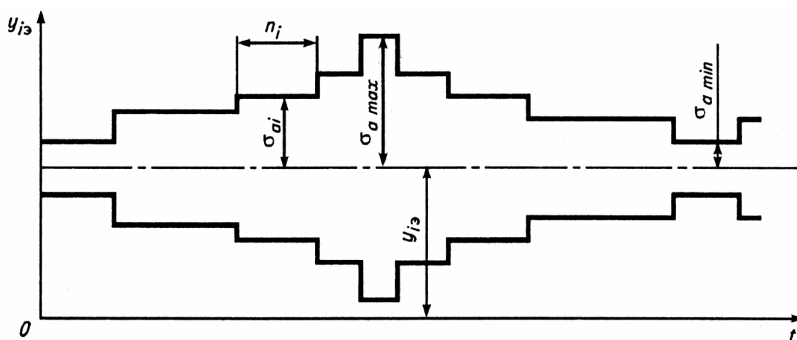


Рис. 2.8. Однопараметрический программный блок нагружения:  
 $\sigma_{ai}$  – амплитуда нагрузок  $i$ -го уровня;  $n_i$  – количество циклов  
на  $i$ -м уровне в блоке нагружения;  $y_{jэ}$  – среднее значение параметра

Частоту и число повторений блоков нагружения при испытании выбирают такими, чтобы первая поломка наступала не ранее 15–20 повторений.

При моделировании случайных функций нагружения на стендах можно с большей точностью имитировать условия нормальной эксплуатации в ходе испытаний. Одним из методов воспроизводят статистические характеристики случайной функции нагружения. С этой целью используют генераторы случайных сигналов, продолжительные магнитофильмы или марковские матрицы случайных переходов, полученные при обработке экспериментальных данных.

В инженерной практике для определения технико-экономических показателей, в том числе и показателей надежности, могут быть эффективны методы прогнозирования. Их широко применяют при обосновании показателей надежности создаваемой машины во время разработки агротехнических требований или технического задания, определении остаточного ресурса по результатам диагностирования, оценке показателей работы машин по годам эксплуатации и др. Подобные задачи требуют описания изменения параметров (характеристик) объектов в различные моменты времени или их зависимости от основных параметров (массы, мощности, числа машин в агрегате и т. д.), характеризующих конструкцию.

При наличии достаточной информации для прогнозирования показателей применяют статистические методы: экстраполяцию, интерполяцию, корреляционный и регрессионный анализ и т. д.

### **2.3. Оценка точности испытаний**

Показатели надежности сельскохозяйственных машин определяются при эксплуатационных или ускоренных испытаниях. На практике с учетом сезонности сельскохозяйственных работ и зависимости эксплуатационных испытаний от метеорологических условий при испытаниях совмещают рядовую эксплуатацию сельскохозяйственных машин с имитацией выполнения различных сельскохозяйственных операций или с применением специального оборудования для воспроизведения нагрузок на силовые и несущие элементы конструкции машины.

Математическая оценка числа образцов машин, необходимого для проведения ресурсных испытаний, с достаточной достоверностью может быть проведена по стандартным методикам (ГОСТ 27.503–81).

Стандарт предусматривает параметрический (при известном виде закона распределения исследуемой случайной величины) и непараметрический методы расчета числа образцов. Применение непараметрического метода обуславливается заданной величиной вероятности безотказной работы машины в течение некоторого времени эксплуатации с определенной доверительной вероятностью. В связи с отсутствием нормативов вероятности безотказной работы применение непараметрического метода определения необходимого числа образцов машин при испытаниях ограничено.

Для применения параметрического метода устанавливается рассеяние ресурсов, характеризуемое коэффициентом вариации  $V$ , тип распределения ресурсов и выбирается необходимая точность оценки показателей.

Распределение ресурса сложных агрегатов и узлов машин, достигающих предельного состояния вследствие износа их элементов, хорошо описывается законом Вейбулла; предварительный выбор коэффициента вариации рекомендуется проводить с учетом того, что, если в процессе испытаний фактическая величина окажется несколько меньше принятой при расчете, это лишь повысит точность оценки показателей надежности.

Исследованиями ГОСНИТИ установлено, что при комплексном разрушении деталей и узлов машины (сочетание износа, усталости и коррозии) целесообразно принимать величину коэффициента вариации  $V = 0,3-0,4$ . При  $V < 0,5$  выбор типа распределения ресурсов при оценке среднего ресурса не играет существенной роли, и для определения числа образцов машин принимается нормальное распределение ресурсов в генеральной совокупности.

Точность оценки показателей характеризуют достоверностью и величиной средней относительной погрешности. Выбранная точность оценок достоверности при прочих равных условиях оказывает решающее влияние на необходимое для испытаний число машин. Ложная экономия на количестве испытываемых образцов может обернуться большими потерями из-за неполной информации о надежности. Неоправданное увеличение количества образцов нецелесообразно технически и экономически.

При эксплуатационных испытаниях точность оценки среднего ресурса или средней наработки в целом принимается  $\delta = 0,1$  с дове-

рительной вероятностью  $\beta = 0,90$ . Расчет минимального числа машин для принятых величин коэффициента вариации при нормальном законе распределения исследуемых показателей надежности проводится по формуле

$$N = \left( V t_{\beta; N-1} / \delta \right)^2,$$

где  $V$  – ожидаемая величина коэффициента вариации;  $\delta$  – заданная относительная ошибка среднего значения показателя надежности с доверительной вероятностью  $\beta$ ;  $t_{\beta; N-1}$  – коэффициент Стьюдента (принимают по таблице).

Число образцов для конкретного вида испытаний устанавливается государственным стандартом, определяющим виды и программы испытаний.

## 2.4. Проведение испытаний, обработка и анализ результатов

### 2.4.1. Виды планов испытаний

При планировании испытаний на надежности возникает задача выбора оптимального плана, так как он определяет объем испытаний и методы решений, которые используются для установления соответствия надежности испытываемого изделия заданному уровню. Основные виды планов испытаний приведены в табл. 2.1 [8].

Таблица 2.1

Основные виды планов испытаний

Условие прекращения испытаний	Восстанавливаемость объектов в процессе испытаний		
	Не восстанавливаются и не заменяются	Заменяются	Восстанавливаются
1	2	3	4
Отказ всех объектов	$NUN$	–	–
До $r$ отказов	$NUr$	$NRr$	$NMr$
По истечении времени $T$	$NUT$	$NRT$	$NMT$
До $r$ отказов или истечении времени $T$	$NU(rT)$	$NR(rT)$	$NM(rT)$

Окончание табл. 2.1

1	2	3	4
Испытание каждого объекта до наработки $z$ (при этом возможно появление отказа или снятие с испытаний без отказа)	$NUz$	–	–
Принятие решения о прекращении испытаний в процессе работы независимо от объема наработки или отказов	$NUS$	$NRS$	$NRS$

Обозначения, принятые в таблице:  $N$  – объем выборки;  $U$  – невосстанавливаемые и незаменяемые в случае отказов;  $R$  – заменяемые в случае отказов;  $M$  – восстанавливаемые в случае отказов;  $T$  – время испытаний;  $r$  – число отказов;  $S$  – принятие решения в процессе испытаний;  $z$  – наработка до заданных условий для каждого объекта.

Для правильного выбора плана испытаний необходимо [14]:

- определить партию изделий, по результатам испытаний которой будет приниматься решение;
- определить подходящую модель распределения отказов во времени;
- выбрать план испытаний, основанный на принятом распределении.

#### 2.4.2. Выбор однородной партии

Большинство стандартных методов, используемых при испытаниях надежности изделия, основывается на допущении, что наработка на отказ (или среднее время между отказами) для всех изделий выбранной партии распределено одинаково, т. е. причина отказа одна и та же. Такая партия называется статистически однородной, и только такая партия должна быть отобрана для проведения испытаний на надежность.

Однородность партии обеспечивается однородностью материала изделия, а также технологии изготовления. Если партия статистически неоднородна, то выводы, основанные на предположении ее однородности, могут оказаться неверными. Более того, отказы слож-

ных систем машин, прошедших несколько циклов отказов и ремонта в условиях хозяйства или ремонтных мастерских, могут в дальнейшем подчиняться новым, отличным от начальных, закономерностям.

Если случайная выборка образцов, полученная из статистически однородной совокупности, проходит испытания в заданных условиях, то образцы будут последовательно во времени отказывать. Полученные таким способом данные представляют собой множества неотрицательных чисел, характеризующих наработки до отказа каждого из образцов.

Если испытания проводить до отказа всех образцов выборки, то результаты испытаний представят случайную, но упорядоченную выборку наблюдений. Эти эмпирические данные испытаний характеризуют закон (интегральную функцию) распределения ресурса образцов и позволяют получить его образ – эмпирический закон  $\hat{F}(x)$ .

