

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Сельскохозяйственные машины»

В. А. Балакин, А. А. Иванов

ИСПЫТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

КУРС ЛЕКЦИЙ

для студентов специальности 1-36 12 01

**«Проектирование и производство
сельскохозяйственной техники»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2008

УДК 613.3.001.4(075.8)
ББК 40.72я73
Б20

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 1 от 11.10.2006 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Детали машин и подъемно-транспортные механизмы» БелГУТа
д-р техн. наук, проф. *В. А. Довгяло*

Балакин, В. А.

Б20

Испытания сельскохозяйственных машин : курс лекций для студентов специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники» днев. и заоч. форм обучения / В. А. Балакин, А. А. Иванов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 104 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-700-1.

Рассмотрены общие положения по организации испытаний сельскохозяйственной техники, оценка надежности, безопасности, эргономичности и охраны окружающей среды. Особое внимание уделено агротехническим оценкам машин и орудий для обработки почвы, посева, внесения удобрений, химической защиты растений, а также зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов.

Для студентов специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 613.3.001.4(075.8)
ББК 40.72я73**

ISBN 978-985-420-700-1

© Балакин В. А., Иванов А. А., 2008
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2008

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИСПЫТАНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Сельскохозяйственная техника, подлежащая разработке и постановке на производство, должна удовлетворять требованиям заказчика, изложенным в техническом задании и другой нормативной документации, и обеспечивать возможность эффективного применения потребителем.

В соответствии с РД РБ 0410.42–95 **испытаниями** называют экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата воздействия на него при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий.

Основной формой контроля соответствия нового изделия предъявляемым требованиям являются испытания, в процессе которых экспериментально определяются количественные и качественные характеристики новых образцов техники.

Необходимость приемочных испытаний сельскохозяйственной техники подтверждает, например, такой факт, что ежегодно положительную рекомендацию (поставить изделие на производство) по результатам испытаний на Белорусской МИС получают только до 30 % испытанных образцов машин, а у остальных 70 % образцов изделий выявляются недостатки конструкции, из-за которых машины нельзя эффективно применять в сельскохозяйственном производстве.

1.1. Виды испытаний

Этапы разработки и испытаний сельскохозяйственной техники нормируются требованиями нормативных документов на продукцию производственно-технического назначения, в том числе межгосударственного стандарта ГОСТ 15001, стандарта РБ СТБ-972, специального руководящего документа РД РБ 0215.6.002 и др.

На различных стадиях жизненного цикла образца сельскохозяйственной техники, как и другой продукции производственно-технического назначения, проводятся следующие виды испытаний:

- 1) на стадии разработки технической документации – исследовательские;
- 2) на стадии изготовления опытных образцов – доводочные, предварительные, приемочные;

3) на стадии производства, включая подготовку, – квалификационные, предъявительские, приемо-сдаточные, периодические, типовые, сертификационные, инспекционные;

4) на стадии эксплуатации – подконтрольная эксплуатация, эксплуатационные периодические, инспекционные.

Исследовательские испытания при необходимости проводят на любых стадиях жизненного цикла продукции, в том числе при исследовательских работах, проектировании, выборе оптимальных способов хранения, транспортирования, ремонта и технического обслуживания. Исследовательские испытания проводятся для изучения характеристик объекта, формирования исходных требований к продукции, выбора технических решений, определения характеристик продукции и ее составных частей.

Доводочные испытания проводят на стадии научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ для оценки влияния вносимых в техническую документацию изменений, чтобы обеспечить достижение заданных значений показателей качества продукции. 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.

Цель предварительных испытаний – определение возможности предъявления образцов на приемочные испытания. Испытания проводят в соответствии со стандартом или организационно-методическим документом министерства, ведомства, предприятия. При их отсутствии необходимость испытаний определяет разработчик. Программа предварительных испытаний должна предусматривать проверку изделия в условиях эксплуатации. Предварительные испытания сельскохозяйственной техники проводят аттестованные испытательные подразделения с использованием аттестованного испытательного оборудования разработчика или изготовителя. По результатам испытаний оформляют протокол (акт, отчет) и определяют возможность предъявления изделия на приемочные испытания.

Приемочные испытания проводят для определения целесообразности и возможности постановки продукции на производство.

При приемочных испытаниях контролируют все установленные в техническом задании значения показателей и требований, как правило, в сравнении с машинами-аналогами, которые испытывают в идентичных условиях.

Квалификационные испытания проводят в следующих случаях: 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. В остальных случаях необходимость проведения квалификационных испытаний устанавливает приемочная комиссия. Испытаниям подвергают образцы из установочной серии (первой промышленной партии), а также первые образцы продукции, выпускаемой по лицензиям и освоенной на другом предприятии.

Приемосдаточные испытания проводят для принятия решения о готовности продукции к поставке или ее использованию. Испытаниям подвергают каждую изготовленную единицу продукции или выборку из партии. Испытания проводит служба технического контроля изготовителя с участием (в установленных случаях) представителя заказчика. При испытаниях контролируют значения основных параметров и работоспособность изделий. При этом контроль установленных в нормативной документации показателей надежности изделий может осуществляться косвенными методами. Порядок испытаний устанавливается в государственном стандарте, общих технических требованиях или в технических условиях, а для продукции единичного производства – в техническом задании.

Периодические испытания проводят с целью:

- периодического контроля качества продукции;
- контроля стабильности технологического процесса в период между предшествующими и очередными испытаниями;
- подтверждения возможности продолжения изготовления изделий по действующей документации и их приемки;
- подтверждения уровня качества продукции, выпущенной в течение контролируемого периода;
- подтверждения эффективности методов контроля, применяемых при приемочном контроле.

Периодическим испытаниям подвергают продукцию серийного (массового) производства. При их проведении контролируют значения показателей технических условий на изготовление. Для испытаний представляют образцы продукции, отобранные в соответствии с государственными стандартами, техническими условиями и прошедшие приемосдаточные испытания.

Типовые испытания продукции проводят для оценки эффективности и целесообразности изменений, вносимых в конструкцию или

технологический процесс. Испытаниям подвергают образцы выпускаемой продукции, в конструкцию или технологический процесс изготовления которых внесены изменения. Проводит эти испытания, как правило, изготовитель. Программу испытаний устанавливают в зависимости от характера внесенных изменений.

Инспекционные испытания проводят выборочно для контроля стабильности качества образцов готовой продукции и продукции, находящейся в эксплуатации. Их проводят специально уполномоченные организации (органы надзора, ведомственного контроля, организации, осуществляющие внешнеторговые операции и др.) в соответствии с нормативной документацией на эту продукцию по программе, установленной испытательной организацией или согласованной с ней.

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, и решения вопроса выдачи сертификата соответствия.

Подконтрольную эксплуатацию проводят для подтверждения соответствия продукции требованиям нормативной документации в условиях ее применения, получения дополнительных сведений о надежности рекомендаций по устранению недостатков, повышению эффективности применения, а также для получения данных, учитываемых при последующих разработках.

Допускается совмещать следующие категории испытаний:

- предварительные с доводочными;
- приемочные с приемосдаточными – для продукции единичного производства;
- приемочные с квалификационными – для приемочных испытаний головных или опытных образцов (опытных партий) с подготовленным технологическим процессом для серийного производства на этом этапе;
- периодические с типовыми – при согласии заказчика (основного потребителя), кроме продукции, подлежащей государственной приемке;
- сертификационные с приемочными, периодическими и квалификационными (при соблюдении определенных условий).

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 проводятся на следующих уровнях:

- государственном – для приемочных, квалификационных, инспекционных, сертификационных и периодических;
- межведомственным – для приемочных, квалификационных и инспекционных испытаний;
- ведомственном – для приемочных, квалификационных и инспекционных.

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.

Межведомственные испытания проводят, как правило, при приемочных испытаниях, когда в комиссии принимают участие представители нескольких министерств (ведомств).

Ведомственные испытания – это испытания, проводимые комиссией из представителей заинтересованного министерства (ведомства).

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 др., 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. Характе-

ристики свойств изделия при натуральных 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 также 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 устойчивость – проводимые для контроля способности изделия выполнять свои (функции и сохранять значения параметров в пределах норм, установленных нормативной документацией во время воздействия на него определенных факторов (агрессивных сред, радиационных излучений и т. п.);

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

1.2. Проведение испытаний, обработка результатов опытов и составление отчетности

Процесс испытаний сельскохозяйственной техники выполняется в соответствии с утвержденной рабочей программой и методикой, с применением аттестованного испытательного оборудования и средств измерений, силами квалифицированного персонала, по актуализированной методической и нормативной документации. Результаты измерений заносят в ведомости, журналы, акты первичного учета. Данные наблюде-

ний обрабатываются в соответствии с методами математической статистики, анализируются и используются для составления протокола испытаний по установленной форме.

Протокол испытаний является научным отчетом и содержит, в частности:

- характеристику и описание испытываемого образца техники;
- дату получения образца, даты и место проведения испытаний;
- обозначение стандартов и другой нормативной документации на проведение испытаний;
- сведения о средствах измерений и испытательном оборудовании;
- результаты измерений, наблюдений при испытаниях по всем видам оценок, подтверждаемые таблицами, графиками, чертежами и фотографиями, в случае необходимости зарегистрированные отказы;
- анализ конструкции объекта испытаний;
- заключение по результатам испытаний;
- выводы и предложения.

В дальнейшем протокол испытаний используется приемочной комиссией при выработке решения о постановке изделия на производство, а также в качестве первичного материала при подготовке конструкторских и технологических мероприятий по совершенствованию испытанного изделия.

2. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ

2.1. Основные понятия, термины и определения надежности

Надежность сельскохозяйственной техники относится к числу основных показателей, характеризующих ее технический уровень.

Под надежностью понимают свойство объекта сохранять во времени и установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать: безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Ремонтопригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции в течение и после хранения и (или) транспортирования.

При испытаниях на надежность необходимо учитывать дефекты, повреждения и отказы техники. Эти термины имеют следующие определения:

Дефект – это каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям.

Повреждение – событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния.

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Причины отказа – явления, процессы, события и состояния, вызвавшие возникновение отказа объекта.

Последствия отказа – явления, процессы, события и состояния, обусловленные возникновением отказа объекта.

Ресурсный отказ – отказ, в результате которого объект достигает предельного состояния.

Независимый отказ – отказ, не обусловленный другими отказами.

Зависимый отказ – отказ, обусловленный другими отказами.

Внезапный отказ – отказ, характеризующийся скачкообразным изменением значений одного или нескольких параметров объекта.

Постепенный отказ – отказ, возникающий в результате постепенного изменения значений одного или нескольких параметров объекта.

Явный отказ – отказ, обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования при подготовке объекта к применению или в процессе его применения по назначению.

Скрытый отказ – отказ, не обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования, но

выявляемый при проведении технического обслуживания или специальными методами диагностики.

Конструктивный отказ – отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленных правил и(или) норм проектирования и конструирования.

Производственный отказ – отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленного процесса изготовления или ремонта, выполняемого на ремонтном предприятии.

Эксплуатационный отказ – отказ, возникший по причине, связанной с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации.

Многие показатели надежности изделий определяются через временные термины, к которым относятся следующие:

Наработка – продолжительность или объем работы объекта. Нарядок может быть как непрерывной величиной (продолжительность работы в часах, километрах пробега и т. п.), так и целочисленной величиной (число рабочих циклов, запусков и т. п.).

Наработка до отказа – наработка объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа.

Наработка между отказами – наработка объекта от окончания восстановления его работоспособного состояния после отказа до возникновения следующего отказа.

Время восстановления – продолжительность восстановления работоспособного состояния объекта.

Ресурс – суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Срок службы – календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Срок сохраняемости – календарная продолжительность хранения и (или) транспортирования объекта, в течение которой сохраняются в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять функции.

По истечении срока сохраняемости объект должен соответствовать требованиям безотказности, долговечности и ремонтпригодности, установленным нормативно-технической документацией на объект, таким как:

Остаточный ресурс – суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние.

Аналогично вводятся понятия остаточной наработки до отказа, остаточного срока службы и остаточного срока хранения.

Назначенный ресурс – суммарная наработка, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния.

Назначенный срок службы – календарная продолжительность эксплуатации, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния.

2.2. Показатели надежности

К основным показателям, характеризующим надежность, относятся:

– единичный показатель надежности – показатель, характеризующий одно из свойств, составляющих надежность объекта;

– комплексный показатель надежности – показатель, характеризующий несколько свойств, составляющих надежность объекта;

– расчетный показатель надежности – показатель, значения которого определяются расчетным методом;

– экспериментальный показатель надежности – показатель, точечная или интервальная оценка которого определяется по данным испытаний;

– эксплуатационный показатель надежности – показатель, точечная или интервальная оценка которого определяется по данным эксплуатации.

Показатели безотказности

Вероятность безотказной работы – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникает.

Гамма-процентная наработка – наработка, в течение которой отказ объекта не возникает с вероятностью γ , выраженной в процентах.

Средняя наработка до отказа – математическое ожидание наработки объекта до первого отказа.

Средняя наработка на отказ – отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки.

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

Параметр потока отказов – отношение математического ожидания числа отказов восстанавливаемого объекта за достаточно малую его наработку к значению этой наработки.

Осредненный параметр потока отказов – отношение математического ожидания числа отказов восстанавливаемого объекта за конечную наработку к значению этой наработки. Все показатели безотказности определены как вероятностные характеристики. Их статистические аналоги определяют методами математической статистики.

Показатели долговечности

Гамма-процентный ресурс – суммарная наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью γ , выраженной в процентах.

Средний ресурс – математическое ожидание ресурса.

Гамма-процентный срок службы – календарная продолжительность эксплуатации, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью γ , выраженной в процентах.

Средний срок службы – математическое ожидание срока службы. При использовании показателей долговечности следует указывать начало отсчета и вид действий после наступления предельного состояния (например, гамма-процентный ресурс от второго капитального ремонта до списания). Показатели долговечности, отсчитываемые от ввода объекта в эксплуатацию до окончательного снятия с эксплуатации, называются гамма-процентным полным ресурсом (срок службы), средним полным ресурсом (срок службы).

Комплексные показатели надежности

Коэффициент готовности – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается.

Коэффициент оперативной готовности – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается, и начиная с этого момента будет работать безотказно в течение заданного интервала времени.

Коэффициент технического использования – отношение математического ожидания суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за этот период.

3. ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ, ЭРГОНОМИЧНОСТИ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НОВОЙ ТЕХНИКИ

3.1. Цель оценки безопасности и эргономичности новой техники

Оценки безопасности и эргономичности техники при испытаниях предусматривает определение фактических значений показателей безопасности сельскохозяйственной техники, сопоставление их с установленными стандартами и другой нормативной документацией значениями с целью создания конструкции новых машин, обеспечивающих безопасную работу обслуживающего персонала, сохранение здоровья людей и охрану окружающей среды.

Безопасность продукции (машины, процессов) означает отсутствие недопустимого риска, связанного с возможностью нанесения ущерба.

Безопасность машин характеризует те свойства их конструкции, которые обеспечивают защиту оператора от опасных и вредных факторов, обуславливающих заболевания и несчастные случаи.

Эргономичность машины означает совокупность свойств их конструкции, отражающих удобство и эффективность деятельности оператора.

Термин «охрана окружающей среды» означает защиту окружающей среды от неблагоприятного воздействия продукции.

3.2. Требования безопасности и эргономичности к сельскохозяйственной технике

Требования безопасности и эргономичности к технике установлены стандартами Системы безопасности труда (СБТ) и Системы «человек–машина» (СЧМ).

Нормативные величины основных показателей безопасности и эргономичности конструкции машин регламентированы следующими основными стандартами:

ГОСТ 12.2.019 устанавливает общие требования безопасности, требования к средствам доступа на рабочее место оператора, требования к обзорности и освещенности, требования при монтаже, транспортировании и хранении тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин.

ГОСТ 12.2.120 регламентирует требования к конструкции кабин, оборудованию их устройствами нормализации микроклимата, стеклоочистителями, смывателями и др., требования к рабочему месту оператора (микроклимат, температура внутренних поверхностей кабины, система вентиляции, концентрация пыли и окиси углерода), уровню звука, расположению органов управления, силе сопротивления органов управления.

ГОСТ 12.1.003 устанавливает общие требования безопасности по шуму.

ГОСТ 12.1.012 устанавливает общие требования по вибрационной безопасности.

ГОСТ 12.2.111 регламентирует требования безопасности к конструкции навесных и прицепных сельскохозяйственных машин.

ГОСТ 12.2.042 устанавливает общие требования безопасности к конструкции машин и технологического оборудования (в том числе малогабаритной техники и средств малой механизации) для содержания и кормления животных и птицы, а также заготовки, переработки и приготовления кормов.

В технических заданиях на проектирование новой техники на основании стандартов СБТ, СЧМ устанавливаются требования безопасности к конкретному изделию.

4. АГРОТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАК МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ МАШИНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

4.1. Общие положения по агротехнической оценке сельскохозяйственных машин

Одним из важных требований, предъявляемых к сельскохозяйственным машинам для механизации растениеводства, является обеспечение высокого качества выполнения технологического процесса.

Качество выполнения технологических процессов определяется путем проведения лабораторно-полевых, лабораторных и стендовых испытаний.

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

Ввиду разнообразия типов сельскохозяйственных машин насчитывается несколько сотен показателей для комплексов машин в полеводстве. Для каждого из них разработаны специфические методы в стандартах на испытания отдельных видов машин. Агротехнические показатели машин можно условно разделить на несколько групп.

Показатели *первой группы* характеризуют технологические возможности применения сельскохозяйственных машин. К ним относятся предельные показатели условий применения техники, агротехнических фонов, режимов работы и технологических характеристик, на которых может удовлетворительно осуществляться технологический процесс:

- 1) влажность почвы и технологического материала;
- 2) плотность, засоренность, твердость почвы и ее тип;
- 3) урожайность, полеглость хлебов;
- 4) пропускная способность;
- 5) норма внесения технологического материала и т. п.

Показатели *второй группы* характеризуют качество работы машин, чаще всего в благоприятных и типичных для региона условиях при оптимальных и предельных режимах. Эти показатели весьма разнообразны и регламентируются агротехническими требованиями технического задания и стандартами на методы испытаний каждой группы машин. Для типичных групп машин можно назвать следующие характерные показатели.

Почвообрабатывающие машины: 1) глубина обработки; 2) подрезание сорняков и заделка растительных остатков; 3) крошение почвы; 4) выравненность ее поверхности.

Посевные и посадочные машины: 1) количество семян (растений) на единице площади; 2) глубина и качество заделки; 3) распределение их по площади (в рядках, гнездах); 4) полевая всхожесть семян или приживаемость растений; 5) динамика всходов; 6) повреждение семян или растений (рассады и саженцев); 7) величина прослойки почвы между семенами и удобрениями и т. п.

Машины для ухода за посевами: 1) уничтожение сорняков; 2) повреждение культурных растений; 3) степень покрытия листьев ядохимикатами (для опыливателей и опрыскивателей); 4) нормы вне-

сения технологического материала (воды для дождевальными установок, ядохимикатов для опыливателей и опрыскивателей, удобрений для подкормщиков и т. д.).

Уборочные машины: 1) полнота уборки или потери основной и сопутствующей продукции (зерно, клубни, корнеплоды, плоды, солома, и т.д.) в машине и в отдельных рабочих органах; 2) повреждение продукции (дробление, раздавливание); 3) засорение вороха земель, сорняками и другими примесями.

Машины для послеуборочной обработки продукции: 1) потери; 2) повреждение и засорение; 3) сортность (товарная, семенная); 4) порча или сохранность питательных свойств (содержание сахара, белка, крахмала, каротина, витаминов и др.).

Показатели *третьей группы* характеризуют устойчивость протекания технологического процесса в пространстве и во времени при различных условиях, т. е. значение отклонений показателей качества.

Получаемые при экспериментах показатели качества работы машины подвергают анализу различными методами. В настоящее время применяется несколько вариантов оценки агротехнических показателей:

- 1) сравнение с нормативами;
- 2) оценка по влиянию на урожай и другие экономические и комбинированные критерии.

Сравнение с нормативами предусматривает сопоставление фактических показателей, полученных при испытании, с показателями, регламентированными требованиями технического задания или другой нормативной документации.

Величина урожая является одним из наиболее распространенных критериев агротехнической оценки машин и комплексов для уборки сельскохозяйственных культур. Потери урожая и соответствующие убытки для уборочных машин определять значительно проще, чем потенциальный урожай от применения новых плугов, сеялок, культиваторов, лушильников, разбрасывателей удобрений, катков, опрыскивателей и других машин. Влияние этих машин и комплексов на урожай должно устанавливаться закладкой полевых опытов с доведением до урожая. Этот путь очень трудоемкий и длительный. По общепринятой методике опыты закладывают в течение трех лет. Только после этого можно давать соответствующие рекомендации. Но и по данным трехлетних опытов не всегда удается выявить преимущества или недостатки машины. Поэтому в большинстве случаев

при испытаниях ограничиваются сопоставлением полученных фактических значений качественных показателей работы машины с требованиями технического задания. Такой способ оценки исходит из того, что в ТЗ включены научно обоснованные значения показателей.