При неограниченном возрастании объема выборки эмпирический закон  $\hat{F}(x)$  стремится к закону распределения однородной генеральной совокупности  $F(x)$ , который позволяет определить вероятностную картину надежности для любого изделия этой совокупности. Практически не всегда возможно, а часто экономически невыгодно увеличивать объем выборки, подлежащий специальным ресурсным испытаниям для уточнения закона распределения. Поэтому для увеличения объема выборки используются данные эксплуатационных испытаний сельхозмашин в различные годы и в разных регионах страны. Однако в этом случае нет гарантии однородности партии по признаку причин отказов. С точки зрения статистики задача состоит в определении того, является ли наблюдаемый разброс наработки случайным, присущим однородной партии, или это следствие нескольких случайных причин (различных условий испытаний по нагрузкам, качеству изготовления и др.). С этой целью проводят анализ резко выделяющихся величин с последующей их выбраковкой.

### 2.4.3. Определение точности и надежности выборки

Для определения точности  $\varepsilon$  и надежности  $P$  выборки необходимо вычислить вероятность

$$P(|\xi_{\hat{a}} - \xi_0| < \varepsilon) = P.$$

Рассмотрим решение этой задачи при выборочной оценке доли признака  $p$  и генеральной средней  $\bar{O}_0$ .

#### Оценка доли признака

В данном случае  $\xi_0 = P$  и  $\xi_{\hat{b}} = g_i / N = p_i$ .

Доверительную вероятность можно определить по формуле Лапласа

$$P = \left( \left| \frac{g_i}{N} - p_i \right| < \varepsilon \right) = \hat{O}(t), \quad (2.5)$$

где  $t$  – время проявления событий,  $t = \frac{\varepsilon}{\sigma_{q_i} / N}$ ;  $\frac{\sigma_{q_i}}{N} = \sqrt{\frac{\frac{g_i}{N} \left( 1 - \frac{g_i}{N} \right)}{N}}$ ;

$\sigma_{q_i}$  – дисперсия доли признака.

Функция  $\Phi(t)$  табулирована (табл. 2.2) [10].

Интеграл вероятности определяется по формуле

$$\hat{O}(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} \cdot dt.$$

Таблица 2.2

Таблица функций Лапласа

$t$	$\Phi(t)$	$t$	$\Phi(t)$	$t$	$\Phi(t)$
1	2	3	4	5	6
0,00	0,0000	1,00	0,6827	2,00	0,9545
0,05	0,0399	1,05	0,7063	2,05	0,9596
0,10	0,0797	1,10	0,7287	2,10	0,9643
0,15	0,1192	1,15	0,7499	2,15	0,9884
0,20	0,1585	1,20	0,7699	2,20	0,9722
0,25	0,1974	1,25	0,7887	2,25	0,9756
0,30	0,2358	1,30	0,8064	2,30	0,9786

Окончание табл. 2.2

1	2	3	4	5	6
0,35	0,2737	1,35	0,8230	2,35	0,9812
0,40	0,3108	1,40	0,8385	2,40	0,9836
0,45	0,3473	1,45	0,8529	2,45	0,9857
0,50	0,3829	1,50	0,8664	2,50	0,9876
0,55	0,4177	1,55	0,8789	2,55	0,9892
0,60	0,4515	1,60	0,8904	2,60	0,9907
0,65	0,4843	1,65	0,9011	2,65	0,9920
0,70	0,5161	1,70	0,9109	2,70	0,9931
0,75	0,5467	1,75	0,9199	2,75	0,9940
0,80	0,5763	1,80	0,9281	2,80	0,9949
0,85	0,6047	1,85	0,9357	2,85	0,9956
0,90	0,6319	1,90	0,9426	2,90	0,9963
0,95	0,6579	1,95	0,9488	2,95	0,9968
1,00	0,6827	2,00	0,9545	3,00	0,9973

Формула (2.5) связывает между собой три параметра: доверительную вероятность  $P$ , точность  $\varepsilon$  и объем выборки  $N$ . Схемы решения трех основных типовых задач, заключающихся в определении любого из этих параметров, если заданы два остальных, приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Схема решения типовой задачи

Тип задачи	Условие		Схема решения		
	Дано	Найти	1-й этап	2-й этап	3-й этап
I	$\varepsilon, N$	$P$	вычисляем $\sigma_{q_i} / N$	вычисляем $t$	определяем $P = \Phi(t)$
II	$N, P$	$\varepsilon$	вычисляем $\sigma_{q_i} / N$	определяем по табл. 2.2 $t$ из $P = \Phi(t)$	вычисляем $\varepsilon = t\sigma(g_i / N)$
III	$\varepsilon, P$	$N$	определяем по табл. 2.2 $t$ из $P = \Phi(t)$	вычисляем по формулам $N = \frac{t^2}{\varepsilon^2} \sum \frac{g_i}{N} \left(1 - \frac{g_i}{N}\right),$ если $g_i / N$ известно; $N_{\max} = \frac{t^2}{4\varepsilon^2},$ если $g_i / N$ не известно	



### Оценка генеральной средней

В данном случае имеем:  $\xi_0 = \bar{X}_0$ ,  $\xi_a = \bar{X}_a$ ;

$$P(|\bar{X}_a - \bar{X}_0| \leq \varepsilon) = \hat{O} \left( \frac{\varepsilon}{\sigma(\bar{O}_a)} \right).$$

После соответствующих преобразований эта формула примет вид

$$P(|\bar{X}_a - \bar{X}_0| \leq \varepsilon) = \hat{O} \left( \frac{\varepsilon \sqrt{N}}{\sigma_a(X_a)} \right) = \hat{O}(t). \quad (2.6)$$

Она используется при математическом анализе выборочной оценки генеральной средней и связывает между собой доверительную вероятность  $P$ , точность выборки  $\varepsilon$  и объем выборки  $N$ . Ее можно применять для аналогичных трех типов задач, рассматриваемых выше в связи с оценкой доли признака.

**Примеры:** Пусть для выборки  $N = 1000$  из некоторой генеральной совокупности  $\bar{O}_a = 168$  и  $\sigma_b = 5,92$ .

1. *Определить, в каких доверительных границах с вероятностью  $P = 0,95$  будет находиться  $X_b$ .*

Решение:

Из выражения (2.6) следует, что  $P = \Phi(t) = 0,95$ , где  $t = \varepsilon \sqrt{N} / \sigma_a$ .

В табл. 2.2 с учетом  $t$  и  $P = \Phi(t)$  находим, что  $t = 1,96$  для вероятности 0,95.

Подставляя  $N = 1000$ ;  $\sigma_b = 5,92$ , определяем точность выборки  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{t \sigma_a}{\sqrt{N}} = \frac{1,96 \cdot 5,92}{\sqrt{1000}} = 0,37.$$

Следовательно, доверительные границы будут определены как

$$168 - 0,37 \text{ и } 168 + 0,37.$$

2. Определить по данным задачи величину доверительной вероятности  $P$ , с которой может быть гарантирована предельная погрешность выборки  $\varepsilon=0,5$ .

Решение:

$$\text{Вычисляем } t: t = \frac{\varepsilon \sqrt{N}}{\sigma_{\hat{a}}} = \frac{0,5 \cdot \sqrt{1000}}{5,92} = 2,67.$$

Подставляя это значение в функцию Лапласа, получаем:  $P = \hat{O}(t) = \hat{O}(2,67) = 0,9922$ .

3. При тех же условиях определить, какой должен быть объем выборки, при котором предельная ошибка будет гарантирована с вероятностью  $P = 0,9990$ .

Решение:

Из зависимости  $P = \Phi(t) = 0,9990$  находим, что  $t = 3,29$ .

Из выражения для  $t$  получаем

$$N = \frac{t^2}{\varepsilon^2} \sigma_{\hat{a}}^2; \quad N = \frac{3,29^2}{0,5^2} \cdot 5,92^2 = 1520.$$

Аналогично решаются задачи по определению  $\varepsilon$ ,  $P$  и  $N$  при оценке доли признака  $P_i$  по выборочной частности  $g_i / N$ .

#### 2.4.4. Критерии непринятия резко выделяющихся результатов наблюдений

На практике результат, отличный от других значений, опускают, не считая нужным включать его в статистический анализ. В тех же случаях, когда имеется только подозрение, что один или несколько результатов получены ошибочно из-за влияния побочных факторов, необходима проверка по критериям принадлежности этих случайных величин генеральной совокупности.

*Оценка резко выделяющихся значений наблюдений по методу использования практически предельного поля рассеивания*

Для кривой распределения  $f(x)$  (рис.2.9) практически предельным полем рассеивания называется расстояние между такими двумя значениями  $x_1$  и  $x_2$  случайной величины, при которых площадь, ограниченная кривой  $f(x)$  и осью абсцисс на отрезке  $[x_1; x_2]$ , равна

$1-2\beta$ , где  $\beta$  – вероятность риска (брака). Обычно принимают  $2\beta = 0,0027$ ;  $\int_{x_1}^{x_2} f(x)dx = 1 - 2\beta$ .

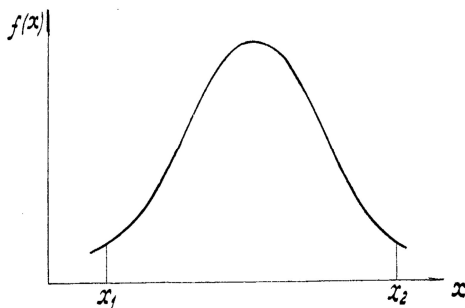


Рис. 2.9. Кривая распределения  $f(x)$

Последовательность проверки резко выделяющихся значений результатов наблюдений рассмотрим на примере.

**Пример:** Имеется ряд случайных величин двадцати опытов:

1)	3,68;	6)	5,08;	11)	2,81;	16)	4,43;
2)	3,11;	7)	2,95;	12)	4,65;	17)	3,43;
3)	4,76;	8)	6,35;	13)	3,27;	18)	3,26;
4)	2,75;	9)	3,78;	14)	4,08;	19)	2,48;
5)	4,15;	10)	4,49;	15)	4,51;	20)	4,86.

Сомнительна достоверность 8-го измерения, давшего заметно отличающийся результат – 6,35.

1. Вычисляем среднее значение 19 остальных членов (величиной 6,35 пренебрегаем) и среднее квадратичное отклонение:

$$\bar{x}' = \frac{\sum x_i}{N} = \frac{72,51}{19} = 3,82;$$

$$\sigma' = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{19} (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{11,68}{18}} = 0,805.$$

2. По таблице распределения нормированных отклонений (табл. 2.4) находим, что для  $N - 1 = 19$ , например, при  $\beta = 0,01$ ,  $t_\beta = 2,86$ .

Таблица 2.4

Распределение нормированных отклонений  $t_\beta$   
в малой выборке  $1 - \beta = N - 1$

Номер опыта	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
1	3,08	6,31	12,71	31,82	63,66	636,20
2	1,89	2,92	4,30	6,97	9,93	81,60
3	1,34	2,35	3,18	4,54	5,84	12,94
4	1,74	2,13	2,78	3,75	4,60	8,61
5	1,73	2,02	2,57	3,37	4,03	6,36
6	1,44	1,94	2,45	3,14	3,70	5,96
7	1,41	1,90	2,37	3,00	3,50	5,40
8	1,40	1,86	2,30	2,90	3,36	5,04
9	1,38	1,83	2,26	2,82	3,25	4,78
10	1,37	1,81	2,23	2,76	3,17	4,59
11	1,36	1,80	2,20	2,72	3,11	4,49
12	1,36	1,78	2,18	2,68	3,06	4,32
13	1,35	1,77	2,18	2,65	3,06	4,12
14	1,35	1,76	2,14	2,62	2,98	4,11
15	1,34	1,75	2,13	2,60	2,95	4,07
16	1,34	1,75	2,12	2,58	2,92	4,02
17	1,33	1,74	2,11	2,57	2,90	3,97
18	1,33	1,73	2,10	2,55	2,88	3,92
19	1,33	1,73	2,09	2,54	2,86	3,88
20	1,33	1,72	2,09	2,53	2,85	3,85
21	1,33	1,72	2,08	2,52	2,83	3,82
22	1,33	1,72	2,07	2,51	2,82	3,79
23	1,33	1,71	2,07	2,50	2,81	3,77
24	1,33	1,71	2,06	2,49	2,80	3,75
25	1,32	1,71	2,06	2,49	2,79	3,72
26	1,32	1,71	2,06	2,48	2,78	3,71
27	1,32	1,70	2,05	2,47	2,77	3,59
28	1,32	1,70	2,05	2,47	2,76	3,67
29	1,32	1,70	2,05	2,46	2,76	3,55
30	1,31	1,70	2,04	2,46	2,75	3,65
40	1,30	1,68	2,02	2,42	2,70	3,55
60	1,30	1,67	2,00	2,39	2,66	3,36
120	1,29	1,66	1,98	2,35	2,62	3,37
$\infty$	1,23	1,65	1,96	2,33	2,58	3,29

3. Вычисляем:  $|x_8 - \bar{x}| = 6,35 - 3,82 = 2,53$ ;  $t_\beta \sigma' = 2,86 \cdot 0,805 = 2,30$ .

Так как  $2,53 > 2,30$ , то с вероятностью  $1 - 0,01$  полученное значение 6,35 нельзя считать относящимся к распределению случайной величины признака и поэтому его не следует учитывать.

В общем виде это выражается неравенством

$$\left( |\bar{\sigma}' - \bar{\sigma}_j| - \sigma' t_\beta \right) > 0 \text{ или } \left( |\bar{\sigma}' - \bar{\sigma}_j| - \sigma' t_\beta \right) < 0,$$

где  $\bar{\sigma}'$  и  $\sigma'$  – соответственно среднее и среднее квадратичное отклонения ряда случайных величин, вычисленные без значения  $x_j$ .

Если левая часть неравенства положительная величина, число  $x_j$  отбрасывается, в противном случае – остается.

Если требуется большая вероятность ( $\beta > 0,01$ ) надежности, например:  $1 - \beta = 1 - 0,001$ , то для  $N = 19$   $t_\beta = 3,86$ .

Тогда

$t_\beta \sigma' = 3,86 \cdot 0,805 = 3,107$ , но  $(|3,82 - 6,35| - 3,107) < 0$ . Поэтому с вероятностью  $1 - \beta = 0,999$  величину 6,35 можно считать относящейся к рассеиванию исследуемого признака.

Если несколько экспериментальных данных резко отличны от остальных результатов эксперимента, необходимо без них определить  $\bar{x}'$  и  $\sigma'$ , а затем оценить каждое (из выпадающих) значение по приведенной схеме.

### *Оценка по критерию Ирвина*

В рассмотренном выше критерии при расчетах значений  $\bar{x}$  и  $\sigma$  исключаются выделяющиеся результаты эксперимента.

Критерий Ирвина основан на разности между  $x_n$  и  $x_{n+1}$  результатов измерений ( $x_n$  и  $x_{n+1}$  – два наибольших значения случайной величины).

Критерием является функция  $\lambda = x_{n+1} - x_n / \sigma$ . Эта функция табулирована Ирвином для различной надежности (табл. 2.5).

Таблица 2.5

Значения  $\lambda$  критерия Ирвина

$\lambda$	$P = 0,95$	$P = 0,99$	$\lambda$	$P = 0,95$	$P = 0,99$
2	2,8	3,7	50	1,1	1,6
3	2,2	2,9	100	1,0	1,5
10	1,5	2,0	400	0,9	1,3
20	1,3	1,8	1000	0,8	1,2
30	1,2	1,7			

Если полученное значение больше табличного для заданной надежности, то результат эксперимента является ошибочным и его надо отбросить.

**Пример.** Пусть имеем результат эксперимента в виде ряда чисел: 3; 4; 5; 6; 7; 7; 8; 9; 9; 10; 11; 17.

Определяем  $\bar{x}'$  и  $\sigma$ :

$$\bar{x}' = \frac{1}{N} \sum x_i = 8,0; \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (x_i - \bar{x})^2} = 3,71.$$

В примере  $x_{n+1} = 17$ ;  $x_n = 11$ .

Определяем  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{17 - 11}{3,71} = 1,6.$$

По табл. 2.4 находим, что для ближайшего  $N=10$   $\lambda_{0,95} = 2,23$ . Таким образом,  $(\lambda_{0,95} = 2,23) > (\lambda = 1,6)$ , поэтому значение  $x_{n+1} = 17$  следует учитывать.

## 2.4.5. Определение модели распределения

Выбранная модель распределения ресурса изделия должна быть достаточно обоснована, так как от этого зависит степень достоверности оценки надежности изделия по результатам испытаний. Многообразие материалов (металл, полимеры, композиты), из которых изготавливаются элементы конструкции машин, а также причины, вызывающие их нагружения, обуславливают и разнообразие мо-

делей распределения ресурсов этих элементов и систем. Анализ надежности элементов и систем многих конструкций в течение ряда лет их эксплуатации показывает, что наиболее часто имеют место распределения надежности по нормальному и экспоненциальному законам, а также распределение Вейбулла.

Для сведения к минимуму возможности неправильного выбора закона распределения ресурса необходимо использовать всю информацию о надежности рассматриваемых элементов. Целесообразно при этом принять следующие меры.