Количество продукции и повышение (снижение) ее качества являются важным экономическим критерием оценки машины. Он применяется в основном для уборочных машин, а также машин для послеуборочной доработки и хранения сельскохозяйственной продукции.

Затраты средств на доведение качества продукции до агротехнических показателей заданного уровня также являются важным экономическим критерием. Например, если при работе свеклоуборочной машины наблюдается повышенное содержание земли и ботвы в ворохе корней, то для доведения этих показателей до нормы нужно затратить определенное количество труда по удалению земли и ботвы. Затраты средств на эти операции отражают агротехнические показатели машин и должны учитываться при экономической оценке.

4.2. Этапы агротехнической оценки для определения качества выполнения машиной технологического процесса

Для проведения агротехнической оценки составляется рабочая программа и методика испытаний (РПМИ), которая является организационно-методическим документом по испытаниям конкретной машины. РПМИ устанавливает режимы, условия и место проведения испытаний, определения показателей с указанием погрешности, средств измерений и исполнителей испытаний.

РПМИ разрабатывается на основании типовой программы и методики испытаний, разработанной для группы сельскохозяйственной техники.

Полученные при оценке значения показателей сопоставляются с требованиями нормативной документации (ГОСТ, СТБ, ТЗ, ТУ и т. п.), а также с показателями машины-аналога.

На основании полученной информации делается вывод о соответствии показателей нормативным требованиям, анализируются причины изменения показателей и дается заключение о пригодности машины по качественным показателям работы к применению в сельскохозяйственном производстве.

Выполнение агротехнической оценки проводится по этапам, изложенным в табл. 1.

**Этапы агротехнической оценки для определения качества
выполнения машиной технологических процессов
в растениеводстве**

| Технологические операции по оценке | Функциональные задачи |
|---|---|
| Определение цели испытаний | Изучение НД на машину и технологические процессы, определение функциональных показателей качества выполнения машиной технологического процесса, выбор машины-аналога |
| Формирование номенклатуры показателей оценки | Формирование номенклатуры и значений показателей, характеризующих условия применения и качество работы машины |
| Выбор методов оценки | Подбор и (или) разработка методов определения показателей назначения (качества выполнения технологических процессов). Формирование рабочей программы и методики испытаний |
| Приборное обеспечение | Подбор и (или) разработка приборов и оборудования для определения показателей назначения (качества выполнения технологического процесса), обеспечивающих требуемую точность измерений. Аттестация и проверка приборов, оборудования и методики применения |
| Выбор фонов и режимов для проведения опытов | Подбор фонов и режимов использования машины с целью проведения опытов по определению показателей, характеризующих ее назначение |
| Определение показателей; проведение лабораторных, стендовых, лабораторно-полевых опытов | Определение и регистрация значений показателей условий применения и назначения (качества выполнения технологического процесса) машины в условиях использования ее на установленных фонах и режимах |
| Анализ показателей и выработка рекомендаций | Обработка данных опытов с использованием методов математической статистики, оценка достоверности показателей и анализ полученных значений показателей назначения, сопоставление значений показателей с требованиями НД и показателями машины-аналога. Оценка соответствия полученных показателей требованиям НД и выработка рекомендаций по возможности использования машины, по показателям назначения, направлениям доработки |

4.3. Определение условий испытаний

Условия испытаний новой техники должны быть типичными для региона ее применения и соответствовать области применения машины согласно ее эксплуатационной документации. Основным нормативным документом, регламентирующим порядок определения условий испытаний, является ГОСТ 20915 «Методы определения условий испытаний», который устанавливает методы определения:

- 1) метеорологических условий;
- 2) характеристики поля (участка);
- 3) характеристики почвы;
- 4) характеристики обрабатываемого материала, продукции и т. п.

Метеорологические условия характеризуются температурой и относительной влажностью воздуха, скоростью ветра. Для измерений применяют: психрометр с погрешностью измерения $\pm 2\%$ и анемометр с погрешностью измерения $\pm(0,06 V + 0,3 \text{ м/с})$.

Характеристика поля включает определение рельефа поля (участка), микрорельефа, типа почвы, засоренности посевов и почвы сорными растениями, камнями, кустарниковой растительностью. Засоренность посевов и почвы определяется количественным и весовым методами на учетных площадках, равномерно расположенных на участке (по диагонали или длине прохода машины). Допускается определение засоренности одним из методов в зависимости от влияния ее на технологический процесс работы машины. Количество учетных площадок и их размер следует определять в зависимости от назначения машины или технологического приема.

При определении характеристики поля применяют: нивелирные координатные рейки; нивелиры с погрешностью измерения $\pm 1 \text{ см}$; штыри металлические; линейки $1 \text{ м} \pm 1 \text{ см}$; весы; наборы решет с погрешностью измерения $\pm 0,1 \text{ мм}$.

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.

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

а) при сушке в один прием:

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

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

б) при сушке в два приема:

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

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

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

Твердость почвы следует определять почвенным твердомером в местах определения влажности. Глубину определения твердости почвы и количество слоев следует устанавливать в зависимости от назначения машины.

Твердость почвы P в кг/см² следует определять по формуле

$$P = \frac{h_{\text{ср}} \cdot q}{S},$$

где $h_{\text{ср}}$ – величина средней ординаты диаграмм твердости, см; q – масштаб пружины, кг/см; S – площадь поперечного сечения плунжера, см².

Среднюю ординату (мм) следует определять планиметрированием диаграммы и подсчитывать по формуле

$$h_{\text{ср}} = \frac{F}{l},$$

где F – площадь диаграммы, мм²; l – длина диаграммы, мм; или измерением ряда ординат через 1 см длины диаграммы и вычислением их среднего арифметического значения.

Среднее значение твердости почвы на всем участке следует подсчитывать как среднее арифметическое из 5 опытов (диаграмм).

Результаты обработки диаграмм по определению твердости почвы должны быть занесены в таблицу.

В протокол заносятся данные средней твердости почвы по всему участку.

Плотность почвы Q (г/см³) следует определять по формуле

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

где b – масса абсолютно сухой почвы (со всего бура), г; v – объем образца взятой почвы, см³.

Глубину определения плотности почвы устанавливают в зависимости от назначения машины.

В лаборатории взятый образец почвы взвешивают и высушивают при температуре 105 °С до постоянной массы. По массе пробы до высушивания и массе абсолютно сухой почвы после сушки определяют массу абсолютно сухой почвы в объеме всего образца.

Определение характеристики 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 производиться 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.

5. АГРОТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МАШИН И ОРУДИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

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

Условия испытаний почвообрабатывающих машин характеризуются следующими параметрами:

- тип почвы и название по механическому составу;
- рельеф (уклон);
- влажность и твердость почвы;
- засоренность почвы камнями;
- характеристика дернового покрова, пожнивных и растительных остатков;
- предшествующая обработка.

Участок для лабораторно-полевых испытаний почвообрабатывающих машин и 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.

Качество работы плугов и глубокорыхлителей характеризуется их устойчивостью по ширине захвата и глубине обработки почвы, крошением почвы, степенью заделки растительных и пожнивных остатков, глубиной их заделки, оборотом пласта и др. 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/см³;
- высота гребня на поверхности дна борозды, см;
- путь заглабления (для каменистых почв), м;
- угол оборота пласта, град.

Скорость движения пахотного агрегата определяется по формуле

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

где S – пройденный путь, м; t – время прохождения делянки, с.

Для определения пути и времени прохождения делянки на учетных проходах делянки отмечают вешками длиной не менее 50 м. Время прохождения делянки фиксируется секундомером. Повторность – четырехкратная (два прохода агрегата в прямом и два – в об-

ратном направлениях). Для измерения скорости пахотного агрегата можно использовать путеизмерительное колесо, которое располагается сзади заднего корпуса плуга и катится по гладкому дну борозды.

Устойчивость плуга по рабочей ширине захвата и глубине обработки определяется путем измерения рабочей ширины захвата и глубины обработки по заднему корпусу.

Ширина захвата и глубина вспашки определяются одновременно по двум проходам плуга в 50 точках, расположенных через 1–3 м по ходу пахотного агрегата на каждом учетном проходе.

Рабочую ширину захвата плуга определяют как разницу двух замеров между обреза борозды и кольшками до и после учетного прохода агрегата с использованием специального приспособления, обеспечивающего перпендикулярность установки измерительной ленты в стенке борозды по направлению от учетных кольшков.

Рабочую ширину захвата чизельного плуга ($B_{\text{раб}}$) в метрах определяют по следующей формуле:

$$B_{\text{раб}} = n \cdot M,$$

где n – число чизельных рабочих органов, шт.; M – ширина между следия рабочих органов, см.

Глубину обработки почвы по ходу движения пахотного агрегата измеряют бороздомером по борозде, образованной задним корпусом. В местах измерения борозду очищают от насыпи (валика). Глубину обработки почвы чизельными плугами, плугами-рыхлителями, плоскорезами-щелевателями и плоскорезами-щелерезами измеряют по следу прохода стоек рабочих органов с помощью специального щупа. Глубину обработки по ширине захвата определяют методом поперечного профилирования.

Крошение почвы определяют по пробам, отбираемым в четырех точках участка с площади $0,25 \text{ м}^2$ на глубину обработки. Пробы осторожно переносят на набор решет с диаметром отверстий, указанных в ТЗ на испытываемую машину. Затем содержимое каждого решета взвешивают с погрешностью не более ± 50 г, данные записывают в форму, а далее вычисляют массовую долю i -й фракции комков (Π_{ki}) в процентах по формуле

$$\Pi_{ki} = \frac{m_i \cdot 10^3}{m},$$

где m_i – масса i -й фракции в пробе, кг; m – общая масса пробы, кг.

Качество заделки пожнивных и растительных остатков определяют по массе оставшихся на поверхности незаделанных пожнивных и растительных остатков. Учет незаделанных остатков производят на учетных площадках длиной 5 м, шириной, равной ширине захвата машины. Незаделанные остатки собираются, состригаются и взвешиваются с погрешностью ± 50 г. С каждой учетной делянки берут по одной пробе. При обработке полученных данных подсчитывают среднее арифметическое значение растительных и пожнивных остатков по четырем пробам. Массовую долю незаделанных и пожнивных остатков (α) в процентах определяют по следующей формуле:

$$\alpha = \frac{q_1 - q_2}{q_1},$$

где q_1 – масса пожнивных и растительных остатков до прохода машины, переведенная на площадь учетной площадки ($5 \cdot S_0$), кг; q_2 – масса пожнивных и растительных остатков после прохода машины, кг; S_0 – площадь учетной площадки до прохода машины, m^2 .

Определение глубины заделки растительной массы должно производиться по вертикальным разрезам пашни на полную ширину захвата орудия по каждому корпусу или рабочему органу (при поперечном профилировании). По вертикальной стенке разреза устанавливают верхнюю границу расположения запаханых растительных остатков. Измерения проводят линейкой с погрешностью не более ± 1 см.

Угол оборота пласта определяют при помощи специального приспособления, которое является нестандартизированным рабочим средством измерения. В основу метода измерения угла оборота (наклона) пласта при пахоте заложен принцип измерения угла параллелограммным механизмом, опорное основание которого устанавливается на обернутый пласт почвы при вертикальном расположении боковых стоек. Отсчет измеряемого угла наклона производится по циферблату транспортира, закрепленного на верхней стороне механизма с помощью горизонтально устанавливаемой стрелки-уровня. При измерении угла наклона пласта приспособление или угломер накладывается на откос борозды так, чтобы основание его плотно прилегало к откосу по большей части длины пласта. При измерении угла стрелку-уровень устанавливают в горизонтальном положении. По циферблату транспортира отсчитываются показания, указанные стрелкой-уровнем, и записываются в ведомость лабораторных измерений. Угол оборота пласта измеряется не менее чем в 30 точках.

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);
- степенью подрезания сорняков;
- степенью повреждения культурных растений;
- степенью залипания и забивания рабочих органов.

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 луцильникам и боронам определяют:

– измельчение пожнивных остатков (для крупностебельных культур), %;

– заделку пожнивных остатков (для крупностебельных культур), %.

По комбинированным агрегатам кроме общих показателей дополнительно определяют:

- уплотнение почвы, г/см³;
- неравномерность дна борозды по ширине захвата, см.

По боронам зубовым, пружинным, ножевидным, лапчатым, игольчатым кроме общих показателей дополнительно определяют:

- разрушение почвенной корки, %;
- повреждение культурных растений (при обработке посевов озимых многолетних трав и других культур), %.

По выравнивателям почвы определяют:

- скорость движения, м/с;
- рабочую ширину захвата, м;
- поперечную и продольную выравненность почвы (среднее квадратическое отклонение до и после прохода выравнивателя), ± см.

По полевым каткам:

- агрегатный состав почвы, %;
- плотность почвы в слоях (до и после прохода катков), г/см³.

Глубина обработки определяется методом поперечного и продольного профилирования и проводится следующим образом:

Для поперечного профилирования на каждой учетной делянке перед проходом машины вбивают две опорные стойки, на которые горизонтально устанавливают координатную рейку перпендикулярно к направлению движения агрегата. Вертикальные расстояния от поверхности поля до нижней стороны рейки измеряют линейкой по всей ширине захвата машины с интервалом 10 см. Погрешность измерения $\pm 1,0$ см. Результаты измерений заносят в ведомость профилирования.

Продольное профилирование определяют по ходу агрегата. Для этого перед проходом орудия вдоль хода агрегата кладут координатную рейку длиной 3–6 м. Один конец устанавливают на рейке поперечного профилирования, а второй – на вспомогательной рейке, помещенной на двух опорных стойках. После этого снимают продольный профиль до прохода. Делают отметки на вспомогательной и поперечной рейках, чтобы после прохода орудия рейка для продольного профилирования смогла снова занять свое первоначальное положение. Затем все рейки убирают. После прохода машины рейки вновь устанавливают и начинают снимать профиль поверхности и дна взрыхленного слоя. Измеряют вертикальные расстояния от дна борозды до нижней стороны рейки. Результаты заносят в таблицу.

Подрезание сорняков (Π_c) в процентах определяют по формуле

$$\Pi_c = \frac{K_1 - K_2}{K_1} \cdot 10^2,$$

где K_1 – количество сорняков учетной площадки до прохода, шт.; K_2 – количество сорняков, не подрезанных в пределах учетной площадки после прохода машины, шт.

Повреждение культурных растений (Π_k) в процентах определяют по формуле

$$\Pi_k = \frac{K_1 - K_2}{K_1} \cdot 10^2,$$

где K_1 – количество культурных растений в пределах учетной площадки до прохода бороны, шт.; K_2 – количество поврежденных (вырванных) культурных растений в пределах учетной площадки после прохода бороны, шт.

Плотность почвы определяют до и после прохода уплотняющих машин (катков) на глубину до 15 см. До прохода машины пробы для

определения плотности почвы определяют в трех точках, равномерно расположенных по ширине захвата, в 4-кратной повторности при проходе машины в прямом и обратном направлениях (два раза по ходу, два раза – обратно). После прохода машины пробы для определения плотности почвы отбирают в тех же точках, что и до прохода машины. Определение плотности проводят согласно ГОСТ 20915.

Уплотнение обработанного слоя почвы определяют по разности плотности почвы до и после прохода агрегата.

6. 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, овощных и бахчевых культур, сахарной свеклы, подсолнечника, кукурузы, хлопчатника, одно и многолетних трав конопли, 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 характеризуются следующими основными показателями:

- 1) по характеристике высеваемой культуры:
 - наименование культуры;
 - чистота семян, %;
 - всхожесть и посевная годность семян, %;
 - влажность семян, %;
 - масса 1000 штук семян, г;
 - наличие и характеристика предпосевной обработки семян;
- 2) по характеристике 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;

3) по характеристике метеоусловий:

- температура воздуха, °С;
- влажность воздуха, %;
- скорость ветра, м/с.

Наиболее характерными показателями условий, влияющими на показатели качества выполнения технологического процесса посевных машин, являются:

- характеристика семян;
- влажность и твердость почвы;
- ее агрегатный состав и наличие пожнивных и сорных остатков.

Существуют регламентированные требования к агрофонам и условиям использования машин, но в широких реальных условиях зачастую они не достигаются, поэтому установление влияния условий испытаний на полученные показатели является одной из задач исследователя (испытателя).

Показатели качества выполнения технологического процесса

При стендовых испытаниях:

1. Норма высева семян, кг/м, шт./м, тыс. шт./га (в зависимости от типа машины).

Для сеялок рядового посева норма определяется по расчетной площади (S_p).

Для сеялок с шириной захвата до 3,6 м $S_p = 100 \text{ м}^2$, а для сеялок с шириной захвата более 3,6 м $S_p = 200 \text{ м}^2$.

Число оборотов приводного колеса (n) определяют по формуле

$$n = \frac{S_p}{S},$$

где S – площадь, засеваемая за один оборот колеса, м^2 ;

$$S = 3,14 \cdot D \cdot b \cdot n_p,$$

где D – диаметр опорно-приводного колеса, м; b – ширина междурядий, м; n_p – число засеваемых рядков, шт.

Фактическую норму высева (Q) в кг/га определяют:

а) при $S_p = 100 \text{ м}^2$: $Q' = \sum q_{1nc} \cdot 100$;

б) при $S_p = 200 \text{ м}^2$: $Q'' = \sum q_{2nc} \cdot 50$,

где $\sum q_{1nc}$, $\sum q_{2nc}$ – масса семян, высеянная всеми аппаратами за n оборотов приводного колеса.

Для сеялок пунктирного и гнездового посева частоту вращения приводного колеса (w) определяют:

$$w = \frac{v}{3,14 \cdot D},$$

где v – заданная скорость посевного агрегата, м/с.

Фактическая норма высева (Q_T) в тысячах штук на 1 га:

а) для сеялок пунктирного высева (Q'_T):

$$Q'_T = \frac{10 \cdot n_M}{b},$$

где n_M – число семян на 1 м рядка, шт.;

б) для сеялок гнездового посева (Q''_T):

$$Q''_T = \frac{10 \cdot n_M}{b \cdot l_{ГН}},$$

где $n_{ГН}$ – среднее число семян в гнезде, шт.; $l_{ГН}$ – среднее расстояние между гнездами, м.

Фактическая норма Q_K в килограммах:

а) для сеялок пунктирного посева:

$$Q'_K = 100^{-3} \cdot Q'_T \cdot A,$$

где A – масса 1000 семян, г;

б) для сеялок гнездового посева:

$$Q''_K = 100^{-3} \cdot Q''_T \cdot A.$$

Для сеялок точного высева требуемая норма высева определяется передаточным отношением от опорно-приводного колеса к семявысеивающему диску и количеством ячеек диска.

2. Неравномерность высева семян (удобрений) между отдельными аппаратами.

После вычисления средней массы семян (из всех повторностей), высеянных каждым аппаратом, находят среднюю массу высеянных семян (удобрений) (q) в граммах одним аппаратом:

$$q = \frac{\sum q_i}{n_a},$$

где q_i – средняя масса семян, высеянных i -м аппаратом, г; n_a – число высевающих аппаратов.

Отклонение в высевах i -м аппаратом от среднего значения (Δq_i) в граммах:

$$\Delta q_i = \bar{q} - \bar{q}_i.$$

Среднее арифметическое отклонение ($\Delta \bar{q}$) в граммах:

$$\Delta \bar{q} = \frac{\sum (\Delta \bar{q}_i)}{n_a}.$$

Неравномерность высева (H_p) в процентах:

$$H_p = \frac{\Delta \bar{q}_i}{\bar{q}} \cdot 100.$$

3. Неустойчивость общего высева семян (удобрений), %:

$$H_y = \frac{\Delta \bar{q}_i}{\bar{q}},$$

где $\bar{q}_п$ – средняя масса семян, высеянная всеми аппаратами, из всех повторностей, г; $\Delta \bar{q}_п$ – среднее арифметическое отклонение массы семян, высеянных по поверхностям, от среднего значения, г;

$$\Delta \bar{q}_п = \frac{\sum_{n_1}^{n_1} (q'_i - \bar{q}_п)}{n_п},$$

где q'_i – масса семян, высеянных всеми аппаратами в i -й повторности, г; $n_п$ – число повторностей.

По сеялкам точного высева, пунктирным и гнездовым способом высева неравномерность и неустойчивость высева допускается определять по числу семян, высеянных на метре или в гнездо.

4. Микроповреждения семян, %.

5. Повреждение и дробление семян (гранул), %.

6. Распределение семян в ряду (для сеялок точного и пунктирного высева).