1. *Использование имеющихся инженерных сведений.* Инженер-испытатель (или инженер-конструктор), хорошо знакомый с испытываемым изделием, часто может иметь сведения или априорное представление относительно характеристик отказов. Он может, например, указать целесообразность применения в конкретном случае убывающей или возрастающей функции интенсивности отказов. Эти предположения могут быть и не очень точными, однако способствуют предотвращению грубых ошибок при выборе распределения.

2. *Применение графических методов оценки.* Если имеются (или могут быть получены) данные испытаний изделия, то можно воспользоваться методами графической подгонки кривых, облегчающими выбор распределения. Последующая линеаризация нелинейных функций распределения (например, распределение Вейбулла или логарифмически нормальное) позволяет определить правильность выбора этих законов распределения, а также параметры, задающие положение и форму распределения.

3. *Применение критериев согласия.* Для проверки качества согласования эмпирического распределения с гипотетическим можно воспользоваться критериями  $\chi^2$  или  $\lambda$ . Критерий Колмогорова  $\lambda$  особенно подходит для случая, когда предполагаемое распределение непрерывно, что обычно имеет место при испытаниях надежности изделия.

4. *Применение непараметрических методов.* В случае невозможности определения вида фактического распределения можно воспользоваться методом, который принято называть непараметрическим. При использовании такого метода время устанавливается равным времени, в течение которого изделие должно работать в условиях эксплуатации. Благодаря этому время как фактор исключает-

ся из испытаний и приходится только фиксировать неисправности или отказы. Метод может быть очень дорогим, если время работы в условиях эксплуатации велико. Однако если вид фактического распределения подвергается достаточно обоснованному сомнению, дополнительные расходы, связанные с проведением непараметрических испытаний, могут быть оправданы. Во многих случаях применение такого метода может оказаться наилучшим решением.

#### 2.4.6. Выбор плана испытаний

При стендовых ресурсных испытаниях чаще применяются следующие варианты планов проведения испытаний: а) до предельного состояния всей выборки ( $[NUN]$ ); б) до заданной наработки независимо от состояния объектов испытания ( $[NUT]$  или  $[NRT]$ , или  $[NMT]$ ); в) до наступления  $r$  отказов выборки ( $[NUr]$  или  $[NRr]$ , или  $[NM_r]$ ).

Вариант *а* дает наиболее полную информацию, но создает самые длительные по времени испытания. Вариант *б* дает возможность сократить время испытаний и в стендовых ресурсных испытаниях применяется чаще, чем варианты *а* и *в*. При этом предпочтительно выполнять условие

$$T = T_y + \Delta T,$$

где  $T_y$  – наработка, эквивалентная (благодаря форсированию режимов испытаний) контролируемому сроку службы;  $\Delta T$  – запас, закладываемый при испытаниях и зависящий от степени ответственности оценок показателей надежности и точности выбранных режимов.

Заранее установить длительность испытаний можно, используя вариант *б*. Вариант *в* также дает возможность сократить время испытаний. Он применим для изучения показателей безотказности объектов испытаний. При проведении стендовых ресурсных испытаний приходится в силу ряда непредвиденных причин часть объектов снимать с испытаний на разных стадиях наработки до планируемого отказа (отказы неучитываемых деталей стенда и др.). Такой процесс,



называемый *цензурированием*, может проявиться при реализации любого из вышеперечисленных вариантов планирования испытания. Он накладывает определенные условия на методы обработки полученных после испытаний результатов.

#### 2.4.7. Определение объема испытаний

До начала стендовых ресурсных испытаний ([NUN], [NUR], [NUT]) решается вопрос об объеме испытаний, т. е. определяется число повторностей опыта, которое удовлетворяет требованиям точности получаемых результатов.

Исходными данными для выбора объема испытаний являются: предельная относительная ошибка  $\varepsilon$ , доверительная вероятность интервальной оценки  $\beta$ , коэффициент вариации  $V$  распределения наработки как случайной величины, а при параметрическом методе оценки показателей надежности еще и вид закона распределения.

Как правило, объем испытаний при плане [NUN] для оценки наработки до отказа устанавливается по табл. 2.6–2.8, для оценки  $\gamma$ -процентной наработки – по табл. 2.9–2.12. Объем испытаний при плане [NUR] определяется для средней наработки до отказа по табл. 2.6–2.8, где вместо  $N$  находят значение  $r$ . Количество объектов испытания  $N$  вычисляется по следующим формулам:

– для нормального распределения

$$N = r \left[ \hat{O}_0 \left( \frac{\chi - 1}{V} \right) \right]^{-1}, \quad (2.7)$$

где  $\hat{O}_0$  – функция Лапласа (функция нормированного распределения);  $\chi = T_{\varepsilon} / T_{\text{нб}}$  – относительная продолжительность испытаний;  $T_{\varepsilon}$  – продолжительность испытаний;  $T_{\text{нб}}$  – среднее значение времени до отказов;

– для распределения Вейбулла и экспоненциального

$$N = \frac{\exp \left[ \chi \tilde{A} \left( \frac{b+1}{b} \right) \right]^b (r-0,5) + 0,5}{\exp \left[ \chi \tilde{A} \left( \frac{b+1}{b} \right) - 1 \right]}, \quad (2.8)$$

где  $\Gamma$  – гамма-функция;  $b$  – параметр распределения Вейбулла

$$\left[ e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b} \right];$$

– для логарифмически нормального распределения

$$N = r \left[ \hat{O}_0 \frac{\ln \chi}{\sqrt{\ln(V^2 + 1)}} \right]. \quad (2.9)$$

Определение объема испытаний при плане [NUT] ведется по такой же методике, как и при плане [NUR]. Если  $T_u$  не задано, то можно принять значение  $N$  и по одной из формул (2.7)–(2.9) найти  $\chi$  и  $T_4$  как для средней, так и для  $\gamma$ -процентной наработки.

Таблица 2.6

Число объектов испытаний  $N$  при плане [NUT]  
и нормальном распределении

Относительная погрешность $\varepsilon$	Односторонняя доверительная вероятность $\beta$	Коэффициент вариации $V$		
		0,1	0,2	0,3
0,10	0,80	2	4	8
	0,90	3	8	16
	0,95	5	13	26
	0,99	8	25	52
0,20	0,80	1	2	3
	0,90	3	4	6
	0,95	3	5	8
	0,99	5	8	16

Таблица 2.7

Число объектов испытаний  $N$  при плане [NUT]  
и логнормальном распределении

Относительная погрешность $\varepsilon$	Односторонняя доверительная вероятность $\beta$	Коэффициент вариации $V$			
		0,4	0,6	0,8	1,0
0,10	0,80	10	25	40	65
	0,90	25	65	100	100
	0,95	40	100	100	100
	0,99	80	100	100	100
0,20	0,80	3	6	10	20
	0,90	6	15	25	40
	0,95	10	25	40	65
	0,99	20	50	80	100

Таблица 2.8

Число объектов испытаний  $N$  при плане [NUT]  
и распределении Вейбулла

Относительная погрешность $\varepsilon$	Односторонняя доверительная вероятность $\beta$	Коэффициент вариации $V$			
		0,4	0,6	0,8	1,0
0,10	0,80	6	17	33	57
	0,90	16	45	65	100
	0,95	28	76	100	100
	0,99	59	100	100	100
0,20	0,80	1	3	6	10
	0,90	3	8	17	28
	0,95	5	15	29	48
	0,99	11	31	100	98

Таблица 2.9

Число объектов испытаний  $N$  для оценки  $\gamma$ -процентных показателей  
при плане [NUT] и нормальном распределении ( $\gamma = 80\%$ )

Относительная погрешность $\varepsilon$	Односторонняя доверительная вероятность $\beta$	Коэффициент вариации $V$		
		0,1	0,2	0,3
0,10	0,80	2	9	24
	0,90	4	20	55
	0,95	7	32	89
	0,99	14	64	100
0,20	0,80	1	3	6
	0,90	1	5	14
	0,95	2	8	23
	0,99	4	16	45

Таблица 2.10

Число объектов испытаний  $N$  для оценки  $\gamma$  -процентных показателей при плане [NUT] и логнормальном распределении ( $\gamma = 80\%$  )

Относительная погрешность $\varepsilon$	Односторонняя доверительная вероятность $\beta$	Коэффициент вариации $V$			
		0,4	0,6	0,8	1,0
0,15	0,80	10	20	33	45
	0,90	22	46	74	100
	0,95	37	76	100	100
	0,99	73	100	100	100
0,20	0,80	5	11	18	25
	0,90	12	26	42	58
	0,95	21	43	68	96
	0,99	41	85	100	100

Таблица 2.11

Число объектов испытаний  $N$  для оценки  $\gamma$  -процентных показателей при плане [NUT] и распределении Вейбулла ( $\gamma = 80\%$  )

Относительная погрешность $\varepsilon$	Односторонняя доверительная вероятность $\beta$	Коэффициент вариации $V$			
		0,4	0,6	0,8	1,0
0,15	0,80	22	55	100	100
	0,90	51	100	100	100
	0,95	83	100	100	100
	0,99	100	100	100	100
0,20	0,80	13	31	56	89
	0,90	29	72	100	100
	0,95	47	100	100	100
	0,99	94	100	100	100

Таблица 2.12

Число объектов испытаний  $N$  для оценки  $\gamma$  -процентных показателей надежности

$\frac{\gamma\%}{100}$	Односторонняя доверительная вероятность $\beta$	Число отказов $r$				
		1	2	3	4	5
0,5	0,80	–	–	8	10	13
	0,90	–	6	8	10	13
	0,95	–	8	10	13	15
	0,99	100	10	13	15	20
0,8	0,80	8	13	20	25	32
	0,90	10	15	25	32	40
	0,95	13	20	32	40	40
	0,99	20	25	32	40	50

Примечание. Для обеспечения достоверности результатов рекомендуется  $r/N > 0,2$ .

Во всех рассмотренных случаях, если по результатам испытаний коэффициент вариации окажется больше предварительно выбранного значения, то объем испытаний пересчитывается по уточненному значению коэффициента вариации и испытания должны быть соответственно продолжены.

Если вид закона распределения случайной величины неизвестен (непараметрические испытания), то объем испытаний, определяющих среднюю наработку до отказа, для испытаний на износ выбирается по табл. 2.6, а для испытаний на прочие виды разрушений – по табл. 2.8. Для определения объема испытаний при  $\gamma$ -процентной наработке до отказа следует использовать табл. 2.12. При этом необходимо задаться значениями  $r$ , а по соответствующим  $\varepsilon$  и  $\beta$  определить  $N$ .

#### 2.4.8. Точность оценок показателей надежности

Точность оценок показателей надежности при проведении стендовых ресурсных испытаний зависит от правильности выбранных режимов нагружения и характеризуется средней относительной погрешностью измерений  $\varepsilon$  и достоверностью или доверительной вероятностью, определяющей долю случаев, при которых оценка показателя надежности, полученная с данной относительной погрешностью, будет правильной в  $\beta$  случаях из ста.

Выбор точности оценок зависит от степени ответственности получаемых результатов. Точность оценок должна быть достаточной, чтобы исключить потери, неизбежные при выпуске недопроверенных, ненадежных изделий. Так, на ранних стадиях жизненного цикла машины точность может быть ниже, но должна быть высокой на стадии серийного производства. Точность должна быть повышенной при малых запасах прочности, при оценке норм расхода запасных частей, а также в случаях, когда долговечность объекта испытаний влияет на безопасность эксплуатации машины.

Оценку точности ресурса можно охарактеризовать выражением

$$\beta = P[R(1 - \varepsilon) < R \leq (1 + \varepsilon)],$$

где  $R$  – значение соответствующего показателя надежности.

Если  $R$  – наработка до отказа, то при  $\gamma = 50\%$  имеем медианный ресурс, а при  $\gamma = 80\%$  –  $\gamma$ -процентный ресурс.

Во многих случаях достаточно сделать одностороннюю оценку точности ресурса. При этом для позитивных показателей надежности (средняя наработка до отказа,  $\gamma$ -процентный ресурс) оценка ведется снизу:

$$\beta = P[R \geq R(1 - \varepsilon)].$$

Для негативных показателей надежности (интенсивность отказов) оценка ведется сверху:

$$\beta = P[R \leq R(1 + \varepsilon)].$$

Для рядовых составных частей серийных сельхозмашин  $\beta = 80-90\%$ ,  $\varepsilon = 0,1-0,2$ . Для ответственных деталей требования к этим значениям ужесточаются. Для деталей, определяющих безопасность эксплуатации,  $\beta = 99\%$ ;  $\varepsilon = 0,05-0,10$ .

## 2.4.9. Обработка экспериментальных данных

При испытаниях надежности значения исследуемых характеристик формируются в виде массива дискретных случайных чисел, по которым принято в первом приближении оценивать исследуемую характеристику по средней величине  $\bar{\delta}$ . Однако в средней величине устранена вариация случайных величин. Поэтому одной из основных задач статистической обработки результатов испытаний является построение (или выбор) такого вероятностного (теоретического) распределения, которое наилучшим образом воспроизводило бы характерные признаки полученного массива случайных величин. Задача сводится к определению по полученному статистическому ряду дифференциальной  $f(x)$  или интегральной  $F(x)$  функции распределения. При этом должны выполняться условия:

$$f(\delta) = \frac{dF(\delta)}{d\delta}; \quad f(\delta) \geq 0; \quad \int_{-\infty}^{\infty} f(\delta) d\delta = 1.$$

Для решения этой задачи полученный массив случайных величин представляется в виде полигона частностей или гистограммы распределения случайной величины в координатах «частность ( $g_i / N_i$ )

– случайная величина», либо в виде кумулятивной кривой в осях: значения признака по оси абсцисс и соответствующие им накопленные частоты  $\sum g_i / N$  по оси ординат.

После графического изображения полученного массива необходимо найти такую теоретическую функцию  $f(x)$  и  $F(x)$ , которая бы максимально приближалась к полученному статистическому распределению. Указанная задача называется задачей *выравнивания (сглаживания)* статистического ряда, а соответствующая функция  $f(x)$  или  $F(x)$  – *выравнивающей функцией*. На примере покажем последовательность действий по определению этой функции.

Для построения гистограммы или кумулятивной кривой полученный в результате эксперимента ряд значений случайных величин выстраивается в вариационный ряд с выбранным интервалом в порядке возрастания.

**Пример.** Предмет анализа – урожайность пшеницы на десяти опытных участках. Результаты наблюдений представлены ниже (варьирующий признак – урожай в ц/га):

Номер участка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x$	15,2	19,1	17,1	20,8	18,4	16,4	22	20,4	17,6	18,2

Этот простой статистический ряд для дальнейшего изучения первично обрабатывают, группируя члены совокупности, имеющие либо одни и те же значения признака (в данном случае урожайности), либо значения внутри определенного интервала. Так, например, группируя данные наблюдений по интервалам урожайности 15–17; 17–19 и т.д. (интервал 2 ц/га), получаем:

Интервал, ц/га	15– 17	17– 19	19– 21	21– 23
Число участков	2	4	3	1

Обычно бывает достаточно выбрать 10–15 интервалов равной ширины. В общем число интервалов определяется предварительным анализом наблюдений (в данном примере – 4 интервала). Число  $g$  членов совокупности одной группы называется *частотой* со-

ответствующего значения признака или интервала его значения, а общее число членов совокупности  $N$  – *объемом совокупности*.

Результат группировки, представленный двумя рядами чисел – значениями признака (или интервалами) и соответствующими им частотами, называется *вариационным рядом* или *статистическим распределением*.

Отношение частоты признака  $g$  к объему совокупности  $N$  называется *относительной частотой (частостью)* или *долей признака* и обозначается буквой  $p$ :  $p_i = g_i / N$ . Иногда удобно ввести в рассмотрение *накопленные частоты* (частости). *Накопленной частотой*  $F_i$ , соответствующей варианту  $x_i$ , называется общее число членов совокупности, имеющих значение признака, меньшее или равное данному (т. е. для которых  $X \leq x_i$ ).

Отношение накопленной частоты  $F_i$  к объему совокупности  $N$  называется *накопленной частостью* и представляет собой сумму относительных частостей, т. е.

$$\frac{F_i}{N} = \frac{\sum g_i}{N} = \sum_1^k p_i,$$

где  $k$  – порядковый номер члена совокупности, входящего в накопленную частоту и имеющего максимальное значение признака (т. е.  $X \leq x_k$ ).

В соответствии с введенными обозначениями вариационный ряд можно записать как

$x_i$	$x_1$	$x_2$	...	$x_s$
$g_i$	$g_1$	$g_2$	...	$g_s$
$p_i = \frac{g_i}{N}$	$p_1$	$p_2$	...	$p_s$
$F_i = \sum p_i$	$p_1$	$p_1 + p_2$	...	$\sum_1^s p_i$

Очевидно, что сумма всех частот равна объему совокупности и сумма всех частостей равна единице, т. е.  $\sum_1^s \frac{g_i}{N} = \sum_1^s p_i = 1$ .



В случае интервального ряда (как в рассматриваемом примере) в качестве значения признаков  $x_1$ ;  $x_2$ ;  $x_3$ , и т. д. могут быть приняты середины соответствующих интервалов. Для рассмотренного примера интервальный ряд запишем так:

$x_i$	16,0	18,0	20,0	22,0
$g_i$	2,0	4,0	3,0	1,0
$p_i$	0,2	0,4	0,3	0,1
$F_i$	0,2	0,6	0,9	1,0

При достаточном увеличении объема выработки  $N$  статистические характеристики  $p_i$  и  $\sum p_i$  приближаются к вероятностным  $f(x)$  и  $p(x)$ .