При лабораторно-полевых испытаниях:

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

Регулируемые параметры (устанавливаются по стендовым испытаниям).

Массу семян, высеянных всеми аппаратами, определяют путем взвешивания с погрешностью не более ± 1 г и вычисляют фактическую норму высева (Q_{ϕ}), кг/га:

$$Q_{\phi} = \frac{10^4 \cdot \sum q_r}{B \cdot L},$$

где $\sum q_r$ – 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:

$$Q_M = \frac{10^6 \cdot \sum q_r}{A \cdot L \cdot n_p};$$

в килограммах:

$$Q'_M = \frac{10 \cdot Q_M \cdot A}{B}.$$

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./м².

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

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

7. Высота гребней после прохода сеялки, см.

8. Динамика появления всходов. (Наблюдения за появлением всходов ведутся до тех пор, пока количество растений на учетных делянках в течение 2–3-х дней повторяется.) Данные подсчетов используются для расчета относительной полевой всхожести.

9. Относительная полевая всхожесть (Π_B):

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

где n_B – число взошедших семян, шт./м² (шт./м); $n_{c.B}$ – число высеянных всхожих семян, шт./м² (шт./м).

Число высеянных всхожих семян определяют по формуле:

$$n_{c.B} = \frac{Q'_{ri} \cdot a'}{A},$$

где a' – посевная годность семян, %.

По сахарной свекле число клубочков ($n_{к.в}$) в штуках на метр определяют:

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

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/см³.

14. Ширина ленты, полосы рядка 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.)

Полученные показатели по испытываемой машине сопоставляются с нормативными требованиями и сравниваются с показателями машины-аналога. При анализе используется и другая имеющаяся тех-

ническая информация, позволяющая оценить технический уровень машин.

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.

При получении положительных результатов делаются выводы о соответствии машины НД, при получении отрицательных – выясняются причины и даются рекомендации по их устранению.

7. АГРОТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МАШИН ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Качество работы валковой жатки характеризуют следующие параметры:

1. Ширина захвата (м):

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

2. Средняя высота среза (см):

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

3. Среднеквадратическое отклонение (см):

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

4. Коэффициент вариации (%):

$$V = \frac{\delta_h}{h} \cdot 100.$$

Аналогичная процедура оценки производится при определении высоты валка (см), толщины валка (см), просвета между почвой и валком (см), ширины валка (см).

Потери зерна за жаткой (%) складываются из:

1) потерь за жаткой свободного зерна в межвалковом пространстве (%):

$$\Delta q_{\text{сзж}} = \frac{10 \cdot q_{\text{сзж}}}{S_2 \cdot Y_3} - \frac{10 \cdot q_e}{S \cdot Y_3},$$

где $q_{\text{сзж}}$ – потери свободного зерна в межвалковом пространстве (г); q_e – потери зерна от самоосыпания (г); S_2 – площадь рамки для учета потерь свободного зерна в межвалковом пространстве (м^2); S – площадь, с которой учтены потери от самоосыпания (м^2); Y_3 – урожайность зерна (ц/га):

$$Y_3 = \frac{G_3 \cdot Z_m}{L \cdot B_{\text{ж}}} + \frac{q_{\text{нкж}}}{10 \cdot S_1} + \frac{q_{\text{скж}}}{10 \cdot S_1} + \frac{q_{\text{сзж}}}{10 \cdot S_2} + \left[\frac{q_{\text{сзж}}}{10 \cdot S_3} - \frac{q_{\text{сзж}}}{10 \cdot S_2} \right] \cdot \frac{S_3}{S_2 + S_3},$$

где G_3 – масса зерна в бункере (кг); Z_m – содержание основного зерна и зерновой примеси в зерне из бункера (%); L – длина учетной делянки, с которой собрано зерно в бункер (м); $q_{\text{нкж}}$ – потери зерна в несрезанных колосьях в межвалковом пространстве (г); S_1 – площадь рамки для учета потерь в срезанных и несрезанных колосьях (м^2); $q_{\text{скж}}$ – потери свободного зерна под валком; S_3 – площадь рамки для учета потерь свободного зерна под валком (м^2);

2) потерь за жаткой свободного зерна под валком (%):

$$\Delta q'_{\text{сзж}} = \frac{10 \cdot q_{\text{сзж}}}{Y_3 \cdot S_3} - \frac{10 \cdot q_e}{Y_3 \cdot S} \cdot \frac{S_3}{S_2 + S_3};$$

3) потерь за жаткой зерна в срезанных колосьях в межвалковом пространстве (%):

$$\Delta q_{\text{скж}} = \frac{10 \cdot q_{\text{скж}}}{Y_3 \cdot S_1},$$

где $q_{\text{скж}}$ – потери зерна в срезанных колосьях (%);

4) потерь за жаткой зерна в несрезанных колосьях (%):

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

5) потерь за жаткой зерна в не срезанных колосьях под валком (%):

$$\Delta q'_{\text{нкж}} = \frac{10 \cdot q'_{\text{нкж}} \cdot S_4}{Y_3 \cdot S_4 \cdot (S_4 + S_1)},$$

где $q'_{\text{нкж}}$ – потери зерна в не срезанных колосьях под валком (г);
 S_4 – площадь рамки для учета потерь зерна в не срезанных колосьях под валком (м²).

Суммарные потери зерна за жаткой (%) равны:

$$\Delta q_{\text{ж}} = \Delta q_{\text{сзж}} + \Delta q_{\text{кж}} + \Delta q_{\text{скж}} + \Delta q'_{\text{сзж}} + \Delta q'_{\text{нкж}}.$$

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

$$W = 3,6 \cdot \frac{G_3 \cdot 3_M}{t \cdot 100},$$

где t – время прохождения учетной делянки (с).

8. АГРОТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

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

Определяют следующие показатели условий испытаний и качества выполнения технологического процесса зерноуборочных комбайнов, валковых жаток и подборщиков:

1. Характеристика культуры перед прямым комбайнированием и скашиванием в валки:

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

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

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, %:

$$\Pi = \frac{\bar{l} - \bar{l}_2}{\bar{l}} \cdot 10^2,$$

где \bar{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, %:

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

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, %:

$$\bar{q}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_{li},$$

где q_{li} – 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.

2. Характеристика валка и культуры в валке, определяемая перед подбором валков:

- тип валка;
- высота валка, см;
- толщина валка, см;
- просвет между почвой и валком, см;
- ширина валка, см;
- расстояние между валками, м;
- ширина захвата жатки, м;
- длина стеблей в валке, см;
- потери зерна за валковой жаткой, %;
- масса 1 м валка, кг:

$$q_v = \frac{G_3 + G_c}{L},$$

где G_3 – масса зерна, собранного с учетной делянки, кг; G_c – масса соломы и половы, собранных с учетной делянки, кг; L – длина учетной делянки, м;

- урожайность зерна, ц/га;
- масса 1000 шт. зерен, г;
- отношение массы зерна к массе соломы:

$$\gamma = 1 : \frac{G_c}{G_3},$$

где G_c – масса соломы и половы, собранной с учетной делянки, кг; G_3 – масса зерна, собранного с учетной делянки, кг; $:$ – знак отношения, а не деления.

При эксплуатационно-технологической оценке отношение массы зерна к массе соломы определяют по результатам взвешивания продуктов обмолота в каждой повторности опыта. Вычисления производят по формуле

$$\gamma = 1 : \frac{G_c \cdot L}{G_3 \cdot L'},$$

где L – длина делянки, с которой собрано зерно, м; L' – длина учетной делянки, с которой отобрана проба соломы, м; или же определяют по результатам анализа пробных снопов и анализа частей валка:

$$\gamma = 1 : \frac{q_{\text{рм}} - q_3}{q_3},$$

где $q_{\text{рм}}$ – общая масса снопа с учетом массы сорняков над соответствующей линией среза или части валка, г; q_3 – масса зерна, выделенного из снопа или части валка, г;

– распределение зерна по ширине валка, %: слева; посередине; справа.

- характеристика поля и почвы;
- уклон поля, град;
- количество камней на 1 м², шт.;
- влажность почвы в слое 0–10 см, %;
- твердость почвы в слое 0–10 см, Па.

3. Показатели качества работы.

Качество работы валковой жатки:

1) ширина захвата, м:

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

2) высота среза, см:

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

3) среднеквадратическое отклонение, см:

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

4) коэффициент вариации, %:

$$V = \frac{\sigma_h}{\bar{h}} \cdot 100;$$

5) высота валка, см;

6) толщина валка, см;

7) просвет между почвой и валком, см;

8) ширина валка, см;

9) потери зерна за жаткой, %:

а) потери за жаткой свободного зерна в межвалковом пространстве, %:

$$\Delta q_{\text{сзж}} = \frac{10q_{\text{сзж}}}{S_2 \cdot Y_3} - \frac{10q_e}{S \cdot Y_3},$$

где $q_{\text{сзж}}$ – потери свободного зерна в межвалковом пространстве, г; q_e – потери зерна от самоосыпания, г; S_2 – площадь рамки для учета потерь свободного зерна в межвалковом пространстве, м²; S – площадь, с которой учтены потери от самоосыпания, м²; Y_3 – урожайность зерна, ц/га:

$$Y_3 = \frac{G_3 \cdot Z_M}{L \cdot B_{\text{ж}}} + \frac{q_{\text{нкж}}}{10S_1} + \frac{q_{\text{скж}}}{10S_1} + \frac{q_{\text{сзж}}}{10S_2} + \left(\frac{q'_{\text{сзж}}}{10S_3} - \frac{q_{\text{сзж}}}{10S_2} \right) \cdot \frac{S_3}{S_2 + S_3},$$

где G_3 – масса зерна в бункере, кг; Z_M – содержание основного зерна и зерновой примеси в зерне из бункера, %; L – длина учетной делянки, с которой собрано зерно в бункер, м; $q_{\text{нкж}}$ – потери зерна в несрезанных колосьях в межвалковом пространстве, г; S_1 – площадь рамки для учета потерь зерна в срезанных и несрезанных колосьях, м²; $q'_{\text{сзж}}$ – потери свободного зерна под валком; S_3 – площадь рамки для учета потерь свободного зерна под валком, м²;

б) потери за жаткой свободного зерна под валком, %:

$$\Delta q'_{\text{сзж}} = \frac{10q'_{\text{сзж}}}{S_3 \cdot Y_3} - \frac{10q_e}{S \cdot Y_3} \cdot \frac{S_3}{S_2 + S_3};$$

в) потери за жаткой зерна в срезанных колосьях в межвалковом пространстве, %:

$$\Delta q_{\text{скж}} = \frac{10q_{\text{скж}}}{S_1 \cdot Y_3},$$

где $q_{\text{скж}}$ – потери зерна в срезанных колосьях, %;

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

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

д) потери за жаткой зерна в несрезанных колосьях под валком, %:

$$\Delta q'_{\text{нкж}} = \frac{10q'_{\text{нкж}}}{S_4 \cdot Y_3} \cdot \frac{S_4}{S_4 + S_1},$$

где $q'_{\text{нкж}}$ – потери зерна в несрезанных колосьях под валком, г; S_4 – площадь рамки для учета потерь зерна в несрезанных колосьях под валком, м²;

е) суммарные потери зерна за жаткой, %:

$$\Delta q_{\text{ж}} = \Delta q_{\text{сзж}} + \Delta q_{\text{кж}} + \Delta q_{\text{нкж}} + \Delta q'_{\text{сзж}} \cdot \Delta q'_{\text{нкж}}.$$

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

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

где t – время прохождения учетной делянки, с.

Распределение зерна по ширине валка, %: слева; посередине; справа.

Качество работы жатки комбайна

Определяют те же показатели, что и при определении качества работы валковой жатки до пункта а, а также следующие:

Потери зерна за жаткой, %:

а) потери за жаткой свободным зерном, %:

$$\Delta q_{\text{сз}} = \frac{10q_{\text{сз}}}{S_2 \cdot Y_3} - \frac{10q_e}{S \cdot Y_3},$$

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

$$Y_3 = \frac{G_3 \cdot Z_M}{L \cdot B_{\text{ж}}} + \frac{q_{\text{нк}}}{10S_1} + \frac{q_{\text{ск}}}{10S_1} + \frac{q_{\text{сз}}}{10S_2},$$

где $q_{\text{нк}}$ – 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, м²; S_2 – площадь рамки для учета потерь свободным зерном, м²;

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

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

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

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

г) суммарные потери зерна за жаткой, %:

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

Высота среза, см:

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

где h – среднее значение, см; h_i – текущее значение; n – количество измерений.

Среднеквадратическое отклонение, см:

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

Коэффициент вариации, %:

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

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:

$$\gamma = 1 : \frac{G_c + G_{п}}{G_з},$$

где G_c – масса соломы, кг; $G_{п}$ – масса половы, кг; $G_з$ – масса зерна, кг.

Урожайность зерна на учетной делянке повторности опыта, ц/га:

$$y_з = \frac{G_з \cdot Z_{м} + 0,1q \cdot \eta}{B_{ж} \cdot L},$$

где $Z_{м}$ – содержание основного зерна и зерновой примеси в зерне из бункера, %;

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

где η – 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:

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

Подача приведенная, кг/с:

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

Масса 1 м валка, кг:

$$G_B = \frac{G_c + G_{\Pi} + G_3}{L}.$$

Среднеквадратическое отклонение, \pm кг:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum (G_B - \bar{G}_B)^2}{n - 1}}.$$

Потери зерна за молотилкой, г:

$$q_M = q_{\text{HC}} + q_{\text{HII}} + q_{\text{CC}} + q_{\text{CII}}.$$

Потери зерна недомолотом в соломе (за соломотрясом), %:

$$\Delta q_{\text{HC}} = \frac{\eta_M \cdot q_{\text{HC}} \cdot 100}{10 \cdot G_3 \cdot Z_M + q_M \cdot \eta_M},$$

где q_{HC} – потерн зерна недомолотом в соломе, г; η_M – коэффициент тарировки молотилки.

Потери зерна недомолотом в полове (за очисткой), %:

$$\Delta q_{\text{HII}} = \frac{\eta_M \cdot q_{\text{HII}} \cdot 100}{10 \cdot G_3 \cdot Z_M + q_M \cdot \eta_M}.$$

Потери свободным зерном в соломе, %:

$$\Delta q_{\text{CC}} = \frac{\eta_M \cdot q_{\text{CC}} \cdot 100}{10 \cdot G_3 \cdot Z_{\Pi} + q_M \cdot \eta_M}.$$

Потери свободным зерном в полове, %:

$$\Delta q_{\text{сп}} = \frac{\eta_{\text{м}} \cdot q_{\text{сп}} \cdot 100}{10 \cdot G_3 \cdot Z_{\text{п}} + q_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{м}}}$$

Потери зерна в щели комбайна, %:

$$\Delta q_{\text{щ}} = \frac{q_{\text{щ}} \cdot 100}{10 \cdot G_3 \cdot Z_{\text{м}} \cdot q_{\text{щ}} \cdot q_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{м}}},$$

где $q_{\text{щ}}$ – потери зерна в щели комбайна, г.

Потери зерна распылом, %:

$$\Delta q_{\text{др}} = D_{\text{др}} \cdot K_{\text{р}},$$

где $D_{\text{др}}$ – дробление зерна, %; $K_{\text{р}}$ – коэффициент распыла.

Суммарные потери зерна за молотилкой, %:

$$\Delta q = \Delta q_{\text{ис}} + \Delta q_{\text{сс}} + \Delta q_{\text{сп}} + \Delta q_{\text{нп}} + \Delta q_{\text{др}} + \Delta q_{\text{щ}}.$$

Подача соломы на соломотряс, кг/с:

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

Подача вороха на очистку, кг/с:

$$\Pi_{\text{в}} = \frac{G_3 \cdot G_{\text{п}}}{t}.$$

Содержание сорной примеси в зерне из бункера, %.

Дробление зерна, %;

Обрушивание зерна (для пленчатых культур), %;

Микрповреждение зародыша зерна, %.

Качество работы подборщика

Урожайность зерна, ц/га:

$$Y_3 = \frac{G_3 \cdot Z_{\text{м}}}{L \cdot B_{\text{ж}}} + \frac{q_{\text{скп}}}{10l_1 \cdot B_{\text{ж}}} + \frac{q_{\text{сзп}}}{10l_2 \cdot B_{\text{ж}}},$$

где l_1 – длина рамки для учета потерь зерна в колосьях за подборщиком, м; l_2 – длина рамки для учета потерь свободного зерна за подборщиком, м; $q_{\text{скп}}$ – потери зерна в колосьях, г; $q_{\text{сзп}}$ – потери свободного зерна, г; $B_{\text{ж}}$ – ширина, с которой сформирован валок, м.

Потери за подборщиком зерна (в колосьях), %:

$$\Delta q_{\text{скп}} = \frac{10 \cdot q_{\text{сзп}}}{l_2 \cdot B_{\text{ж}} \cdot Y_{\text{ж}}} - \Delta q_{\text{скж}},$$

где $\Delta q_{\text{скж}}$ – потери зерна за валковой жаткой в срезанных колосьях в межвалковом пространстве.

Потери за подборщиком свободного зерна, %:

$$\Delta q_{\text{сзп}} = \frac{10 \cdot q_{\text{сзп}}}{l_2 \cdot B_{\text{ж}} \cdot Y_{\text{ж}}} - \Delta q'_{\text{сзж}},$$

где $\Delta q'_{\text{сзж}}$ – потери свободного зерна под валком.

Суммарные потери зерна за подборщиком, %:

$$\Delta q_{\text{п}} = \Delta q_{\text{скп}} + q_{\text{сзп}}.$$

Скорость движения, км/ч:

$$V = 3,6 \cdot 10^2 \cdot \frac{L}{t}.$$

9. АГРОТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МАШИН ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Агротехническую оценку машин для внесения удобрений необходимо проводить:

1) не менее чем на двух видах машин с различными физико-механическими свойствами твердых минеральных удобрений;

2) не менее чем на двух видах твердых органических удобрений. Органические удобрения не должны содержать посторонних примесей (металл, камни, строительные отходы, стекло). Максимальный размер комков удобрений не более 150 мм;

3) не менее чем на двух видах жидких органических удобрений. Участок, выбранный для агротехнической оценки, должен быть однородным по механическому составу, рельефу, влажности почвы, задернению и качеству предшествующей обработки почвы.

Условия опытов характеризуются следующими основными показателями:

- вид удобрений;
- насыпная плотность, кг/м³;

- влажность удобрений, %;
- гранулометрический состав, %;
- тип почвы;
- рельеф;
- уклон участка, %, и микрорельеф;
- температура воздуха, °С;
- относительная влажность воздуха, %;
- скорость ветра, м/с;
- направление ветра относительно движения машины, град.

При испытаниях машин для внесения жидких органических удобрений дополнительно определяют неравномерность перемещения удобрений по формуле

$$M = \frac{m_{oi} \cdot 10^2}{m_{ci}},$$

где m_{oi} – масса осадка в i -й пробе после высушивания, г; m_{ci} – масса суспензии в i -й пробе до отстаивания, г.

Схемы расстановки противней, в которые попадают удобрения при проведении опытов по агротехнической оценке машин, приведены на рис. 1–3.