Рассмотрим порядок построения гистограмм по вариационному ряду урожайности участков, представленному в табл. 2.13.

Таблица 2.13

Исходные данные для построения гистограмм

Урожайность участка, ц/га	Номер участка				
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
$x_i - x_{i+1}$ $\Delta x = 2$ ц/га	27,5– 29,5	29,5– 31,5	31,5– 33,5	33,5– 35,5	35,5– 37,5
Частота $g_i$	3	9	23	33	38
Частость $p_i = \frac{g_i}{N}$	0,018	0,053	0,135	0,194	0,223
Сумма частостей $\sum p_i$	0,018	0,071	0,206	0,400	0,623
$x_i - x_{i+1}$ $\Delta x = 2$ ц/га	37,5– 39,5	39,5– 41,5	41,5– 43,5	43,5– 45,5	всего
Частота $g_i$	34	21	8	1	170
Частость $p_i = \frac{g_i}{N}$	0,200	0,124	0,047	0,006	0,100
Сумма частостей $\sum p_i$	0,823	0,947	0,994	1,000	–

Для графического изображения рассматриваемого вариационного ряда отложим на горизонтальной оси значения признака и изобразим точками частот каждого значения, отсчитывая ее по вертикальной оси. При этом полагаем, что все участки, попавшие в один и тот же интервал, имеют одинаковое значение урожайности, соответствующее середине всего интервала (т.е. 28,5; 30,5; 32,5 и т.д.).

Соединив точки отрезками прямой, получим ломаную линию, изображающую распределение. Такую линию называют *полигоном частостей* (рис. 2.10, а).

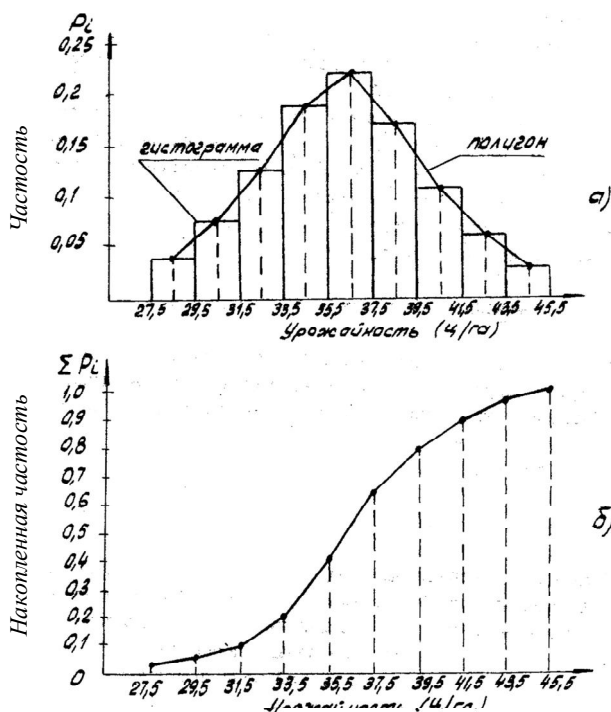


Рис. 2.10. Графики распределения случайной величины:  
а – полигон распределения случайной величины; б – кумулятивная кривая

При непрерывной вариации изменения величины признака нельзя считать, что все элементы совокупности одного и того же ин-

тервала имеют одно и то же значение признака. Потому непрерывная вариация изображается иным способом, а именно, в виде гистограммы (см. рис. 2.10, а). Разница между гистограммой и полигоном заключается в следующем. Чтобы показать, что частость 0,223 относится не только к точке, лежащей в середине интервала ( $x = 36,5$ ), а ко всему интервалу от 35,5 до 37,5, эта частость изображается не ординатой, а прямоугольником, основание которого равно ширине интервала, а высота – соответствующей частости.

Очевидно, что гистограмма изображает плотность распределения случайной величины и может рассматриваться как дифференциальная функция распределения  $f(x)$ .

Другим способом изображения вариационного ряда служит *кумулятивная кривая* (рис. 2.10, б). Для ее построения необходимо по оси абсцисс отложить значение признака, а по оси ординат – соответствующие им накопленные частости. Кумулятивная кривая, соединяющая полученные точки, представляет интегральную функцию вероятности распределения случайной величины:  $F(x) = \sum p_i(x)$ .

#### 2.4.10. Выравнивание статистического распределения аналитическим методом

Решение задачи выравнивания статического распределения осложняется неопределенностью, связанной с выбором типа выравнивающей функции и критерия наилучшего выравнивания. Появляются три проблемы:

1. Выбор типа выравнивающей функции.
2. Выбор критерия наилучшего выравнивания.
3. Определение параметров выравнивающей функции согласно критерию выравнивания.

Тип выравнивающей функции, как правило, выбирается исходя из существа изучаемой случайной величины. При этом используется накопленный опыт законов распределения отказов различной физической природы их возникновения (внезапных, постепенных и др.) [12, 15].

Положим, что изменение случайной величины подчиняется нормальному закону распределения. Тогда в качестве выравнивающей принимается функция с двумя параметрами  $\bar{x}$  и  $\sigma$ :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2} \right].$$

Рассмотрим пример выравнивания случайной величины, представленной вариационным рядом:

$x_i$	20,0	20,5	21,0	21,5	22,0	22,5
$g_i$	5	10	35	25	15	10

Подсчитано, что для этого распределения  $\bar{x} = 21,325$ ;  $\sigma^2 = 0,24$ ;  $\sigma = 0,49$ .

Выражаем функцию плотности распределения:

$$f(x) = \frac{1}{0,49\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - 21,35)^2}{2 \cdot 0,24}}.$$

Вычисляем параметр  $t$  функции плотности нормированного нормального распределения  $f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-t^2/2)$ ;  $t_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$ .

Определяем  $f(t_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-t^2/2)$  и выровненную частоту  $g'_i$ .

Функция  $f(t)$  табулирована [10],

$$g'_i = \frac{\Delta x}{\sigma} f(t_i) \sum g_i \text{ или } P_i = \frac{\Delta x}{\sigma} f(t_i),$$

где  $\Delta x$  – интервал ряда случайной величины;  $\sum g_i$  – накопленная частота (для приведенного примера  $\sum g_i = 100$ ).

Выражение  $\frac{\Delta x}{\sigma} f(t)$  – вероятность каждого интервала при расчете, что все значения интервала сосредоточены в его середине. Результаты расчета по приведенным формулам представлены ниже:

$x_i$	$g_i$	$x_i - \bar{x}$	$t_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$	$f(t_i)$	$g'_i$
20,0	5	-1,325	-2,704	0,0103	1,052
20,5	10	-0,825	-1,683	0,0966	9,865
21,0	35	-0,325	-0,663	0,3200	32,670
21,5	25	+0,175	+0,357	0,3740	38,193
22,0	15	+0,675	+1,377	0,1540	15,762
22,5	10	+1,175	+2,398	0,0220	2,296

На рис. 2.11 изображены кривые распределения случайной величины.

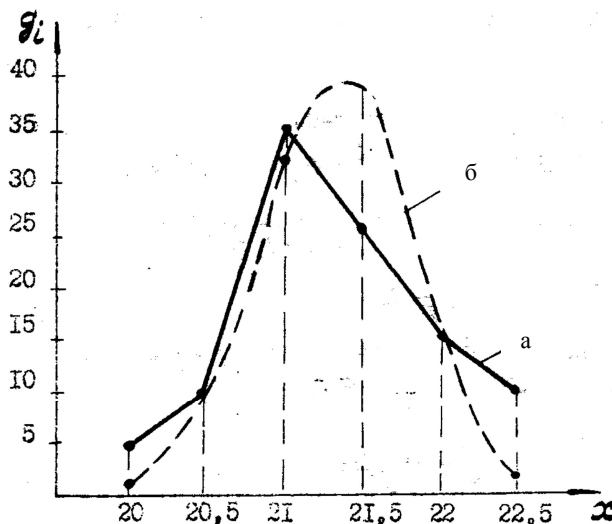


Рис. 2.11. Распределение случайной величины:  
а – эмпирическое; б – выравнивание по нормальному закону

#### 2.4.11. Сравнение эмпирических и теоретических функций распределения по критериям согласия

После выравнивания эмпирической кривой по теоретической необходимо найти вероятность того, что первая соответствует выбранному теоретическому закону. Принято считать, что эмпирическая кривая согласуется с теоретической, если вероятность согласия более 0,95 ( $1 - \beta \geq 0,95$ , т. е.  $P = 0,95$ ). В зависимости от исследуемого процесса уровень значимости допустимости риска принимается 0,010 или 0,001. Если же эта вероятность оказывается меньше, то расхождение считается существенным и возникает необходимость в подборе другой кривой. Наиболее распространены два общепризнанных критерия сравнения эмпирического и теоретического распределений: критерий Пирсона и Колмогорова.

**Критерий Пирсона  $\chi^2$ .** Для сглаживания эмпирических зависимостей применяется принцип наименьших квадратов, согласно которому *наилучшей* считается сглаживающая функция, для которой обращается в минимум сумма квадратов отклонений опытных данных от теоретической функции.

Согласно критерию Пирсона считается наилучшей та функция  $f(x)$ , для которой обращается в минимум величина

$$\chi^2 = \sum_1^s \frac{(g_i - g'_i)^2}{g'_i}.$$

В конечном счете этот метод сводится к определению параметров функции распределения из условия равенства моментов теоретического и статистического распределений.

Если функция  $f(x)$  содержит один параметр, то он выбирается из условий равенства моментов первого порядка (равенства среднего значения и математического ожидания):  $\mu_1 = \mu_1^*$ , т.е.

$$m(x) = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx = \bar{x} = \sum_1^s \frac{g_i x_i}{N}.$$

Если функция  $f(x)$  содержит два параметра (например, нормальный закон), то они выбираются из условия равенства момента первого и второго порядка:

$$\mu_1 = \mu_1^*, \text{ т. е. } m(x) = \bar{x};$$

$$\mu_2 = \mu_2^*, \text{ т. е. } D(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (x_i - \bar{x})^2 f(x) dx = \sum_1^s \frac{g_i}{N} (x_i - \bar{x})^2.$$

При наличии трех или четырех параметров в выравнивающей функции в условия включаются еще равновесия равенства моментов соответствующих порядков.

Приведена последовательность вычислений. Вычислению предшествует объединение частоты по концам распределения, встречаемость которых меньше 5.

Номер интервала	$g_i$	$g'_i$	$ g_i - g'_i $	$ g_i - g'_i ^2$	$\frac{ g_i - g'_i ^2}{g_i}$
1					
2					
.					
.					
s					

После определения  $\chi^2$  следует найти число степеней свободы:

$$K = n - r - 1,$$

где  $n$  – число сравниваемых частот (объединенные частоты на концах распределения принимаются за одну частоту);  $r$  – число параметров теоретической функции распределения.

Далее, пользуясь таблицей вероятностей для критерия Пирсона  $\chi^2$ , определяем для данного  $K$  и ближайшего значения  $\chi^2$  вероятность согласия –  $P(\chi^2_i)$  [12, 15].

**Критерий Колмогорова  $\lambda$ .** Если теоретические значения параметров распределения известны, то лучшим критерием согласия является критерий Колмогорова  $\lambda$ . При неизвестных же параметрах этот критерий также применим, но в этом случае он дает несколько завышенные оценки.

Последовательность вычислений по данному критерию:

Номер интервала	$g_i$	$g'_i$	$F_i = \sum g_i$	$F'_i = \sum g'_i$	$F_i - F'_i$
1	5	2	5	2	3
2	10	8	15	10	5
3	35	30	50	40	10
4	25	20	75	60	15
5	15	18	90	78	12

Примечания: 1.  $F_i$  – накопленная частота соответствующего варианта;  $g_i$  — общее число членов совокупности, имеющее значение признака меньше или равное данному (т.е. для которых  $x \leq x_i$  или  $F_3 = g_1 + g_2 + g_3$ ).

2. Цифры для  $g'_i$  и  $F_i$  взяты произвольно, для  $F'_i$  и  $(F_i - F'_i)$  приведены накопленные суммы соответственно эмпирических и теоретических частот.

Затем составляется разность между эмпирическими и теоретическими накопленными частотами (колонка 6) и находится максимальное значение этой разности ( $F_4 - F'_4 = 75 - 60 = 15$ ).

После этого определяется максимальное значение дисперсии случайных величин

$$D_{\max} = (F_i - F'_i)_{\max} / N,$$

где  $N = \sum g_i$ .

Коэффициент  $\lambda$  (критерий Колмогорова) находится по формуле

$$\lambda = D_{\max} \sqrt{N}.$$

Используя  $P(\lambda)$  критерия Колмогорова, для данного  $\lambda$  находим вероятность  $P(\lambda)$  того, что гипотетическая функция выбрана правильно.



## 2.4.12. Оценка показателей надежности по результатам испытаний

При проведении ресурсных стендовых испытаний характерными показателями надежности принято считать: вероятность безотказной работы, среднюю наработку до отказа (медианный ресурс),  $\gamma$  -процентную наработку до отказа. Эти показатели определяются на базе кривых вероятностей распределения наработок до отказа объекта, построенных по данным эксперимента.

Показатели надежности оцениваются двумя методами: *параметрическим* и *непараметрическим*.

*Параметрический метод оценки показателей надежности* применяется при известных видах законов распределения наработки изделий или изделия-аналога в предположении, что вид закона распределения отказов изделия и аналога одинаковы. Параметрические методы оценки надежности применяют для экспоненциального, нормального, логарифмически нормального распределения и распределения Вейбулла. В этом случае производят сглаживание экспериментального распределения и определяют параметры одним из описанных методов. В табл. 2.14 приведены формулы для вычисления основных показателей надежности по перечисленным законам распределения.

Таблица 2.14

Вычисления показателей надежности по известным законам распределения

Закон распределения	Функция распределения	Формулы		
		Средняя наработка до отказа (средний ресурс)	Вероятность безотказной работы	$\gamma$ -процентный ресурс
Экспоненциальный	$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$	$\frac{1}{\lambda}$	$e^{-\lambda t}$	$\frac{1}{\lambda} \left( -\ln \frac{\gamma}{100} \right)$
Нормальный	$F(t) = \Phi_0 \left( -\frac{t - m_t}{\sigma} \right)$	$m_t$	$\Phi_0 \left( -\frac{t - m_t}{\sigma} \right) = \Phi_0 \left( \frac{m_t - t}{\sigma} \right)$	$m_t - U_\gamma \sigma$
Логарифмически нормальный	$F(t) = \Phi_0 \left( \frac{\ln t - \ln m_t}{\sigma} \right)$	$\ln m_t$	$\Phi_0 \left( \frac{\ln t}{\sigma} \right) = \Phi_0 \left( \frac{\ln m_t}{\sigma} \right)$	$\ln m_t - U_\gamma - \sigma$
Вейбулла	$F(t) = 1 - e^{\left( -\frac{t}{a} \right)^b}$	$a \Gamma \left( \frac{b+1}{b} \right)$	$e^{\left( -\frac{t}{a} \right)^b}$	$a \left( -\ln \frac{\gamma}{100} \right)^{\frac{1}{b}}$

*Примечание.*  $\hat{O}_0$  – функция Лапласа;  $\Gamma$  – гамма-функция;  $U_\gamma$  – квантиль нормального распределения, соответствующий вероятности  $\gamma$ .

*Непараметрический* метод используется при неизвестных видах законов распределения наработки изделия и изделия-аналога.

Для расчета показателей надежности полученные при стендовых ресурсных испытаниях результаты, представляющие ряд значений времени наработки до отказа и цензурирования объекта исследования, выстраивают в вариационный ряд. Полученный вариационный ряд делят по интервалам, определяют их частоту, представляют результаты в табличной форме (табл. 2.15).

Таблица 2.15

Данные о наработке до отказа

Наименование показателей	Обозначение	Числовые значения					
Наработка до отказа	$t_j$ $0 \leq j \leq k$	$t_1$	$t_2$	...	$t_j$	...	$t_k$
Частота отказов	$r_j$	$r_1$	$r_2$	...	$r_j$	...	$r_k$
Частоты цензурирования	$n_j$	$n_1$	$n_2$	...	$n_j$	...	$n_k$
Сумма отказавших и цензурированных объектов	$m_j = r_j + n_j$	$m_1$	$m_2$	...	$m_j$	...	$m_k$

*Примечания:* 1. При плане  $[NUN]$   $\sum_{i=1}^k m_i = N$ ; при планах  $[NUR]$ ;  $[NUT]$   $\sum_{i=1}^k m_i < N$ , где  $N$  – число испытанных объектов. 2. Числовые значения  $t_j; r_j; n_j$  могут быть записаны дискретно, без интервалов.

Средняя наработка до отказа (средний ресурс) определяется в зависимости от плана испытаний.

Для плана  $[NUN]$

$$T_{\text{нб}} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N t_j. \quad (2.10)$$

Для планов [NUr], [NUT]

$$T_{\text{нб}} = \frac{1}{m} \left[ \sum_{j=1}^N T_j + (N - m)t_m \right], \quad (2.11)$$

где  $m$  – число отказавших  $r$  и цензурированных  $n$  объектов до окончания испытаний.