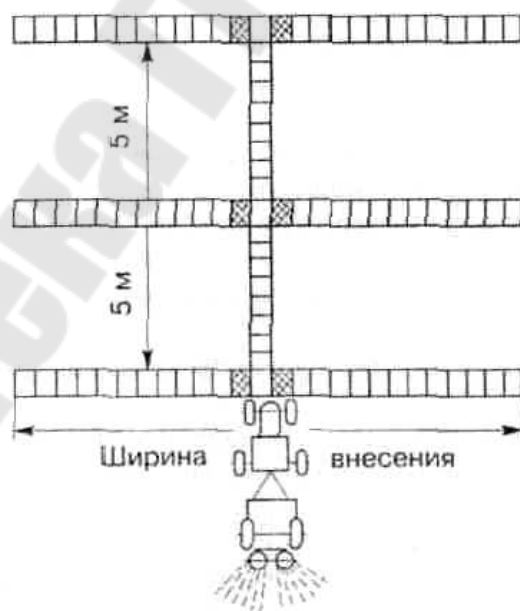


Рис. 1. Схема расстановки противней с симметричным двусторонним характером внесения удобрений по ширине и ходу движения машины

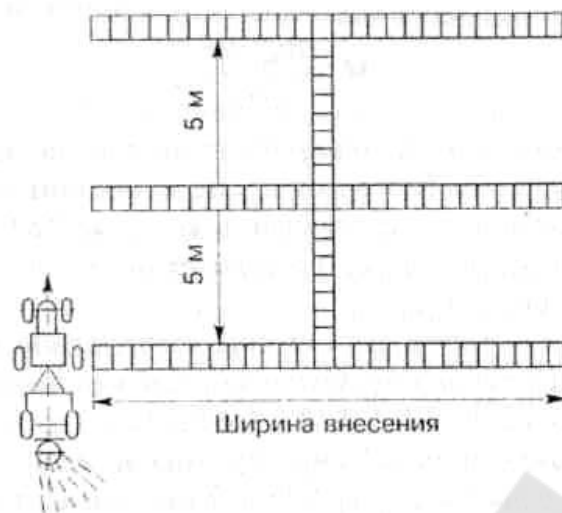


Рис. 2. Схема расстановки противней при одностороннем характере внесения удобрений по ширине и ходу движения машины

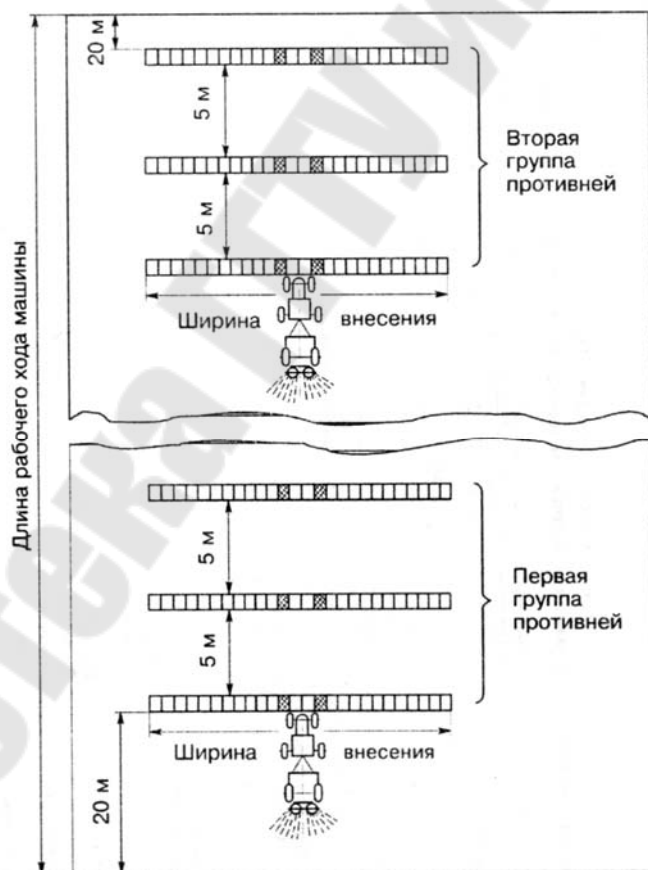


Рис. 3. Схема расстановки противней при определении нестабильности дозы внесения удобрений

Полученные показатели сопоставляются с нормативными требованиями на машину и сравниваются с показателями машины-аналога.

Основными оцениваемыми показателями качества выполнения технологического процесса машин для внесения удобрений являются:

1) рабочая ширина внесения удобрений, которая должна быть технологически обоснована;

2) диапазон доз внесения удобрений;

3) неравномерность внесения удобрений на рабочей ширине захвата и по ходу движения агрегата, которая в настоящее время составляет 15–25 %;

4) нестабильность дозы внесения удобрений, которая составляет 5–10 %.

При соответствии показателей испытываемой машины требованиям нормативной документации и лучшим их значениям в сравнении с показателями сравниваемой машины дается положительная оценка испытываемого образца. При несоответствии полученных показателей требованиям НД анализируется причина несоответствия и даются рекомендации по приведению их в соответствие с нормативными требованиями.

10. АГРОТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МАШИН ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

Агротехническая оценка опрыскивателей проводится при лабораторных (стендовых) и лабораторно-полевых испытаниях.

Лабораторные (стендовые) испытания включают определение характеристики исходного материала, определение показателей, характеризующих работу распыливающих и дозирующих устройств, определение показателей, характеризующих работу насоса, заправочного устройства.

Лабораторно-полевые испытания включают определение характеристики исходного материала:

- выбор фона и характеристику условий испытаний;
- выбор режимов работы;
- определение показателей качества работы;
- определение биологической эффективности обработок;
- анализ агротехнической оценки.

Условия испытаний характеризуются следующими основными параметрами:

- температура воздуха, °С;
- относительная влажность воздуха, %;
- скорость и направление ветра, м/с;
- вид и название препарата;
- тип почвы, ее влажность и твердость;
- тип насаждения и его характеристика;
- количество сорняков, вредителей или фаза развития болезни.

Условия испытаний зачастую являются определяющими при оценке показателей работы опрыскивателей. Так, к примеру, повышение температуры атмосферного воздуха приводит к увеличению испаряемой и распыленной жидкости и меньшей эффективности обработок, то же относится и к ветру. В каждой стране существуют свои узаконенные требования к машинам и технологиям химической защиты растений, а показатели использования машин сопоставляются при одинаковых определенных условиях испытаний, в частности при температуре воздуха 15 °С и относительной влажности 75–80 %.

При оценке (испытаниях) полевых штанговых опрыскивателей определяются следующие основные показатели качества выполнения технологического процесса:

1. Диапазон норм вылива рабочей жидкости в рабочих диапазонах скоростей движения агрегата и давлений в коммуникации, л/га.

Нормы вылива рабочей жидкости определяются при стендовых испытаниях методом вылива жидкости из распылителей (при различных давлениях в напорной коммуникации) и сбора ее в мерные цилиндры за определенный период времени, с последующим взвешиванием и расчетом по основополагающей формуле

$$q = \frac{Q \cdot V \cdot B}{600n}, \quad \text{или} \quad Q = \frac{600q \cdot n}{V \cdot B},$$

где Q – расход (норма вылива) рабочей жидкости, л/га; q – расход жидкости через один распылитель, л/мин; V – рабочая скорость движения агрегата, км/ч; B – рабочая ширина захвата (равна произведению количества распылителей на шаг их установки, обычно 0,5 м), м; n – количество распылителей на штанговом рабочем органе; 600 – согласующий переводной коэффициент.

С использованием указанных формул строят таблицы и графики настройки опрыскивателя на норму вылива рабочей жидкости.

2. Неравномерность распределения жидкости между распылителями по ширине захвата штангового рабочего органа.

Определяется на основании данных проливов (по п. 1) методом математической обработки данных как коэффициент вариации (K_V):

$$K_V = \frac{\delta}{\bar{x}} \cdot 100,$$

где $\delta = \sqrt{\frac{\sum(\bar{x} - x_i)^2}{n-1}}$ – среднеквадратическое отклонение; $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x}{n}$ –

среднее арифметическое значение массы пробы.

Неравномерность распределения жидкости является одним из основных показателей, характеризующих технический уровень опрыскивателя; чем показатель меньше (в абсолютном значении), тем технологический процесс более качественный, экономически эффективный и экологически безопасный.

В настоящее время нормативное значение этого показателя во многих странах установлено «не более 5 %».

3. Неравномерность отложения препарата на эффективной ширине захвата.

Показатель тесно связан с предыдущим (зависит от неравномерности распределения жидкости между распылителями и в большой степени от условий испытаний) и определяется при лабораторно-полевых испытаниях методом обработки специально разложенных на рабочей ширине захвата улавливающих препарат (в данном случае имитатор) карточек из полиэтиленовой пленки, последующем смывании следов осевших капель, калориметрировании раствора и обработке данных по методам математической статистики.

Нормативным значением неравномерности отложения препарата на эффективной ширине захвата для полевых штанговых опрыскивателей является 25 %. Многие штанговые опрыскиватели (в отличие от вентиляторных) удовлетворяют этому требованию, однако при минимальных (до 1,0 м/с) скоростях движения воздуха, при увеличении скорости воздуха (что характерно для условий Беларуси) показатель резко ухудшается.

Создание эффективных, не требовательных к погодным условиям распыливающих устройств является одной из актуальных проблем многих фирм-разработчиков и изготовителей опрыскивателей, а задачей испытателей (исследователей) является объективная оценка их на должном техническом уровне проведения работ (исследований).

4. Густоту покрытия (шт./см²) и дисперсность (размер капель) распыла (в микронах) жидкости опрыскивателями определяют на карточках из мелованной (или другой, обработанной специальным составом) бумаги, которые раскладывают в определенном порядке на рабочей ширине захвата машины.

Предварительно в баке опрыскивателя готовится определенный (1–2 %) раствор в воде интенсивного водорастворимого красителя (нигрозина или т. п.), а после тщательного перемешивания и настройки машины на требуемую норму вылива опрыскиватель проезжает над разложенными на поверхности карточками. Капли оседают на них и засыхают, затем карточки собираются и подвергаются микроскопированию с подсчетом количества капель на учетной площади и их размера в микронах. На основании специальной обработки полученных размеров капель определяется так называемый медианно-массовый диаметр капель (ММД), имеющий следующий физический смысл:

ММД капель – это тот размер (диаметр) капель, который свидетельствует, что масса жидкости в каплях меньших ММД соответствует массе жидкости, заключенной в каплях больших ММД.

По результатам микроскопирования и нахождения ММД метод химической обработки (и саму машину, его осуществляющую) относят к обычному (ММД = 500–1000 мкм), мелкокапельному (ММД = 100–500 мкм) или высокодисперсному (ММД менее 100 мкм) опрыскиванию. Следует отметить, что приведенные значения ММД не являются общепризнанными, не носят четко определенного значения и в различных странах трактуются по-разному.

Микроскопирование учетных карточек с целью определения медианно-массового диаметра капель является одной из трудоемких и скрупулезных операций в системе оценки сельскохозяйственных машин. Недопустима обработка карточек двумя и более специалистами, т. к. нарушается методология оценки и тем самым объективность.

В настоящее время ведущие фирмы-разработчики и изготовители распылителей и опрыскивателей проводят оценку дисперсности распыла на специально изготовленных установках (стендах) с использованием лазерной и компьютерной техники. Указанные установки имеют высокую стоимость, но использование их окупается оперативностью и объективностью исследований с целью создания конкурентоспособной продукции в условиях широкой конкуренции.

Оценка опрыскивателей предполагает определение и других показателей качества выполнения технологического процесса, таких как стабильность поддержания технологического режима, оценка средств автоматизации, агротехническая и биологическая эффективность химических обработок, изучение сноса препарата и воздействие этого явления на экологию, санитарно-гигиеническая оценка, оценка ультрамалообъемного опрыскивания и др., которые требуют специальной подготовки в специализированных (аккредитованных) центрах и лабораториях после получения основных знаний.

Обработка результатов испытаний проводится в соответствии с положениями РД 10.6.1 «Испытания сельскохозяйственной техники. Опрыскиватели, опыливатели, расселители энтомофагов, машины для приготовления и транспортировки рабочей жидкости. Программа и методы испытаний». Указанный документ предусматривает характер и формы записи и регистрации определяемых показателей, а также отображение их в отчете (протоколе) испытаний.

Результаты агротехнической оценки обрабатывают на ЭВМ по соответствующим программам. Исходными данными являются показатели, полученные при лабораторно-полевых испытаниях, которые обрабатывают методом математической статистики с определением среднего арифметического значения, среднего квадратического отклонения и коэффициента вариации. Данные по качеству работы после обработки заносят в соответствующие ведомости протокола испытаний.

По результатам агротехнической оценки полученные показатели по испытываемой машине сопоставляются с нормативными требованиями и сравниваются с показателями машины-аналога. При этом используется и другая имеющаяся техническая информация, позволяющая дать объективное обоснование показателей, при этом необходимо иметь ссылку на конкретный источник. Полученные показатели качества агротехнической оценки необходимо тесно привязывать к условиям испытаний и конструкции испытываемой машины.

При соответствии показателей испытываемой машины требованиям НД и лучшим их значениям в сравнении с показателями машины-аналога делаются положительные выводы. При несоответствии полученных показателей требованиям НД анализируется причина несоответствия и даются рекомендации по приведению их в соответствие.

11. ИСПЫТАНИЯ ДЕТАЛЕЙ И ПЕРЕДАЧ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Испытания машин, а следовательно, их узлов и деталей – мощное средство технического прогресса в машиностроении.

Испытания особо важны для обеспечения надежности машин. Эксплуатационные наблюдения надежности и долговечности машин оказываются статистически достоверными только через длительные сроки эксплуатации. Считается, что решение важнейшей для народного хозяйства проблемы надежности машин в значительной степени тормозится из-за невозможности быстрых испытаний по этому критерию.

Полный комплекс испытания машин предусматривает следующую последовательность и состав испытаний: от деталей к узлам, агрегатам и к машине в целом и от лабораторных испытаний к испытанию на полигоне, к опытной эксплуатации и к серийной эксплуатации. Объем испытаний зависит от ответственности и назначения машины, ее напряженности, новизны и от объема выпуска. При всех испытаниях должна оцениваться их точность и обеспечиваться необходимая достоверность результатов.

В соответствии с основными критериями работоспособности и надежности деталей машин их испытывают на точность, потери на трение, прочность, жесткость, теплостойкость, износостойкость и виброустойчивость.

Испытания деталей проводят:

– на экспериментальных установках, позволяющих испытывать относительно дешевые образцы, форсировать режимы и проводить точные измерения;

– в натуральных узлах и машинах, позволяющих выполнять испытания в условиях, близких к эксплуатационным.

Основное распространение и значение имеют испытания на экспериментальных установках. В натуральных машинах удобно проводить испытания без разрушения по критериям точности, жесткости, виброустойчивости.

Испытания делятся на кратковременные, при которых фиксируется состояние объекта в данный момент, и длительные, в процессе которых контролируется изменение состояния во времени. Кратковременные испытания требуют времени для достижения установившегося температурного состояния и собственно для проведения измерений. К этим испытаниям относят испытания по следующим

критериям: начальной точности, прочности при единичных нагружениях, жесткости, виброустойчивости. К длительным испытаниям относят испытания на усталость, изнашивание, коррозию, проводимые до разрушения или исчерпания значительной части ресурса.

Для испытания деталей машин по показателям, имеющим существенное рассеяние, в частности на ресурс, необходимо пользоваться статистическими методами. Выборка, т. е. количество изделий, подлежащих испытанию, должна быть достаточно представительной. Она зависит от масштаба выпуска, стоимостей изделия и его испытания, рассеяния показателя и др.

Испытания на надежность и испытания по всем критериям, связанным с накоплением повреждений, требуют длительного времени. Считается, что решение первоочередной задачи техники – обеспечение необходимой надежности оборудования затрудняется невозможностью достаточно быстрой оценки надежности. Поэтому проблема ускоренных испытаний является весьма актуальной. Ускорение испытаний достигается следующими основными путями (или их сочетаниями):

- обеспечением непрерывности испытаний;
- повышением частоты нагружений или скорости скольжения;
- увеличением нагрузок или исключением из их спектра нагрузок, не влияющих или слабо влияющих на долговечность;
- форсированием воздействия окружающей среды (загрязнений, коррозии и т. д.);
- повышением точности измерений;
- использованием статистических методов обработки результатов с использованием исследованных ранее закономерностей;
- применением научного планирования экспериментов.

При ускорении испытаний характер выхода деталей из строя должен обязательно сохраняться таким же, как и в эксплуатации. Это условие является обязательным при установлении возможного форсирования режимов. Ускоренные испытания особенно удобны как сравнительные и для проверки стабильности качества продукции. При использовании их для оценки ресурса необходимо установление коэффициента перехода на основе сопоставления с результатами эксплуатационных наблюдений или хотя бы длительных испытаний.

При полных испытаниях на долговечность доводят до отказа все изделия партии и получают кривую распределения ресурса. Применяют также сокращенные испытания до отказа $(100 - \gamma)\%$ изделий

партии, где γ – процент изделий, для которых гарантирован ресурс, или до отказа числа изделий, достаточного, чтобы сделать заключение о качестве партии или вычислить средний ресурс.

Испытания на крупных деталях оказываются дорогими, требующими больших мощностей и больших лабораторных площадей. Поэтому значительную часть испытаний проводят на образцах уменьшенных размеров. Для перехода к натурным деталям используют теорию подобия, а также проводят специальные исследования для установления влияния масштабного фактора.

Общим принципом, который при возможности следует реализовать в экспериментальных машинах для длительных испытаний, является внутреннее нагружение. При испытании передач редукторов, коробок скоростей из них составляют кинематически замкнутый контур (рис. 4).

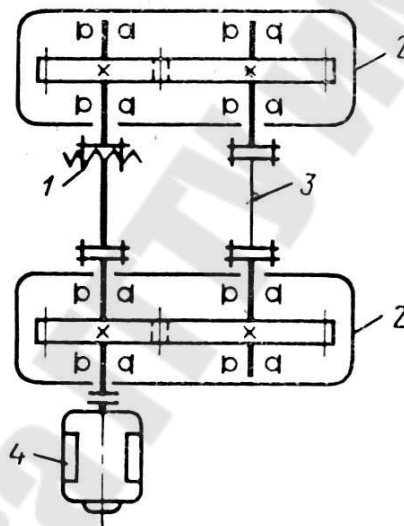


Рис. 4. Замкнутый контур для испытания зубчатых агрегатов:
 1 – нагружающая муфта; 2 – испытываемый агрегат;
 3 – торсионный валик; 4 – балансирный двигатель

Контур подвергается внутреннему нагружению путем деформирования упругого элемента (обычно закручивания торсионного валика) или гидравлическим путем (реже пневматическим). Метод замкнутого контура в последнее время успешно распространен на передачи, работающие со скольжением. Нагрузку регулируют, принудительно изменяя скольжение путем варьирования передаточного числа одной из передач, входящих в контур. В частности, при испытаниях клиноременных передач это достигается выполнением одного

шкива раздвижным. При испытаниях муфт полумуфты устанавливаются на полые валы, сквозь которые пропускают торсионный вал, замыкающий контур. При испытаниях передач винт–гайка применяют по две гайки, нагруженные силой сжатия пружины между ними. При испытаниях подшипников нагрузку можно создать в виде силы распора между ними.

Испытания при внутреннем нагружении (с применением замкнутого контура) имеют следующие достоинства:

- мощность привода расходуется только на преодоление сил трения, т. е. можно испытывать детали мощных машин на экспериментальных машинах с малой мощностью двигателей и малой затратой энергии;

- потери на трение можно измерять с высокой точностью.

Замкнутым способом испытывают даже такие мощные агрегаты, как турбинные редукторы. В экспериментальных установках целесообразно применять статически определяемые конструкции (без избыточных связей, т. е. связей сверх необходимых для определения положения и движения). Это уменьшает погрешности от начальных и упругих силовых перемещений в системе.

Экспериментально определять параметры объекта исследования можно непосредственным измерением (например, размеров) и приведением системы в равновесное состояние (например, взвешиванием на обычных весах, электрическим измерением с помощью мостика Уитстона). Экспериментальное определение воздействий на объект исследования может также проводиться по результатам воздействий на объект (например, определение сил по упругим деформациям объекта).

Испытания при повышенных и пониженных температурах проводят с подогревом или охлаждением испытываемых деталей в специальных камерах, для которых в машине должно быть предусмотрено место. Подогрев осуществляется электрическим током, охлаждение же – парами азота, поступающего из сосуда Дьюара, причем для задания и поддержания температуры используется автоматический регулятор температуры. Иногда жидкий азот заливают в полости камеры. Существуют общие низкотемпературные камеры (помещения), но их использование для испытания деталей машины нерационально.

Методы измерения параметров при испытаниях деталей машин можно разделить на механические, пневматические, оптические и электрические.

При изменении постоянных или медленно меняющихся параметров преимущественно используют более простые методы – меха-

нические или оптические. Пневматические методы применяют как бесконтактные. При измерении быстроменяющихся параметров, а также при автоматическом контроле размеров преимущественно применяют электрические методы, достоинствами которых являются малая инерционность, малое влияние на объект измерения благодаря малым массам и размерам датчиков, дистанционность, удобная регистрация результатов с помощью осциллографов и других приборов, легкость автоматизации и т. п. Применение электрических дифференцирующих и интегрирующих устройств позволяет по замеренным перемещениям регистрировать скорости и ускорения, или наоборот.

11.1. Испытание зубчатых и червячных передач на контактную прочность, заедание и износ

Многие факторы, влияющие на контактную прочность, заедание и износ передач, одинаковы. Это обуславливает и сходство методов испытаний и стендов. Методы испытаний отличаются режимами испытаний и критериями оценки потери работоспособности контактирующих поверхностей, а стенды – оснащением их различными измерительными приспособлениями и приборами.

Испытания зубчатых и червячных передач проводят на стендах:

- с замкнутым контуром;
- тормозных;
- с программным нагружением;
- с повторно-периодическим нагружением.

Характерная особенность стендов с замкнутым контуром для испытания зубчатых передач заключается в способе нагружения их силами упругости звеньев (в большинстве случаев – торсионных валов). Различают стенды с предварительным нагружением и с нагружением на ходу. Нагрузка создается силами упругости и внешним воздействием. В стендах с предварительным нагружением нагружающими устройствами (рис. 5) являются постоянные муфты различных конструкций.