Предполагается, что число цензурированных деталей намного меньше, чем отказавших ( $r \gg n$ ).

Функцию распределения отказов можно определить по формуле

$$F(t_j) = 1 - \prod_{j=1}^i \frac{N_j - 1}{N_j}, \quad i = 1, \dots, r, \quad (2.12)$$

где  $N_j$  – количество работоспособных объектов испытаний до  $j$ -го отказа в вариационном ряду.

Зависимость (2.12) справедлива и для планов с наличием заметного количества цензурированных объектов, например, при планах [NUr].

В этом случае среднюю наработку до отказа (средний ресурс) можно вычислить по формуле

$$T_{\text{нб}} = \sum_{i=1}^r t_i [F(t_j) - F(t_{j-1})] + \max(t_r, \tau_n) [1 - F(t_r)],$$

где  $\tau_n$  – время прекращения испытаний в случае цензурирования в последнем числе вариационного ряда;  $t_r$  – время прекращения испытаний в случае наступления отказа, т. е. последний член вариационного ряда содержит отказ;  $\max(t_r, \tau_n)$  – значение  $t_r$  или  $\tau_r$  в последнем члене вариационного ряда;

$$F(t_{j-1}) < 1 - \frac{\gamma}{100} < F(t_j);$$

$\gamma$  -процентная наработка  $T_j$  ( $\gamma$  -процентный ресурс) независимо от планов испытаний определяется по формуле

$$T_{\gamma} = t_{j-1} + (t_j - t_{j-1}) \frac{1 - \frac{\gamma}{100} - F(t_{j-1})}{F(t_j) - F(t_{j-1})}.$$

Если  $1 - \frac{\gamma}{100} = F(t_j)$ , то  $T_{\gamma} = t_j$ .

Нижняя и верхняя доверительные границы  $\Delta T$  для средней наработки до отказа могут быть определены из следующих выражений независимо от планов испытаний, указанных для выражений (2.10), (2.11).

$$(T_{\text{нб}} - \Delta T) \leq T_{\text{нб}} \leq (T_{\text{нб}} + \Delta T); \quad \Delta T = t_{\beta} \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^r (T_{\text{нб}} - t_j)^2}{N(N-1)}},$$

где  $t_{\beta}$  – коэффициент, зависящий от объема испытаний и доверительной вероятности (см. табл. 2.14).

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агдамов Р.Н. Автоматизированные испытания в машиностроении / Р.Н. Агдамов, М.М. Белехов, И.А. Заляев. – М.: Машиностроение, 1989. – 232 с.
2. Борисов В.С. Система методов и средств ресурсных стендовых испытаний элементов конструкции зерноуборочных комбайнов: дис. ... канд. техн. наук. – Ростов н/Д, 1996. – 151 с.
3. Далальянц А.Г. Обеспечение надежности сельскохозяйственных машин: учеб. пособие / А.Г. Далальянц и др. / РГАСХМ. – Ростов н/Д, 2008. – 283 с.
4. Далальянц А.Г. Экспериментальные методы определения надежности сельскохозяйственных машин: учеб. пособие / А.Г. Далальянц / РИАТМ. – Ростов н/Д, 1995. – 78 с.
5. Длин Л.М. Математическая статистика в технике / Л.М. Длин. – М.: Сов. наука, 1958. – 466 с.

6. Коробейников А.Т. Испытания сельскохозяйственных тракторов / А.Т. Коробейников, В.С. Лихачев, В.Ф. Шолохов. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.

7. Кардашевский С.В. Испытания сельскохозяйственной техники / С.В. Кардашевский, Л.В. Погорелый, Г.М. Фудиман и др. – М.: Машиностроение, 1979. – 288 с.

8. Короткевич А.В. Основы испытаний сельскохозяйственной техники: учеб. пособие / А.В. Короткевич. – Минск: БАТУ, 1977 – 444 с.

9. Кугель Р.В. Испытания на надежность машин и их элементов / Р.В. Кугель. – М.: Машиностроение, 1982. – 244 с.

10. Кугель Р.В. Надежность машин массового производства / Р.В. Кугель. – М.: Машиностроение, 1982. – 244 с.

11. Кугель Р.В. Ускоренные ресурсные испытания в машиностроении / Р.В. Кугель. – М.: Знание, 1968. – 88 с.

12. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины. Теория, расчет, проектирование и испытания / М.Н. Летошнев. – М.; Л.: Сельхозгиз, 1955. – 759 с.

13. Проников А.С. Надежность машин / А.С. Проников. – М.: Машиностроение, 1978.– 591 с.

14. РТМ 22.2.48– 75. Методика ресурсных испытаний на усталость деталей и узлов с.-х. машин. – М.: ВИСХОМ, 1976. – 75 с.

15. РД 50-590– 89. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. – М.: ГК СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1990. – 132 с.

16. Решетов Д.Н. Надежность машин / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев.– М: Высш. шк., 1988. – 238 с.

17. Румшинский Л.З. Элементы теории вероятностей / Л.З. Румшинский. – М.: Наука, 1970.– 254 с.

18. Сборник задач по теории надежности / Под ред. А.М. Половко и И.М. Маликова. – М.: Сов. радио, 1972. – 407 с.

19. Справочник конструктора с.-х. машин: в 4 т. Т. 1 / Под ред. М.И. Клецкина; – 2-е изд., перераб. и доп.. – М.: Машиностроение, 1967. – 712 с.

20. Справочник по надежности. Т. 1; пер. с англ. / Под ред. Б.Р. Левина. – М.: Мир, 1969. – 339 с.

21. Хазов Б.Ф. Справочник по расчету надежности на стадии проектирования / Б.Ф. Хазов, Б.А. Дидусев. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.

22. Шор Я.Б. Таблицы для анализа и контроля надежности / Я.Б. Шор, Ф.И. Кузьмин. – М.: Сов. радио, 1968. – 287 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
1. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН.....	6
1.1. Цели и задачи испытаний.....	6
1.2. Виды испытаний.....	7
1.2.1. Лабораторные испытания.....	10
1.2.2. Доводочные испытания.....	13
1.2.3. Предварительные испытания.....	13
1.2.3.1. Лабораторно-полевые испытания.....	17
1.2.3.2. Агротехническая оценка.....	22
1.2.3.3. Эксплуатационно-технологическая оценка.....	38
1.2.3.4. Энергетическая оценка.....	43
1.2.4. Приёмочные (государственные) испытания машин.....	53
1.2.5. Периодические испытания.....	57
1.2.6. Типовые испытания.....	58
1.2.7. Предъявительские и сертификационные испытания.....	58
1.3. Техническая экспертиза.....	59
1.4. Оценка безопасности конструкции сельскохозяйственных машин..	68
2. ИСПЫТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН НА НАДЕЖНОСТЬ....	76
2.1. Оценочные показатели надежности при испытаниях.....	77
2.1.1. Единичные показатели надёжности изделия.....	80
2.1.2. Комплексные показатели надежности изделия.....	83
2.2. Ускоренные испытания.....	84
2.2.1. Методы ускоренных испытаний.....	84
2.2.2. Ускоренные испытания в реальных условиях.....	85
2.2.3. Полигонные испытания.....	89
2.2.4. Ускоренные испытания в лабораторных условиях.....	91
2.3. Оценка точности испытаний.....	97
2.4. Проведение испытаний, обработка и анализ результатов.....	99
2.4.1. Виды планов испытаний.....	99
2.4.2. Выбор однородной партии.....	100
2.4.3. Определение точности и надёжности выборки.....	102

2.4.4. Критерии непринятия резко выделяющихся результатов наблюдений.....	105
2.4.5. Определение модели распределения.....	109
2.4.6. Выбор плана испытаний.....	111
2.4.7. Определение объема испытаний.....	112
2.4.8. Точность оценок показателей надежности.....	116
2.4.9. Обработка экспериментальных данных.....	117
2.4.10. Выравнивание статистического распределения аналитическим методом.....	122
2.4.11. Сравнение эмпирических и теоретических функций распределения по критериям согласия.....	125
2.4.12. Оценка показателей надежности по результатам испытаний .....	128
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	131

Учебное издание

**Красноступ** Станислав Маркович

**Царёв** Юрий Александрович

**Далальянц** Ашот Георгиевич

# ИСПЫТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН И ОРУДИЙ ДЛЯ ПОЛЕВОДСТВА

Учебное пособие

Редактор А.А. Литвинова

Компьютерная обработка: Е.В. Хейгетян

Тем. план 2012 г.

---

В печать 04.12.2012.

Объём 8,4 усл. п.л. Офсет. Формат 60х84/16.

Бумага тип №3. Заказ № 657. Тираж 100 экз. Цена свободная

---

Издательский центр ДГТУ

Адрес университета и полиграфического предприятия:

344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1.