По типу нагружающих устройств стенды с нагружением на ходу делятся на:

- стенды с винтовыми механизмами (рис. 6);
- стенды с поворотными корпусами (рис. 7);
- стенды с перемещаемыми в окружном или поперечном направлениях отдельными зубчатыми колесами с планетарными и дифференциальными механизмами (рис. 8);

- стенды с фрикционными муфтами, имеющими проскальзывание (рис. 9);
- стенды с гидравлическими или пневматическими механизмами (рис. 10);
- стенды с механизмами программного нагружения (рис. 11).

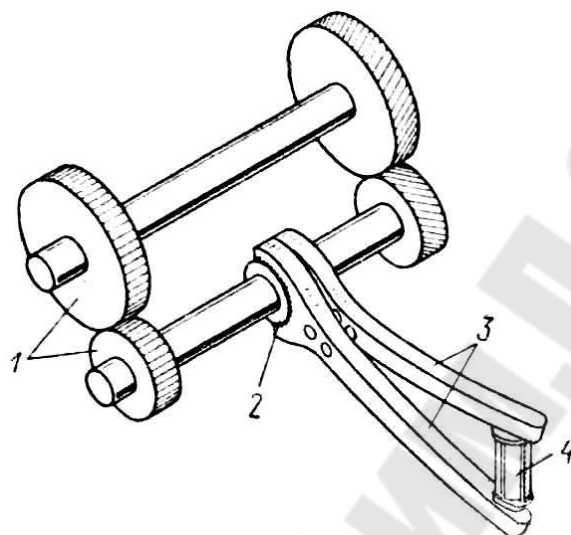


Рис. 5. Стенд с предварительным нагружением

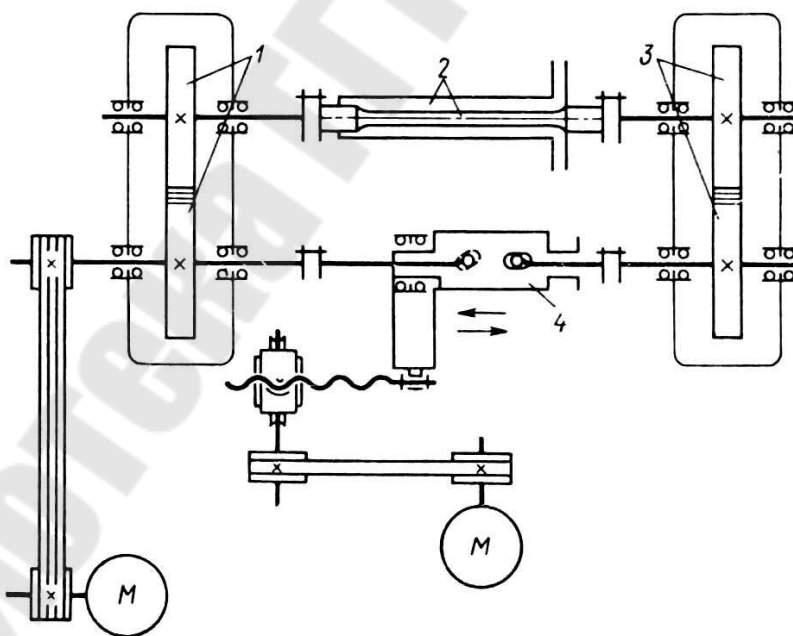


Рис. 6. Стенд с винтовыми механизмами

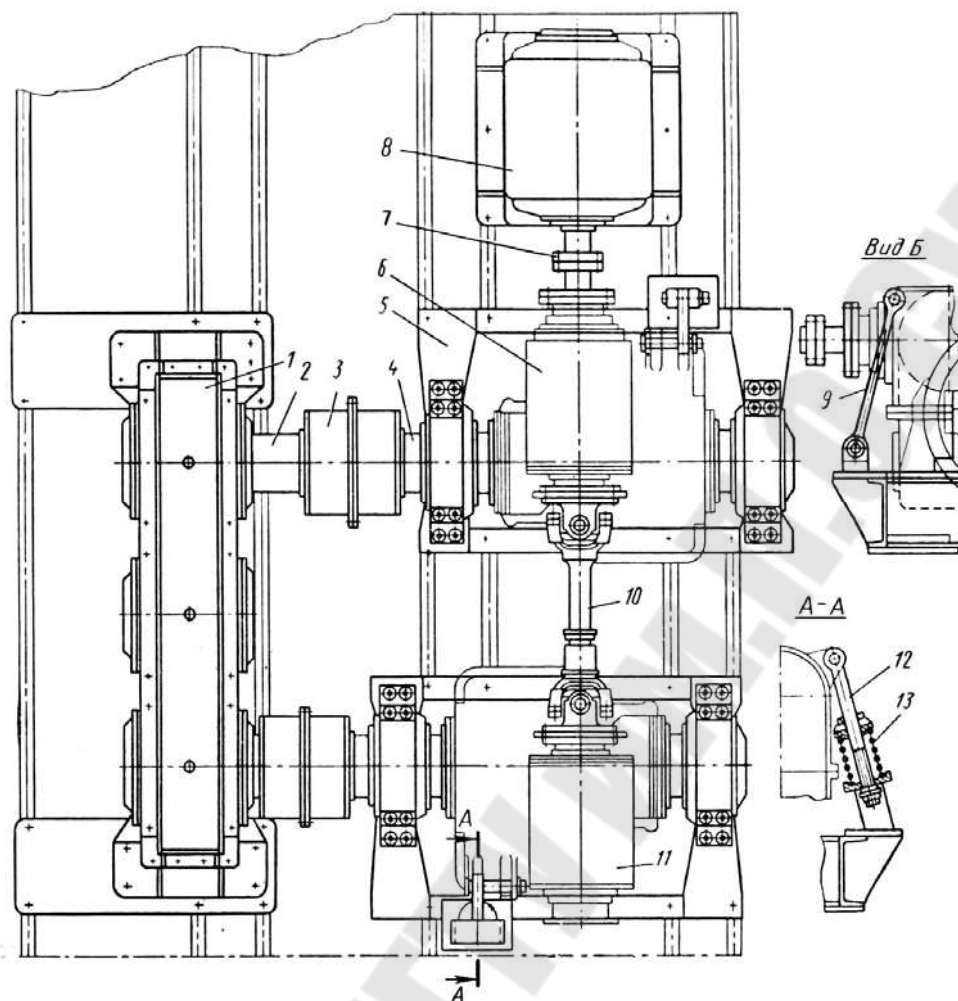


Рис. 7. Стенд с поворотным корпусом

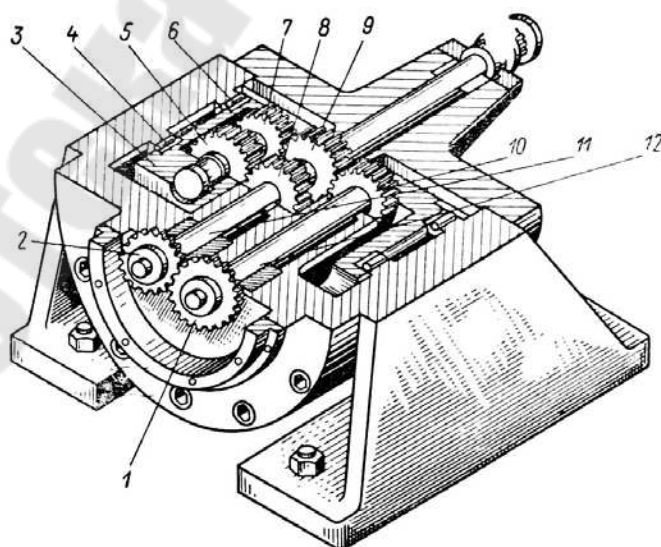


Рис. 8. Стенд с перемещаемыми в окружном направлении отдельными зубчатыми колесами

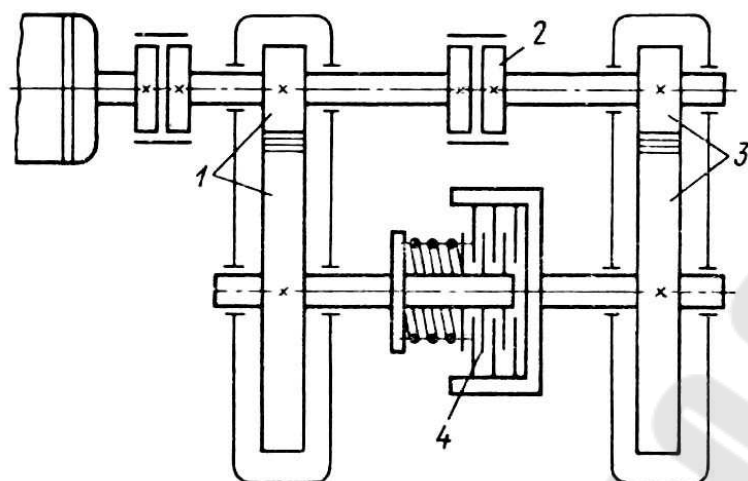


Рис. 9. Стенд с фрикционной муфтой

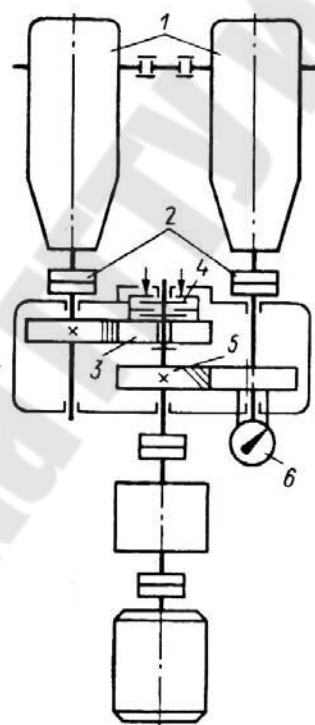


Рис. 10. Стенд с пневматическим механизмом

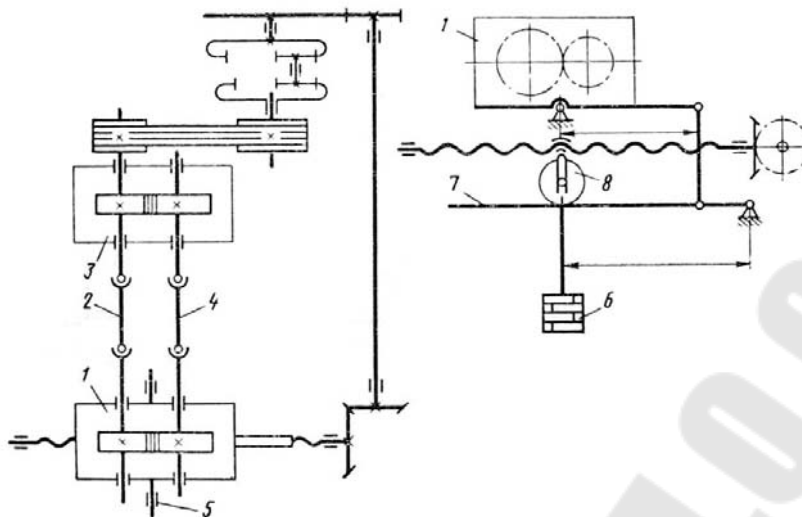


Рис. 11. Стенд с механизмом программного нагружения

Стенды замкнутой мощности также могут быть подразделены по объектам испытаний (для отдельных зубчатых передач и для редукторов); по числу секций (односекционные и многосекционные); по компоновке (с совмещенными и отдельными корпусами испытуемых и стендовых зубчатых передач); по межосевому расстоянию (с постоянным и изменяемым ступенчато или плавно межосевым расстоянием).

Стенды с замкнутым контуром с предварительным нагружением просты по конструкции, но обладают общими недостатками – пуском под нагрузкой и возможностью ослабления нагрузки.

В стендах с поперечно-свертными, конусными, глухими и зубчатыми муфтами закрутку торсионных валов производят грузами, подвешиваемыми к съемным рычажным ключам, или домкратами. Для точной закрутки валов на требуемый угол отверстия под болты поперечно-свертных муфт выполняют в виде окружных пазов или в одной полумуфте число отверстий делают на одно больше, чем в другой. Применение муфт с распорными болтами исключает необходимость в использовании рычажных ключей, грузов и домкратов. После закрутки валов распорные болты стопорят. В нагружающих устройствах с самотормозящими червячными передачами корпус червячной передачи с червяком крепят на одном валу, а червячное колесо на другом. Закрутку торсионного вала производят вращением червяка.

В стендах с винтовыми механизмами нагружения закрутку торсионных валов производят путем осевого перемещения косозубых колес, винтовыми муфтами и муфтами, совмещенными с зубчатыми колесами, перемещаемыми в осевом направлении.

В стендах с поворотными корпусами нагружение осуществляют также путем упругого деформирования деталей, образующих замкнутый контур, и главным образом закручиванием валов, соединяющих зубчатые передачи в неподвижных и подвижных корпусах. Вместе с корпусами могут перемещаться ось какого-либо одного зубчатого колеса относительно оси зацепляющегося с ним колеса, оси двух и более колес относительно оси колеса, расположенного между ними, или оси двух и более колес, расположенных в отдельном корпусе. Валы неподвижных и поворотных корпусов соединяют муфтами, которые допускают повышенные угловые смещения. Чаще всего применяют зубчатые и карданные муфты. Нагружение производят грузами, а также винтовыми и гидравлическими домкратами. Для стендов с поворотными корпусами характерны простота нагружения и возможность оснащения их несложными устройствами для программного нагружения.

Особенность стендов с планетарными и дифференциальными механизмами заключается в том, что планетарные и дифференциальные механизмы включаются в замкнутый контур таким образом, чтобы водила при работе стенда оставались подвижными. Нагружение осуществляют поворотом водила, сообщаящим соединяемым валам дополнительные угловые перемещения в противоположных направлениях.

Характерной особенностью стендов с фрикционными муфтами, работающими с малым проскальзыванием, является разница (на 1–3 %) в передаточных числах зубчатых передач, образующих замкнутый контур, что обуславливает скольжение в муфтах. Нагружение осуществляется силами трения, возникающими в муфтах. В связи с малыми скоростями скольжения мощность, потребляемая муфтами, мала и составляет незначительную часть от циркулирующей в замкнутом контуре мощности. Стенды такого типа удобны для испытания редукторов со встроенными предохранительными фрикционными муфтами, которые используются в качестве нагружающих устройств.

В стендах с гидравлическим и пневматическим нагружением используют винтовые механизмы с гидравлическим приводом, а также лопастные гидромуфты или рычажные механизмы с пневматическим приводом. В качестве винтовых механизмов используют или непосредственно косозубые передачи замкнутого контура, или автономные косозубые передачи, или же винтовые муфты, которые выполняют не только отдельно от гидроцилиндров, но делают их также встроенными и совмещенными.

При соответствующем оснащении стендов с гидравлическим и пневматическим нагружением программным регулятором давления они могут быть использованы для испытаний зубчатых передач при переменных режимах нагружения.

Наряду со стендами замкнутой мощности при испытании зубчатых передач находят применение тормозные стенды, состоящие из привода, испытуемых передач и тормозного устройства. В отличие от стендов замкнутой мощности в тормозных стендах мощность привода равна потребной мощности для испытания зубчатых передач. Тормозные стенды подразделяют на стенды с механическими, гидравлическими и электрическими тормозными устройствами. В стендах с механическим торможением используют колодочные, ленточно-колодочные и ленточные тормоза, а также дисковые фрикционные муфты. Как правило, крутящий момент на тормозном валу таких стендов не превышает $2000 \text{ кгс} \cdot \text{м}$. В тормозных стендах с механическими тормозами точное определение крутящих моментов при малых частотах вращения затруднено из-за нестабильной работы тормозов, а при больших частотах вращения торможение сопровождается повышенным износом и нагревом. Стенды с механическим торможением имеют ограниченное применение. В качестве тормозных устройств гидравлических стендов используют гидротурбины, гидронасосы и специальные тормоза, рабочей жидкостью которых служит вода или масло. Для увеличения тормозного момента в ряде случаев гидротурбины и гидронасосы включают в силовую цепь стенда через ускоряющие передачи. Момент изменяется дросселирующим вентилем. Достоинством гидравлических тормозных устройств является плавность их работы. Однако они не обеспечивают больших тормозных моментов при малых скоростях, запуске и в периоды быстрого изменения скорости. Хорошая имитация условий работы зубчатых передач гребных винтов судов достигается водяными тормозами. При этом мощность стенда может составлять 20000 кВт .

Стенды для испытания червячных передач также подразделяют на две группы: тормозные и замкнутой мощности. В качестве тормозных устройств стендов первой группы используют механические и электрические тормоза и фрикционные муфты с малым проскальзыванием (рис. 12).

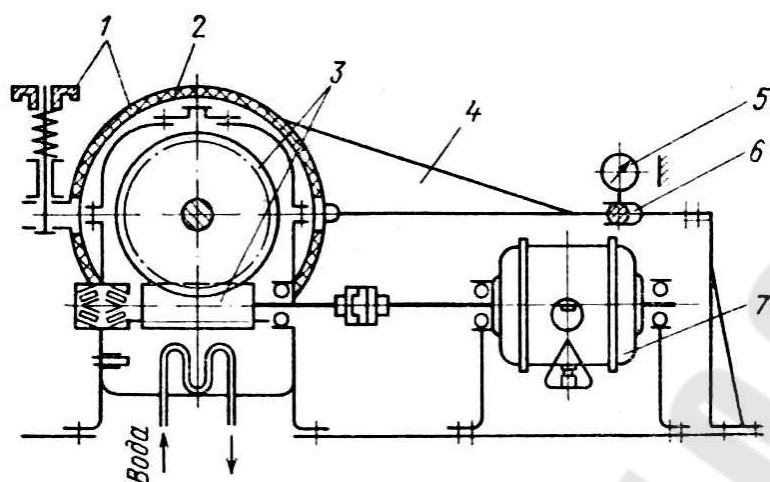


Рис. 12. Стенд для испытания червячных передач

В стендах второй группы нагружение испытываемых передач осуществляют предварительной закруткой торсионного вала, поворотом корпусов (осей) вспомогательных цилиндрических или конических передач, осевым перемещением червяка одной из двух червячных передач, образующих замкнутый контур вместе с двумя вспомогательными передачами, осевым перемещением косозубого колеса вспомогательной цилиндрической передачи, образующей замкнутый контур вместе с двумя червячными передачами с одним общим червяком, натяжением одной из ветвей цепных передач, замыкающих силовой контур двух червячно-цилиндрических передач. Глобоидные червячные передачи испытывают на стендах замкнутой мощности.

Для удешевления испытаний на контактную прочность, заедание и износ широко применяют роликовые машины, отличающиеся простотой конструкции, малыми габаритами, высокой производительностью и простой формой испытываемых образцов (цилиндрические или конические тела качения). Роликовые машины особенно удобны для проведения сравнительных испытаний и оценки роли отдельных факторов. Основой применения роликовых машин для изучения закономерностей выкрашивания, заедания и износа рабочих поверхностей зубьев зубчатых и червячных передач является определенная аналогия в условиях контакта. Чаще всего применяют роликовые машины с постоянным скольжением, а для лучшей имитации условий контакта зубьев передач на роликах – машины с переменным скольжением с неравномерно вращающимися или коническими роликами. Однако и при этом полная аналогия недостижима из-за постоянства кривизны испытываемых поверхностей роликов (в отличие от

переменной кривизны поверхностей зубьев передач), вследствие чего имитируются условия скольжения зубьев только лишь на части поверхностей роликов. Результаты испытаний на роликовых машинах используют как сравнительные для выбора материалов и смазок, а также в расчетной практике с поправками на основе сопоставления с результатами испытаний непосредственно зубчатых и червячных передач.

Роликовые машины могут быть подразделены:

- 1) по условиям проскальзывания в контакте – на машины:
 - фрикционного качения;
 - принудительного постоянного и переменного скольжения;
 - геометрического скольжения;
- 2) по числу контактов испытываемого ролика – на одно-, двух- и трехконтактные машины;
- 3) по форме роликов – на машины с цилиндрическими, коническими и ступенчатыми цилиндрическими роликами;
- 4) по способу нагружения роликов – на машины:
 - с нагружением грузом, пружинами;
 - с гидравлическим и пневматическим нагружением;
- 5) по режимам нагружения – на машины с постоянным, пульсационным и программным нагружением;
- 6) по числу испытательных узлов, приводимых от общего электродвигателя или расположенных на общей станине, в том числе с одним удлиненным образцом, – на односекционные, многосекционные и многопозиционные.

Применение многоконтактных, многосекционных и многопозиционных машин обусловлено необходимостью повышения производительности испытаний.

В машинах фрикционного качения один из роликов является ведущим, а остальные, находясь в контакте с ведущим роликом, вращаются силами трения. В одноконтактных машинах, как правило, ведомыми являются нажимные ролики, а в многоконтактных машинах нажимные и опорные ролики могут быть как ведущими, так и ведомыми. Если в многоконтактных машинах ведущим служит нажимной ролик, то испытываемый ролик является ведомым относительно нажимного и ведущим относительно опорного ролика. Для предотвращения местного проскальзывания машины фрикционного качения запускают без нагрузки с последующим постепенным нагружением. При установившемся движении скольжение между роликами очень мало. Осо-

бенностью машин геометрического скольжения является использование роликов конической формы с параллельными осями или цилиндрических роликов с двумя поверхностями качения разного диаметра. В машинах с коническими роликами ведомый ролик может приводиться во вращение от ведущего как посредством зубчатых передач, так и силами трения в контакте роликов. Если у сопряженных конических роликов диаметры одинаковы, а частоты их вращения равны, то на середине образующих имеет место качение, а в остальных точках возникает скольжение, линейно возрастающее от середины к краям. При этом поверхности больших диаметров являются опережающими, а поверхности меньших диаметров – отстающими. Если же вращение одного из роликов происходит в результате трения в контакте, а диаметры их не одинаковы, то окружность качения без проскальзывания располагается с учетом условия равновесия роликов так, что делит длину образующей конусов на участки опережающих и отстающих поверхностей. Машины с коническими роликами лучше имитируют различие скоростей скольжения и качения без скольжения на различных участках профилей и в полюсе зацепления зубьев, а также условия работы косозубых и шевронных зубчатых передач. В машинах с цилиндрическими роликами с двумя поверхностями качения разного диаметра геометрическое скольжение при фрикционном качении обусловлено отличием окружных скоростей на этих поверхностях.

Особенностью машин постоянного скольжения является принудительное вращение роликов с заданной скоростью скольжения в контакте. Все ролики (за редким исключением) приводятся во вращение от одного и того же электродвигателя через промежуточные передачи. При одинаковой частоте вращения роликов скольжение обусловлено различием в диаметрах роликов, а при одинаковых диаметрах – отличием передаточных чисел промежуточных передач от единицы. В качестве промежуточных передач, как правило, применяют зубчатые передачи. При вращении части роликов ременными передачами или каждого ролика от отдельного электродвигателя скольжение может изменяться в зависимости от скольжения в ременных передачах и в электродвигателях при изменении нагрузки, что сказывается на точности испытаний.

При соответствующем подборе диаметров роликов и передаточных чисел их промежуточных передач роликовые машины постоянного скольжения могут быть использованы для испытаний роликов без скольжения, а при отключении промежуточных передач – для ис-

пытаний при фрикционном качении. Путем несложного изменения конструкции привода роликовые машины постоянного скольжения с зубчатыми промежуточными передачами могут быть преобразованы в машины переменного скольжения.

Применение роликовых машин переменного скольжения вызвано стремлением к более полной имитации процесса зацепления зубьев, т. е. воспроизведения на роликах качения со скольжением одинакового направления, характерного для поверхностей головок, и качения со скольжением противоположного направления, характерного для поверхностей ножек зубьев зубчатых передач. Переменность угловых скоростей достигают применением в приводных механизмах роликов эксцентричных зубчатых передач, карданных валов, кулачковых механизмов и муфт с кулисным механизмом. Если ролики приводятся во вращение посредством эксцентричных зубчатых передач или муфт с кулисным механизмом, то качение поверхностей роликов сопровождается скольжением, изменяющимся непрерывно. Его направление изменяется дважды (за один оборот ролика). Если ролики приводятся во вращение посредством карданных валов, вилки шарниров на концах которых расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях, то качение поверхностей роликов также сопровождается переменным скольжением. Величина скольжения и количество изменений его направления в машинах с кулачками, встроенными в приводные механизмы роликов, зависят от формы профиля и числа осей симметрии профилей кулачков. Для испытаний на контактную прочность стеллы и роликовые машины снабжают устройствами для измерения нагрузок, фиксирования чисел циклов нагружения и поддержания на постоянном уровне температуры масла; для испытаний на заедание – дополнительными устройствами для измерения момента трения, толщины и сплошности масляного слоя и температуры в контакте; для испытаний на износ – устройствами для фиксирования суммарной работы трения. Для оценки состояния контактирующих поверхностей в процессе испытания машины иногда оборудуются микроскопами с фотоприставками.

Для оценки контактного выкрашивания могут служить следующие критерии:

- 1) достижение диаметров нескольких или одной ямки выкрашивания половины малой полуоси расчетного пятна контакта;
- 2) уменьшение площадки контакта до предельной величины по критерию статической прочности, т. е. до начала пластического обмятия границ ямок выкрашивания;

3) достижение площадью ямок выкрашивания определенной части от всей площади испытываемой поверхности;

4) появление ямок выкрашивания по всей длине какой-либо образующей поверхности контакта или достижение предельного числа ямок (например, 10 крупных или 20 мелких ямок на длине 25 мм образующей);

5) появление определенного числа ямок выкрашивания на зубьях, например, 10 или 40;

6) начало прогрессирующего выкрашивания;

7) появление первых признаков образования ямок выкрашивания;

8) появление ямок выкрашивания, видимых невооруженным глазом на определенном числе зубьев, например на одном, на трех или на 50 % зубьев от общего количества зубьев.

Очевидно, что большей определенностью обладает второй из перечисленных выше критериев.

Критериями заедания являются следующие факторы:

1) нарушение сплошности масляного слоя между контактирующими поверхностями, регистрируемое измерением сопротивления электрической цепи, включающей контактирующие поверхности;

2) видимые повреждения испытываемых поверхностей по определенной классификации (задир, натир и т. п.);

3) заедание на части площади испытываемых поверхностей (например, на 40 %);

4) повышение температуры в контакте.

Для оценки износа применяют следующие критерии:

1) искажение профиля зуба в сопоставлении с его исходным состоянием;

2) уменьшение толщины зуба в опасном сечении.

Косвенными критериями при испытаниях на контактную прочность служат: изменение высоты тона шума, интенсивности вибраций и момента трения, при испытаниях на заедание – дополнительно – повышение температуры масляной ванны и парообразование, при испытаниях на износостойкость – количество продуктов износа.

Очевидно, что предпочтительными являются прямые критерии и особенно те из них, которые дают не только качественные, но и количественные оценки, позволяющие сопоставлять результаты различных исследований. Выбор критериев зависит от способа испытаний и изучаемых факторов.

11.2. Испытания цепных передач

Испытания проводят для оценки износостойкости цепей и зубьев звездочек, усталостной, ударно-усталостной и статической прочности цепей и их элементов, а также жесткости цепей, неравномерности хода, динамических нагрузок и КПД передач.

Испытывают передачи на стендах с замкнутым контуром (рис. 13), тормозных (рис. 14) и пробежных (рис. 15) стендах.

Повышенная продолжительность испытаний на долговечность предопределяет преимущественное применение стендов с замкнутым контуром, которые по конструкции нагружающих устройств могут быть подразделены на стенды:

- с натяжным механизмом;
- с поворотной натяжной цепной передачей;
- с рычажно-блочным механизмом нагружения;
- с рычажно-гидравлическим механизмом нагружения;
- с винтовой муфтой;
- с упругой муфтой;
- с планетарно-винтовым, дифференциально-планетарным и дифференциально-рычажным механизмами нагружения.

В связи с повышенной податливостью и увеличением длины цепей в процессе испытаний нагружающие механизмы с упругими элементами малой податливости (например, с торсионами) в этих стендах не применяются. В ряде конструкций стендов вытяжка цепей компенсируется специальными натяжными устройствами, которыми производят и предварительное натяжение цепей.

Тормозные стенды подразделяют на стенды с электрическим и гидравлическим торможением.

Полное воспроизведение условий работы передач с приводными цепями может быть осуществлено только на стендах с замкнутым контуром и на тормозных стендах. Приводные цепи с одинаковым натяжением ведомых и ведущих ветвей цепи испытывают также на пробежных стендах (как принципиально более простых и дешевых), но результаты таких испытаний пригодны только для сравнительных оценок. Пробежные стенды позволяют имитировать условия работы тяговых и грузовых цепей. По конструкции нагружающих устройств эти стенды подразделяют на стенды с грузовым, пружинным и гидравлическим механизмами нагружения.

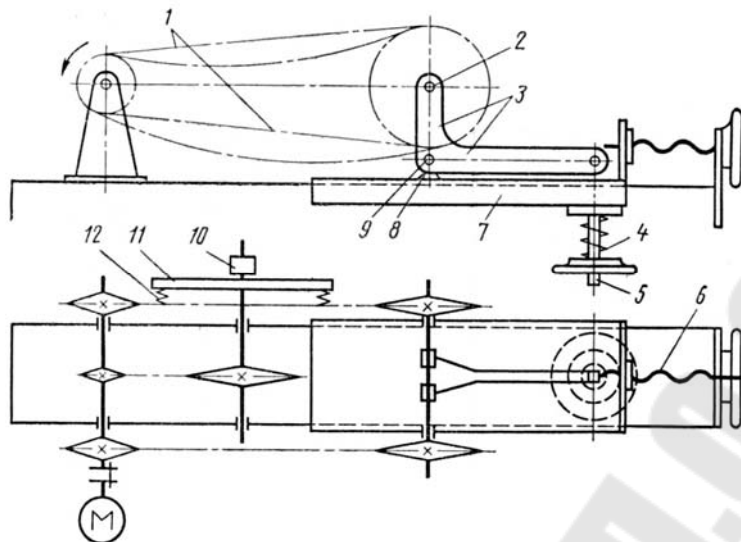


Рис. 13. Стенд с замкнутым контуром и натяжным механизмом:

1 – цепи испытуемых передач с разным числом звеньев в ведомых и ведущих ветвях; 2 – вал; 3 – рычаг; 4 – пружина; 5 – винт; 6 – винт; 7 – каретка; 8 – опора; 9 – ось; 10 – ртутные токосъемники; 11 – диск; 12 – гибкие проводники

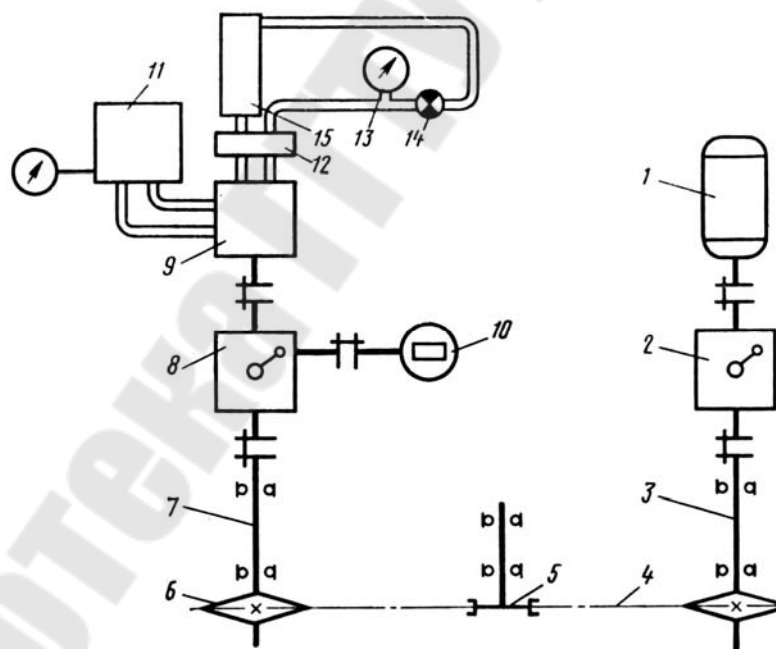


Рис. 14. Схема стенда с гидравлическим тормозом:

1 – электродвигатель; 2 – пятискоростная коробка перемены передач; 3 – вал; 4 – испытуемая передача; 5 – натяжной ролик; 6 – звездочка; 7 – вал; 8 – двухскоростная коробка перемены передач; 9 – масляный насос; 10 – счетчик; 11 – бак; 12 – золотниковое устройство; 13 – силоизмеритель; 14 – кран; 15 – холодильник

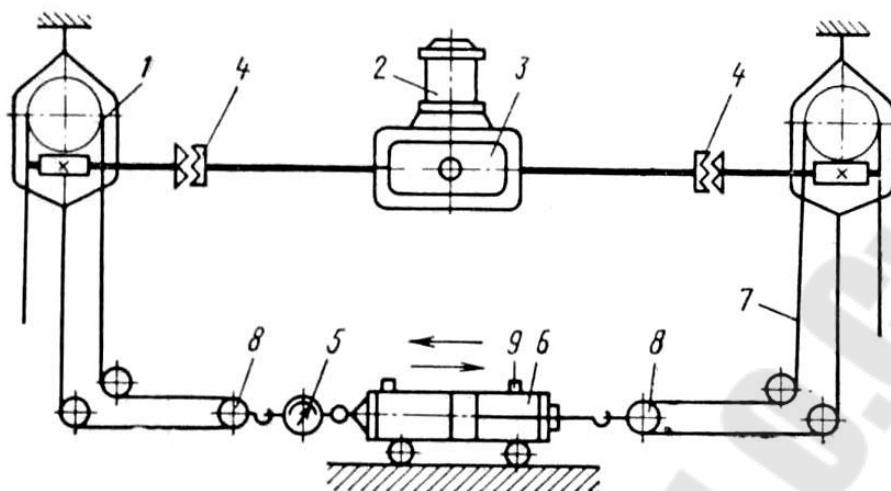


Рис. 15. Схема стенда для испытания грузовых пластинчатых цепей:

- 1 – электроталь; 2 – электродвигатель; 3 – редуктор;
 4 – предохранительная муфта; 5 – динамометр;
 6 – гидроцилиндр; 7 – испытываемая цепь;
 8 – блок; 9 – штуцер

Для динамических испытаний стенды оснащают устройствами для регистрации напряжений в звеньях и натяжений в ветвях цепей.

Эти устройства в ряде случаев применяют при испытаниях на износостойкость, усталостную прочность, а также для выявления кинематических закономерностей. Переменность мгновенных передаточных отношений цепных передач и закономерности движения роликов по зубьям звездочек оценивают по результатам испытаний на стендах, оснащенных специальными устройствами.

В ряде случаев реальные условия эксплуатации цепей имитируют при их испытании в абразивной или рабочей среде (например, в угольной пыли) на стендах, передачи которых заключены в камеры и оснащены устройствами дозирования и циркуляции воздушно-абразивной или сыпуче-комковой смеси.

Для сокращения длительности и удешевления испытаний, а в некоторых случаях для отдельной оценки влияния различных факторов испытывают отрезки или звенья цепей на специальных стендах и приспособлениях, устанавливаемых на испытательные машины общего назначения. Испытания на износ и заедание шарниров проводят на кривошипно-коромысловых и кулачковых стендах при возвратно-вращательном движении звеньев и отрезков цепей, предварительное натяжение которых создают пружинами или гидравлическими механизмами нагружения.

Ударно-усталостную прочность роликов и втулок цепей оценивают при испытаниях на дисковых стендах. Испытания на усталостную прочность проводят на специальных роторно-рычажных, эксцентрикковых или электромагнитных пульсаторах или на пульсаторах общего назначения, оснащенных специальными захватами.

Критерием усталостной прочности многорядных и зубчатых цепей служит число разрушившихся однотипных элементов за заданный срок службы или разрушение одного-двух элементов, например пластин зубчатых цепей. Прессовые соединения цепей испытывают на рычажных или блочно-пружинных стендах.

Напряжения в элементах цепей, например в валиках, находят при испытаниях на машинах, оснащенных специальными приспособлениями. Жесткость звеньев определяют по величине продольных деформаций или по частоте свободных колебаний отрезков цепей. Для этих цепей используют специальные устройства для их растяжения, позволяющие более точно измерить деформации, чем на разрывных испытательных машинах, и устройства для регистрации частоты при свободных колебаниях или вынужденных колебаниях при малых амплитудах.

Испытания для оценки КПД цепных передач принципиально не отличаются от таких же испытаний зубчатых передач. Однако при скудной периодической смазке цепей отличие в значениях КПД понижающих и повышающих передач в замкнутом контуре более существенно, чем в зубчатых передачах.

Рекомендуемые конструкции стендов. Для испытаний тяжело нагруженных (с усилием натяжения до $P = 5000$ кгс) высокоскоростных передач ($v = 20\text{--}30$ м/с) предпочтительны стенды с замкнутым контуром мощности с винтовой муфтой, приводимой гидроцилиндром, встроенным в приводной вал; для испытаний средненагруженных ($P = 500\text{--}1000$ кгс) высокоскоростных передач – с винтовыми муфтами, для испытаний средне-нагруженных среднескоростных передач ($v = 10$ м/с) – с подтормаживаемыми дифференциально-планетарными механизмами, для испытаний средненагруженных передач с малыми скоростями ($v = 2\text{--}3$ м/с) применяют стенды с подвижными опорами валов и для испытаний тяжело нагруженных передач с очень малыми скоростями ($v = 0,5$ м/с) – стенды с рычажно-гидравлическими механизмами нагружения. Лучшая имитация условий работы тяжелых тяговых цепей достигается в удлиненных стендах с циркулирующей рабочей среды, например, с воздушно-абразивной

или комково-сыпучей смесью. Для испытаний средних и легких тяговых цепей в воздушно-абразивной среде предпочтительны многосекционные стенды с одинаковым натяжением ветвей цепи.

Для испытаний шарниров цепей на износ и заедание используют кривошипно-коромысловые стенды, для испытаний на усталость – высокопроизводительные роторные и многосекционные кривошипные, а для испытаний ударной прочности шарниров – универсальные и высокопроизводительные дисковые стенды.

11.3. Испытания для определения КПД передач сельскохозяйственных машин

Экспериментальные значения КПД передач служат для энергетической оценки их конструкций, качества изготовления и сборки, а также коэффициентов трения на зубьях. Повышенная точность измерений в сочетании с возможностью отдельной оценки потерь в элементах силовой цепи стендов с замкнутым контуром обуславливает целесообразность их применения для определения КПД зацеплений. КПД редукторов также обычно определяют при испытаниях на стендах с замкнутым контуром, реже на тормозных стендах.

При испытаниях на стендах с замкнутым контуром непосредственно отдельная оценка КПД зацепления только одной передачи связана с усложнением конструкции стендов, поэтому КПД вычисляют исходя из его общего значения для двух передач, образующих замкнутый контур. Работа одной передачи в режиме редуктора, а другой в режиме мультипликатора (за исключением случая, когда передаточное число равно единице) и отличие в условиях работы этих передач вследствие неодинаковой нагруженности из-за разной последовательности потерь в силовой цепи обуславливает разницу в КПД. Для большинства практических случаев эта разница незначительна, и ею пренебрегают.

При испытаниях на тормозных стендах достижение требуемой точности измерений ведет не только к усложнению конструкции стендов, но в ряде случаев требует оснащения тормозов автоматическими устройствами для стабилизации их работы. Наиболее простой способ повышения точности измерений заключается в одновременном испытании нескольких одинаковых редукторов, соединенных последовательно, т. е. в увеличении общих потерь до величин, которые могут быть измерены достаточно точно. КПД каждого из них определяют как среднее из общего КПД всех редукторов. Однако в этом

случае различие в нагрузках редукторов может быть значительным и тем большим, чем больше число редукторов. Потери в передачах складываются из потерь непосредственно в зацеплениях (на трение зубьев и выдавливание масла из впадин зубьев); в подшипниках и муфтах; на взбалтывание масла при смазке окунанием и на трение вращающихся деталей о воздух.

КПД зацепления определяют исключением из общих потерь в стенде потерь в элементах силовой цепи, например в подшипниках, определенных отдельно на специальных стендах. Потери на выдавливание смазки зависят от зазора, скорости и других факторов и от количества смазки в зацеплении, на которое влияет расстояние между зацеплением и зеркалом масляной ванны при смазке окунанием и направление потока масла относительно направления вращения зубчатых колес при струйной смазке. Эти потери при необходимости могут быть оценены сопоставлением величин потерь при обильной и скудной смазке зацепления. При смазке окунанием обильность смазки при испытаниях достигается вращением колеса, погруженного в масляную ванну в направлении меньшего пути от зеркала ванны до зацепления, а при струйной смазке потоком масла в направлении, совпадающем с направлением окружных скоростей в зацеплении колес. В ряде случаев определение КПД связано с реверсированием вращения колес и, следовательно, с изменением длины пути от зеркала масляной ванны до зацепления. Этого можно избежать, расположив валы стенда в вертикальной плоскости. Применение струйной смазки вместо смазки окунанием позволяет упростить методику определения КПД, т. к. при этом отпадает необходимость в оценке потерь на взбалтывание масла.

Значения КПД при измеренных крутящих моментах на балансирном электродвигателе и динамометре нагружающего устройства, расположенных на одном валу, вычисляют по одной из приведенных ниже формул в зависимости от направления циркуляции мощности в замкнутом контуре. Мощность циркулирует в направлении от ведущих колес к ведомым. Из двух сцепляющихся колес ведомым является то, к центру которого смещается из-за сил трения силовой полюс, или, иначе, то колесо, на котором направление окружной скорости совпадает с направлением окружных сил на зубьях.

Если ближайшее к двигателю зубчатое колесо ведущее, то средний КПД двух передач

$$\eta_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{M_{\text{н}}}{M_{\text{н}} + M_{\text{д}}}},$$

где $M_{\text{д}}$ – момент на двигателе; $M_{\text{н}}$ – момент на нагружающем устройстве.

Если же ближайшее к двигателю зубчатое колесо – ведомое, то

$$\eta_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{M_{\text{н}} - M_{\text{д}}}{M_{\text{н}}}}.$$

КПД редукторов, испытываемых на стендах с замкнутым контуром, состоящих из двух редукторов, определяют по тем же формулам, но в этом случае балансирные двигатели предварительно уравнивают, отсоединяя их от стенда. Отличие в значениях КПД редукторов может быть определено по различию в установившихся температурах масляных ванн редукторов с одинаковым количеством масла или установкой на каждом из двух валов стендов по одному динамометру кручения повышенной точности. Однако все это усложняет конструкции стендов. Поэтому целесообразно их применять в случае испытания редукторов со значительно отличающимися КПД, например при испытании несамотормозящихся червячных редукторов.

Различие в величинах крутящих моментов, развиваемых балансирным двигателем при различных направлениях вращения и, следовательно, при различных направлениях циркуляции мощности в замкнутом контуре, позволяет более простым способом определить КПД редуктора без измерения крутящих моментов на нагружающих устройствах стендов. С точностью, достаточной для практических целей, принимают, что КПД редукторов не зависит от того, какое из колес является ведущим или ведомым и что угол закручивания торсиона постоянен и не зависит от направления циркуляции мощности.

Средний КПД редукторов при испытаниях на многоредукторных стендах с торсионным нагружателем находят по формуле

$$\eta = \sqrt{\sqrt{\left(\frac{M_{\text{д}}}{2M_{\text{н}}}\right) + 1} - \frac{M_{\text{д}}}{2M_{\text{н}}}},$$

а при испытаниях на стендах с поворотным корпусом одного из редукторов – по диаграммам, представляющим графическое решение следующих уравнений:

$$\frac{1-\eta^4}{\eta} = \frac{u \cdot M_{\text{д}}}{M_{\text{н}}}, \quad \frac{1-\eta^4}{\eta^3} = \frac{u \cdot M'_{\text{д}}}{M_{\text{н}}},$$

соответствующих различным направлениям циркуляции мощности в замкнутом контуре. В этих зависимостях в дополнение к принятым выше обозначениям u – передаточное число редуктора.

В необходимых случаях изменение направления потока мощности может быть достигнуто не только реверсированием двигателя, а и изменением направления закрутки торсиона или направления поворота стендового редуктора. В этих случаях в качестве нагружающих устройств более целесообразно применять винтовые и червячные муфты, а в стендах с поворотным редуктором оснащать стенды разворачиваемыми под углом в 180° рычажно-грузовыми устройствами.

При испытаниях на стендах с фрикционной муфтой с малым проскальзыванием КПД цилиндрических редукторов:

$$\eta = \sqrt{\left(\frac{M_{\text{д}} \cdot u_{\text{с}}}{2M_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{ф.м}}} \right)^2 + \frac{u_{\text{с}}}{\eta_{\text{ф.м}} \cdot u_{\text{и}}} - \frac{M_{\text{д}} \cdot u_{\text{с}}}{2M_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{ф.м}}}}.$$

КПД червячных редукторов с ведущим червяком:

$$\eta_{\text{ч}} = \frac{M_{\text{н}}}{M_{\text{д}} \cdot u_{\text{и}}},$$

а с ведущим колесом:

$$\eta_{-\text{ч}} = \pm \frac{M_{\text{д}} \cdot u_{\text{и}}}{M_{\text{н}} \cdot u_{\text{с}} \cdot \eta_{\text{с}}}, \quad (1)$$

где $M_{\text{н}}$ – момент на выходном валу испытываемого редуктора; $u_{\text{и}}$, $u_{\text{с}}$ – передаточные числа соответственно испытываемых и стендовых редукторов; $\eta_{\text{ф.м}}$ – КПД фрикционной муфты; $\eta_{\text{с}}$ – КПД стендового редуктора.

В формуле (1) знак «+» используется для несамотормозящихся, а знак «−» – для самотормозящихся редукторов.

При испытании червячных редукторов на стендах с замкнутым контуром вычисление КПД связано с решением уравнений типа (2):

$$\eta_{\text{ч}} \cdot \eta_{\text{ч}} + A\eta_{\text{ч}} - B = 0, \quad (2)$$

$$\text{где } A = \frac{M_d \cdot u_{\text{и}}}{M_n \cdot \eta_{\text{ц}}^2 \cdot \eta_3}; \quad B = \frac{1}{\eta_{\text{ц}}^3 \cdot \eta_3^2}.$$

Вычисление значений коэффициентов A и B при измеренных M_d , M_n и известных значениях КПД дополнительных передач (в данном случае цепных $\eta_{\text{ц}}$ и зубчатых η_3 передач) и замена в уравнении КПД червячных передач зависимостями

$$\eta_{\text{ч}} = \frac{\text{tg} \lambda}{\text{tg}(\lambda + \varphi)}; \quad (3)$$

$$\eta_{-\text{ч}} = \frac{\text{tg}(\lambda - \varphi)}{\text{tg} \lambda}, \quad (4)$$

позволяет оценить путем графического решения значение угла трения φ при известном угле подъема винтовой линии червяка λ , и затем по формулам (3) и (4) вычислить искомые значения КПД. Точность определения КПД на стендах всех типов во многом зависит от точности измерения крутящего момента на балансирных электродвигателях. Наибольшая точность измерений достигается при оснащении балансирных двигателей рычажными динамометрами. При необходимости реверсирования вращения применяют балансирные электродвигатели с двумя рычагами с быстросъемными грузами и с уравновешивающим грузом на тросовой подвеске. Последняя позволяет легко менять положение груза относительно корпуса двигателя.

12. МЕТОДЫ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью исследований является проверка определенных предположений; об агротехнических преимуществах новой машины над старой, достоинствах некоторых режимов работы, сравнение экспериментальных и теоретических выводов и т. д. Если разница между параметрами среднеарифметической величины \bar{X} и среднеарифметическим отклонением σ сравниваемых выборок незначительна, то считают, что различие между ними имеют случайный характер, а выборки принадлежат единому генеральному распределению. Для оценки значимости указанной разницы используют параметрические и непараметрические критерии достоинства.

Первые строятся на основе параметров \bar{X} и σ выборки, вторые основаны на функциях от варианта – выборки с соответствующими частотами.

Параметрические критерии обладают более сильной »разрешающей« способностью, но они применимы лишь в тех случаях, когда исследуемая выборка распределена по закону, не очень сильно отличающемуся от нормального. Из параметрических критериев чаще всего применяется критерий Фишера для сравнения дисперсией и t -критерий Стьюдента при сравнении средних величин.

При сравнении распределений двух выборок в первую очередь сравнивают дисперсии, а затем средние величины. Гипотеза о равенстве дисперсии двух выборок ($\sigma_A^2 > \sigma_B^2$) подтверждается с помощью одностороннего критерия Фишера.

$$\sigma_A^2 / \sigma_B^2 > F_{1-\alpha},$$

где $F_{1-\alpha}$ – табличное значение критерия Фишера при степенях свободы $\nu_1 = n_A - 1$ и $\nu_2 = n_B - 1$ (n_A, n_B – объем каждой из выборок; α – вероятность риска принять неверное решение).

Гипотеза о равенстве дисперсии ($\sigma_A^2 = \sigma_B^2$) подтверждается двухсторонним критерием Фишера:

$$\frac{1}{F_1 - \frac{\alpha}{2}} \leq \frac{\sigma_A^2}{\sigma_B^2} \leq F_1 - \frac{\alpha}{2}.$$

Для проверки однородности нескольких дисперсий при равных объемах выборки используется критерий Кохрена

$$G_p = \frac{\sigma_{\max}^2}{\sum_{i=1}^m \sigma_i^2},$$

где σ_{\max}^2 – наибольшая из выборочных дисперсий; m – число выборок; $\sum_{i=1}^m \sigma_i^2$ – сумма всех дисперсий, в том числе и σ_{\max}^2 .

Гипотеза односторонности дисперсий принимается, если табличное значение Кохрена $\sigma_T > \sigma_p$. Соблюдение этого условия свиде-

тelleствует о том, что результаты опытов относятся к одной генеральной совокупности.

Значимость различия двух средних значений при $\sigma_A = \sigma_B$ оценивается критерием

$$t_p = \frac{|\bar{X}_A - \bar{X}_B|}{\sqrt{n_A \cdot \sigma_A^2 + n_B \cdot \sigma_B^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_A \cdot n_B (n_A + n_B - 2)}{n_A + n_B}}.$$

Если одна из выборок имеет очень большой объем, например $n_A = \infty$, то в этом случае

$$t'_p = \frac{|\bar{X}_A - \bar{X}_B|}{\sigma}.$$

Число степеней свободы, используемых для определения табличного значения tm :

$$v = n_A + n_B - 2.$$

В этом случае число степеней свободы определяют по формуле

$$\frac{t}{v} = \frac{d^2}{n_A - 1} + \frac{(1 - d)^2}{n_B - 1},$$

где $d = \frac{\frac{\sigma_A^2}{n_A}}{\frac{\sigma_A^2}{n_A} + \frac{\sigma_B^2}{n_B}}.$

Если сравнению подвергаются не две, а большее число выборок, связанных между собой и образующих пары, то критерий достоверности различных средних значений:

$$t''_p = \frac{\bar{d}}{S_d},$$

где \bar{d} – усредненная разность среднеарифметических значений;

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum d^2 - \frac{(\sum d)^2}{n}}{n \cdot (n - 1)}},$$

где S_d – ошибка средней разности; d – разность среднеквадратических значений внутри пар; n – число независимых, попарно связанных наблюдений (число МИС, где испытывались две жатки; число сезонных испытаний; число агрофонов для сравнительных испытаний двух жаток и т. д.)

Число степеней свободы, используемых для определения табличного значения t_m : $\nu = n - 1$. Гипотеза о равенстве средних принимается, если

$$t_p'' < t_p; t_p' < t_p \text{ или } t_p'' < t_p.$$

Если изучаемые признаки имеют закон распределения, существенно отличающихся от нормального, то используют критерии независимые от характера распределения, т. е. непараметрические критерии. В этом случае однородность выборок оценивается равенством характеристик положений и рассеяния конкретного признака. Для решения задачи используются методы квартилей или медиан. При сравнении выборок с попарно не связанными вариантами замеров применяют критерии «Вандер-Вардена» (λ -критерий) или «Уайта» (T -критерий). Для сравнения выборок с попарно вариантами используется « W -критерий Вилкоксона» (критерий знаков).

13. АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТНЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ФАКТОРАМИ И РЕЗУЛЬТАТАМИ ИСПЫТАНИЙ

В процессе изучения явлений устанавливаются взаимосвязи между факторами, определяющими явление. Указанная связь устанавливается с помощью корреляционного анализа.

К изучению связи методом корреляции обращаются в том случае, когда нельзя изолировать влияние посторонних факторов, либо потому, что они неизвестны, либо из-за невозможности их изоляции.

Поэтому метод корреляции применяется для того, чтобы при сложном взаимодействии посторонних влияний выяснить, какова бы была зависимость между результатом и факторами, если бы посторонние факторы не изменялись и своим изменением не искажали бы основную зависимость.

При этом число наблюдений должно быть достаточно велико, т. к. малое число наблюдений не позволяет обнаружить закономерность связей.

Первая задача корреляции заключается в выявлении на основе значительного числа наблюдений того, как меняется в среднем резуль-

тативный признак в связи с изменением одного или нескольких факторов. Это изменение предполагает условие неизменности ряда других факторов, хотя искажающие влияние последних на самом деле есть.

Вторая задача – определение различных показателей тесноты связей между факторами, определяющими явление (процесс).

Первая задача решается определением уровня регрессии и носит название регрессионного анализа.

Вторая задача является корреляционным анализом. Корреляционный анализ количественно оценивает связь между двумя или несколькими взаимодействующими явлениями.

Его применение позволяет определить наличие и силу связи между явлениями.

Регрессионный анализ дает возможность установить, как в среднем изменяется результативный признак под влиянием одного или нескольких факторных признаков.

Теоретически обоснованной мерой тесноты связи между двумя статически связанными признаками служит линейный коэффициент корреляции (γ). Он может принимать как положительные, так и отрицательные значения.

Положительное значение указывает на прямую связь между признаками, отрицательное – на обратную связь между ними.

Линейный коэффициент корреляции для парной таблицы связей исчисляется по формуле

$$\gamma = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\delta x \cdot \delta y},$$

где $\overline{xy} = \frac{\sum x \cdot y}{n}$; $\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$; $\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$; $\delta x = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n} - \bar{x}^2}$;

$$\delta y = \sqrt{\frac{\sum y^2}{n} - \bar{y}^2}.$$

Если $\overline{xy} > \bar{x} \cdot \bar{y}$, то δ положителен, если $\overline{xy} < \bar{x} \cdot \bar{y}$, то δ отрицателен.

Квадрат коэффициента корреляции называется коэффициентом детерминации. Линейный коэффициент корреляции можно вычислить и по другим формулам:

$$\gamma = \frac{n \cdot \sum y \cdot x - \sum x \cdot \sum y}{\sqrt{[n \cdot \sum y^2 - (\sum y)^2] \cdot [n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2]}}.$$

Часто применяется формула, основанная на расчетах отклонений от средней:

$$\gamma = \frac{\sum (x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})}{\sum (x - \bar{x})^2 \cdot (y - \bar{y})^2}.$$

Полученный при расчетах линейный коэффициент корреляции имеет ошибку, которая вычисляется по формуле

$$\delta_\gamma = \frac{1 - \gamma^2}{\sqrt{n - 1}}.$$

При этом предполагается, что число наблюдений, по которым велись расчеты, является лишь выборкой из общего числа наблюдений «генеральной совокупности», а вычисленный коэффициент корреляции – только положительная оценка того истинного коэффициента, который характерен для нее. Поэтому вместо единственной оценки этого «истинного коэффициента» корреляции строится доверительный интервал, в котором он находится. Доверительный интервал определяется по формуле

$$\gamma - t \cdot \delta_\gamma \leq \delta_0 \leq \delta + t \cdot \delta_\gamma,$$

где δ_γ – средняя квадратическая ошибка «выборочного» коэффициента корреляции; t – доверительная величина, определяющая степень вероятности утверждения.

14. МЕТОД РАНГОВОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ И ИССЛЕДОВАНИЙ МАШИН

Сформулировав цель исследования и уяснив задачи проведения эксперимента, приступают к обработке информации. При этом источниками информации исследования могут быть:

- литературные данные;
- научные труды, журнальные статьи, технический отчет;
- протоколы технологических и других советов и т. д.;
- опыт и значение специалистов в области износостойкости и надежности узлов трения;
- экспериментальный материал.

При изучении сложных процессов работы сельскохозяйственных машин на первом этапе исследования целесообразно выделить

наиболее существенные факторы из большого числа независимых переменных. Это позволит резко сократить объем экспериментальных работ.

Для выявления степени влияния факторов могут быть исследованы следующие методы отсеивающего эксперимента:

- метод ранговой коррекции, основанный на опросе специалистов-экспертов, обработке литературных данных и объективной статической обработке результатов;

- метод случайного баланса, позволяющий использовать сверхнасыщенные планы эксперимента, в которых число опытов меньше числа исследуемых факторов.

Метод ранговой коррекции основан на том, что кругу специалистов одной или нескольких научных школ предлагают расположить потенциально возможные факторы, действующие на изучаемый процесс в порядке убывания степени их влияния на выбранные параметры оптимизации. Для этого используют анкеты опроса, в которых указаны наименования факторов, их различность, область определения параметр оптимизации.

Каждый из опрашиваемых специалистов указывает ранг факторов, отмеченных в анкете, при чем экспертом могут быть дополнительные факторы, если он считает, что предлагаемый ему список факторов не полный. На основании заполненных экспертами анкет составляется матрица рангов (сводная анкета для априорного ранжирования факторов) (табл. 2).

В формулах: i – номер фактора ($i = 1, 2, \dots, k$), j – номер эксперта ($j = 1, 2, \dots, m$).

Порядок расчета суммы рангов по столбцам $\sum_{j=1}^m a_{i,j}$; средней суммы рангов \bar{a} ; отклонений от средней суммы рангов Δi , квадрата отклонений Δi^2 и их суммы S представлены в таблице.

Таблица 2

Матрица рангов

| Специалисты (эксперты) | Факторы | | | | | | Суммы |
|---------------------------|----------|----------|-----|----------|-----|----------|-------|
| | X_1 | X_2 | ... | X_i | ... | X_k | |
| 1 | a_{11} | a_{21} | ... | a_{i1} | ... | a_{k1} | |
| 2 | a_{12} | a_{22} | ... | a_{i2} | ... | a_{k2} | |

| Специалисты (эксперты) | Факторы | | | | | | Суммы |
|---|------------------------|------------------------|-----|------------------------|-----|------------------------|-----------|
| | X_1 | X_2 | ... | X_i | ... | X_k | |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | |
| J | | a_{2j} | ... | a_{ij} | ... | a_{kj} | |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | |
| M | a_{1m} | a_{2m} | ... | a_{im} | ... | a_{km} | |
| Сумма рангов $\sum_{j=1}^m a_{i,j}$ | $\sum_{j=1}^m a_{1,j}$ | $\sum_{j=1}^m a_{2,j}$ | ... | $\sum_{j=1}^m a_{i,j}$ | ... | $\sum_{j=1}^m a_{k,j}$ | \bar{a} |
| Отклонения от средней суммы рангов Δ_i | Δ_1 | Δ_2 | ... | Δ_i | ... | Δ_k | |
| Квадрат отклонений | Δ_1^2 | Δ_2^2 | ... | Δ_i^2 | ... | Δ_k^2 | S |

Примечание. $\Delta_i = \sum_{j=1}^m (a_{i,j} - \bar{a})$; $\bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m a_{i,j}}{k}$; $S = \sum_{i=1}^k \Delta_i^2$.

При ранжированной оценке результатов опроса специалисты расходятся во мнениях по решению рассматриваемой задачи. Для статической оценки степени согласованности мнений специалистов можно использовать дисперсионный коэффициент конкордации.

Для расчета оценки дисперсии можно использовать формулу

$$S^2 = \frac{1}{k-1} \cdot \sum_{i=1}^k (a_i - \bar{a})^2,$$

здесь $a_i = \sum_{j=1}^m a_{i,j}$, $\bar{a} = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k a_i$,

где k – число факторов.

Тогда коэффициент конкордации можно определить как отношение дисперсии, полученной в результате реализации опроса специалистов, к максимальному ее значению:

$$W = \frac{S^2}{S_{\max}^2}. \quad (5)$$

Так как S может изменяться от нуля до S_{\max}^2 , то коэффициент конкордации W принимает значение от нуля до 1, т. е. $0 \leq W \leq 1$.

Максимальное значение дисперсии S_{\max}^2 будет соответствовать полному совпадению мнений специалистов и равно

$$S_{\max}^2 = \frac{m^2 \cdot (k^3 - k)^2}{12 \cdot (k - 1)},$$

где m – число специалистов.

Используя значение квадрата отклонений от средней суммы рангов, можно записать оценку дисперсией

$$S^2 = \frac{1}{k - 1} \cdot S.$$

Подставляя значения S_{\max}^2 и S^2 в формулу (5), после соответствующих преобразований получим выражение для расчета коэффициента конкордации для случая отсутствия связанных рангов:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (k^3 - k)}.$$

Если эксперт затрудняется указать ранги двум или нескольким факторам, то им присваивают один и тот же номер, т. е. вводятся так называемые связанные ранги.

Для случая связанных рангов коэффициент конкордации определяют по формуле

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (k^3 - k) - m \cdot \sum_{j=1}^m T_{i,j}},$$

где $T_{i,j} = \sum_{q=1}^Q (t_{j,q}^3 - t_{i,q})$, t_j – число одинаковых рангов в j -м ранжировании.

Суммы T_j подсчитывают для тех специалистов, которые представили связанные ранги.

Как уже указывалось, коэффициент конкордации меняется от 0 до +1. При полном согласии мнений специалистов $W = 1$, а при отсутствии его $W = 0$.

Для оценки значимости коэффициента конкордации можно использовать различные статические критерии.

При числе исследуемых факторов более 7 значимость коэффициента конкордации оценивают по критерию x^2 :

$$x^2 = m \cdot (k - 1) \cdot W = \frac{12 \cdot S}{m \cdot k \cdot (k + 1)}.$$

Величина $m \cdot (k - 1) \cdot W$ имеет распределение x^2 с числом степеней свободы

$$f = k - 1.$$

При наличии связанных рангов критерий x^2 рассчитывают по формуле

$$x_p^2 = \frac{12 \cdot S}{m \cdot k \cdot (k + 1) - \frac{1}{k - 1} \cdot \sum_{j=1}^m T_j}$$

Полученное значение x^2 сравнивают с табличным при выбранном уровне значимости и числе степеней свободы $j = k - 1$.

Если вычисленное значение $x_p^2 > x_{\text{табл}}^2$, т. е. $x_p^2 > x_{\text{табл}}^2$, то можно утверждать, что согласованность специалистов не является случайной.

После ранжирования в ряд отбирают наиболее значимые факторы для дальнейшего экспериментирования с ними, а остальные относят к тупиковому полю и учитывают в виде ошибки эксперимента. Полученные результаты опросов специалистов позволяют составить диаграмму рангов. Для этого по оси абсцисс откладывают факторы в порядке убывания их значимости, а по оси ординат – суммы рангов соответствующих факторов. С помощью полученной диаграммы производится оценка значимости факторов. В случае неравномерного убывания диаграммы отбирают лишь небольшую часть «главных факторов», а остальные убирают из дальнейшего исследования. Если получается диаграмма с монотонным убыванием, то в дальнейшее исследование следует включать как можно большее число первых факторов.

Процедура проведения анализа методом ранговой корреляции состоит в следующем:

1. Проводится опрос и анкетирование факторов, намеченных по априорной информации.
2. Статическая обработка анкет и составление матриц рангов.

3. Оценка согласованности мнений специалистов.
4. Построение диаграмм рангов.
5. Анализ диаграмм рангов за исключением незначительных факторов.

15. ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

С помощью дисперсионного анализа изучается степень влияния одного или нескольких факторных признаков на результативный признак, т. е. решается задача, аналогичная корреляционному анализу, отличие дисперсионного анализа состоит в том, что в ходе его изучается колеблемость лишь одного признака результативного, а простейшим показателем колеблемости служит дисперсия, которая, как известно из правила сложения дисперсий, может быть разложена на межгрупповую и внутригрупповую.

Межгрупповая дисперсия возникает под действием какого-либо фактора, который приводит к разным величинам средних, имеющих в отдельных группах, и отражает колеблемость этих средних. Внутригрупповая дисперсия возникает под действием прочих факторов, которые можно назвать случайными; она отражает среднюю колеблемость внутри групп. При разложении общей дисперсии на две ее составляющие можно выделить ту часть, которая обусловлена действием одного, затем другого, третьего и т. д. факторов в общей дисперсии, т. е. получить возможность измерять их действие. Изучение влияния факторов по их дисперсиям называется дисперсионным анализом. Измерение влияния факторов ведется с помощью дисперсий. При этом нужно различать дисперсию как сумму квадратов отклонений всех вариантов от средней и дисперсию на одну степень свободы, когда эта сумма делится на число степеней свободы.

Общая дисперсия (дисперсия всего комплекса) признака представляет собой просто сумму квадратов отклонений всех вариантов результативного признака от общей его средней:

$$D_y^2 = \sum (y_i - \bar{y})^2,$$

где y_i – отдельные значения результативного признака; \bar{y} – их общая средняя, средняя комплекса.

Общая дисперсия всегда больше дисперсии, показывающей влияние изучаемых факторов, поскольку в одном исследовании не-

возможно освободиться от действия многих других факторов, влияющих на результативный признак. При разложении общей дисперсии (дисперсии комплекса) выделяется факторная дисперсия, идентичная межгрупповой и случайной, или остаточной, дисперсии, вызванная не учитываемыми в данном опыте факторами, идентичная внутригрупповой.

Факторная дисперсия – это сумма квадратов отклонений частных (групповых) средних от общей средней, умноженных на число единиц в каждой группе (n_x):

$$D_x^2 = \sum (\bar{y}_i - \bar{y})^2 \cdot n_x,$$

где \bar{y}_i – частные (групповые) средние.

Случайная дисперсия – это сумма групповых сумм квадратов отклонений всех вариантов результативного признака в них:

$$D_z^2 = \sum \sum (y_i - \bar{y}_i)^2,$$

при этом

$$D_y^2 = D_x^2 + D_z^2.$$

В дисперсионном анализе используются свойства сумм квадратов отклонений от средней арифметической, состоящее в том, что при действии различных факторов на результативный признак сумма факторных дисперсий, измеряющая колеблемость под влиянием отдельных факторов, равна общей дисперсии, характеризующей колеблемость под влиянием их комплексов:

$$D_A^2 + D_B^2 + D_C^2 + \dots = D_y^2,$$

где $D_A^2, D_B^2, D_C^2 \dots$ – дисперсии под воздействием факторов A, B, C и т. д.

Отношение факторной дисперсии к общей показывает долю колеблемости под воздействием изучаемого фактора в общей колеблемости.

Эти отношения называются корреляционным и показывают степень статического влияния данных факторов на результативный признак:

$$\eta_x^2 = \frac{D_x^2}{D_y^2}; \quad \eta_x = \sqrt{\frac{D_x^2}{D_y^2}}; \quad \eta_x^2 = \frac{D_x^2}{D_y^2}; \quad \eta_x = \sqrt{\frac{D_x^2}{D_y^2}},$$

где η_x^2 – показывает влияние факторов; η_z^2 – влияние случайных причин.

Причем $\eta_x^2 + \eta_z^2 = 1$.

Дисперсия как показатель колеблемости зависит от числа единиц в группе. Для определения степени влияния факторов, найденных по выборочным данным, нужен показатель, свободный от подобного влияния и позволяющий сравнивать группы с разной численностью. Такими показателями служат дисперсии, вычисляемые на одну степень свободы вариации: дисперсия на одну степень свободы по комплексу:

$$\sigma_y^2 = \frac{D_y^2}{K_y} = \frac{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2}{K_y};$$

факторная дисперсия на одну степень свободы:

$$\sigma_x^2 = \frac{D_x^2}{K_x} = \frac{\sum (\bar{y}_i - \bar{y})^2}{K_x};$$

случайная дисперсия на одну степень свободы:

$$\sigma_z^2 = \frac{D_z^2}{K_z} = \frac{\sum (y - \bar{y}_i)^2}{K_z},$$

где K_y – число степеней свободы по комплексу; $K_y = n - 1$ – число наблюдений в комплексе, без 1; K_x – число степеней свободы для факторной дисперсии; $K_x = \delta - 1$ – число групп без 1; K_z – число степеней свободы случайной дисперсии; $K_z = n - \delta$.

При этом $K_y = K_x + K_z$.

Дисперсия на одну степень свободы позволяет определить достоверность вывода, сделанного по выборочному обследованию, для чего исчисляется отношение факторной дисперсии к случайной F , каждая из которых рассчитана на одну степень свободы, т. е. $\sigma_x^2 : \sigma_z^2$.

Если F равно или больше стандартной величины, которая определяется с разной степенью вероятности по таблицам математической статистики, то вывод на основании корреляционного отношения достоверен. F табличное в свою очередь зависит от числа степеней свободы, большей и меньшей из факторной и случайной дисперсий.

В дисперсном анализе при изучении влияния одного фактора решается однофакторный комплекс, при изучении влияния двух факторов – двухфакторный комплекс и т. д.

Последовательность проведения дисперсионного анализа

1. Находят общую дисперсию комплекса.
2. Определяют факторную дисперсию.
3. Вычисляют корреляционное отношение, показывающее степень статистического влияния фактора (факторов).
4. Находим случайную дисперсию.
5. Проверяют равенство суммы факторной и случайной дисперсии:

$$D_y^2 = D_x^2 + D_z^2.$$

6. Определяют число степеней свободы вариаций для дисперсии комплекса, факторной и случайной дисперсии (проследить, что бы $K_y = K_x + K_z$).

7. Производят вычисления этих дисперсий в расчете на одну степень свободы.

8. Рассчитывают величину F (критерия Фишера).

9. Определить табличное значение (по таблицам).

10. Производят сравнение расчетных и табличных значений F . Делают выводы о достоверности заключения о влиянии факторов. При этом необходимо, чтобы при данных числах степеней свободы K_x и K_z и при заданной вероятности того, что различные вычисленных дисперсий неслучайно; отношение вычисленных дисперсий $\sigma_x^2 : \sigma_z^2$ было равно или больше такого же отношения, найденного по таблицам.

При решении двух-трех факторных комплексов D_x^2 представляет собой дисперсию суммарным действия для изучаемых факторов. Она различается на частные факторные дисперсии и дисперсии по сочетанию факторов. Если дисперсия по отдельным факторам получается как сумма квадратов отношений частных средних от общей средней, взвешенных по численностям групп, то дисперсию по сочетанию факторов можно рассчитать как разность между факторной дисперсией и суммой частных дисперсий. Например, при изучении действия двух факторов A и B получим:

$$D_A^2 = \sum (\bar{y}_A - \bar{y})^2 \cdot n_A; \quad D_B^2 = \sum (\bar{y}_B - \bar{y})^2 \cdot n_B;$$

$$D_{AB}^2 = D_x^2 - D_A^2 - D_B^2.$$

Величина D_x^2 находится как сумма квадратов отклонений средних групп, выделенных по всем факторам, от общей средней:

$$D_x^2 = \sum (\bar{y}_i - \bar{y})^2 \cdot n_x.$$

Действие каждого фактора определяется корреляционным отношением:

$$\eta_A = \sqrt{\frac{D_A^2}{D_y^2}}; \quad \eta_B = \sqrt{\frac{D_B^2}{D_y^2}}; \quad \eta_{AB} = \sqrt{\frac{D_{AD}^2}{D_y^2}}.$$

Дисперсионный анализ позволяет определить также достоверность вывода о действии каждого фактора по отношению на одну степень свободы по всему комплексу и сравнению этого отношения с табличным по описанной схеме.

16. МЕТОД СЛУЧАЙНОГО БАЛАНСА

Суть метода заключается в том, что если факторы расположить в порядке убывания их доли, вносимой в дисперсию критерия оптимизации, то получится ранжированный ряд вида убывающей экспоненты. Наибольшим числом опытов воспроизводят этот ряд и при помощи регрессионного анализа оценивают наиболее значимые эффекты факторов на шумовом поле, создаваемом несущественными факторами.

Построение ранжированного ряда производится в две стадии. Вначале проводят серию опытов по специально составленной матрице, а затем строят диаграммы рассеяния для визуальной оценки степени влияния того или иного фактора и оценивают его количественно.

Наиболее распространенным методом построения матрицы отсеивающих экспериментов является метод случайного баланса. Идея этого метода заключается в том, что вместо небольшой выборки систематической матрицы полного факторного эксперимента берут случайные выборки из него. Построение матрицы случайного баланса осуществляется двумя путями: при помощи таблицы случайных чисел распределяют уровни факторов по столбцам матрицы случайным образом или же матрицу составляют случайным смешиванием двух полуреплик.

Прежде чем строить матрицу отсеивающих экспериментов, следует назначить уровни варьирования факторами и закодировать их

знаками «+» и «-». Уровни варьирования следует выбирать с учетом центра эксперимента.

При построении матрицы отсеивающих экспериментов методом случайного смешивания двух полуреплик рассматриваемые факторы делятся на две части (не обязательно равные) и из каждой половины строится полуреплика. Для одной половины факторов полуреплика используется полностью, а для других факторов строки матрицы распределяются случайным образом (по таблице случайных чисел). При этом в первую половину следует поместить те факторы, которые по априорной информации являются наиболее существенными. Это может сократить объем экспериментов в последующей стадии решения экстремальной задачи (при крутом восхождении), т. к. если малосущественные факторы (из второй половины факторов) будут отсеяны, то результаты отсеивающих экспериментов могут быть использованы и при крутом восхождении. Число опытов (строк) в матрице отсеивающих экспериментов следует выбирать таким образом, чтобы оно было кратным 2^n , и превышало бы число $n + 1$, если n – число факторов. Это условие значительно облегчит обработку и улучшит анализ результатов опытов.

Порядок проведения исследования методом случайного баланса:

1. Определяют факторы, участвующие в экспериментах, и их уровни.

Строят матрицу отсеивающего эксперимента (табл. 3).

Таблица 3

Матрица отсеивающего эксперимента

| № п/п | Факторы | | | | | | | | Значение критерия оптимизации | | | |
|----------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------------|-------|-------|-------|
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | Y | Y_1 | Y_2 | Y_3 |
| 1 | + | + | - | - | + | - | + | - | 4,5 | 3,495 | 4,345 | 3,443 |
| 2 | + | + | + | + | - | + | + | - | 0,5 | 1,578 | 2,428 | 3,251 |
| 3 | - | + | + | - | + | + | + | + | 0,65 | 2,733 | 3,583 | 3,504 |
| 4 | - | - | + | + | + | - | - | + | 3,52 | 3,52 | 3,52 | 3,441 |
| 5 | + | - | - | + | - | - | - | - | 3,92 | 2,915 | 2,915 | 2,915 |
| 6 | + | - | + | - | - | + | - | - | 1,45 | 2,528 | 2,528 | 2,449 |
| 7 | - | - | - | - | - | + | - | + | 1,6 | 3,683 | 3,683 | 3,683 |
| 8 | - | + | - | + | - | - | + | + | 1,85 | 1,85 | 2,7 | 2,7 |
| 9 | + | - | - | - | - | + | - | + | 2,15 | 3,228 | 3,228 | 3,228 |
| 10 | - | + | + | + | - | - | + | - | 1,96 | 1,96 | 2,81 | 3,633 |

2. Проводят эксперимент и записывают значения критерия оптимизации по строке. В таблицу вписывают среднее значение критерия оптимизации, полученное в том или ином опыте. Повторности опытов вписывают в дополнительные столбцы.

3. Для анализа результатов исследования строят диаграммы рассеивания. Для этого по оси абсцисс наносят все факторы с их уровнями (рис. 16).

Анализ степенного влияния факторов оценивают визуально по разности значений медиан и по числу точек, выделяющихся на шумовом поле диаграммы.

4. Оценка эффектов факторов количественно. Оценка эффектов производится с помощью таблиц с двумя входами факторов. Величина эффектов факторов подсчитывается по формуле

$$X_i = \frac{\bar{y}_1 \dots + \dots + \bar{y}_3 + \bar{y}_5 \dots + \dots + \bar{y}_n}{k_i} - \frac{\bar{y}_2 \dots + \dots + \bar{y}_4 + \bar{y}_6 \dots + \dots + \bar{y}_{n+1}}{k_i},$$

где $\bar{y}_1, \bar{y}_3, \bar{y}_n$ – среднее значение критерия оптимизации в каждой клетке для уравнения факторов (+); $\bar{y}_2, \bar{y}_4, \bar{y}_{n+1}$ – среднее значение критерия оптимизации для уровня факторов (-); k_i – число средних значений критерия оптимизации.

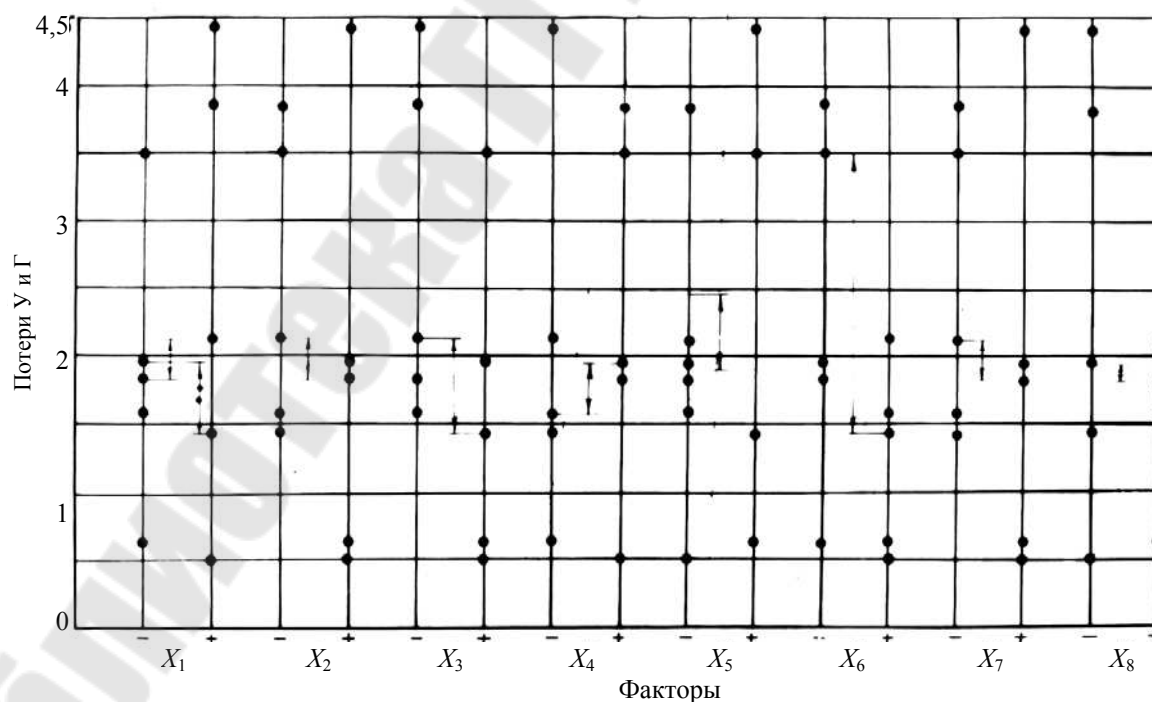


Рис. 16. Диаграмма рассеивания по исходным данным

5. Проверка значимости факторов по t -критерию Стьюдента для каждого фактора по формуле

$$t = \frac{(\bar{y}_1 + \bar{y}_3 + \dots + \bar{y}_n) + (\bar{y}_2 + \bar{y}_4 + \dots + \bar{y}_{n+1})}{S_R \cdot \sqrt{\sum \frac{1}{n_i}}},$$

где S_R – среднеквадратичная ошибка, характеризующая рассеяние относительно средних в клетках таблицы с несколькими входами:

$$S_R = \sqrt{\frac{\sum y_i^2}{n-1} - \frac{(\sum y)^2}{n_i \cdot (n_i - 1)}},$$

где n – число наблюдений в i -й клетке таблицы с несколькими входами.

6. Проведение первой корректировки результатов экспериментов путем прибавления с обратным знаком значений эффектов X_1 ; X_6 ко всем значениям критерия оптимизации, находящихся на уровнях $+X_1$ и $+X_6$. Получение значения критерия оптимизации \bar{y}_1 .

7. Последующее построение диаграммы рассеивания и выделение точек, относящихся к эффектам X_2 и X_7 . Количественная оценка эффектов факторов аналогично предыдущей оценке.

8. Вычисление эффектов факторов X_2 ; X_7 аналогично п. 4 с последующим подсчетом значимости факторов по t -критерию Стьюдента для каждого фактора аналогично п. 5.

9. Проведение второй корректировки со снятием действия эффектов X_2 и X_7 путем прибавления с обратным знаком значения эффектов факторов ко всем значениям критерия оптимизации, находящимся на высшем уровне, и получения значения критерия \bar{y}_2 .

10. Построение диаграммы рассеяния и последующее выделение факторов X_3 и X_4 в аналогичной последовательности согласно пп. 7–9.

11. Проведение третьей корректировки с получением критерия оптимизации \bar{y}_3 и последующей процедурой определения t -критерия Стьюдента.

12. Занесение результатов количественной оценки выделенных факторов в таблицу и определение значимости факторов на уровне 0,05 и 0,1.

13. Построение точечной диаграммы распределения результатов наблюдений (рис. 17).

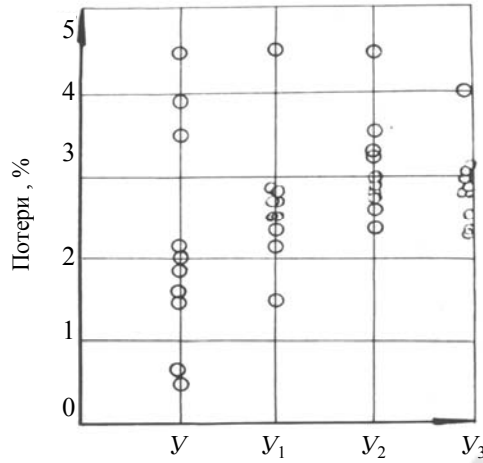


Рис. 17. Точечная диаграмма распределения результатов наблюдений при изучении процесса разделения стеблей колебательным делителем

Построение гистограммы ранжированного ряда эффектов факторов в порядке их значимости (рис. 18).

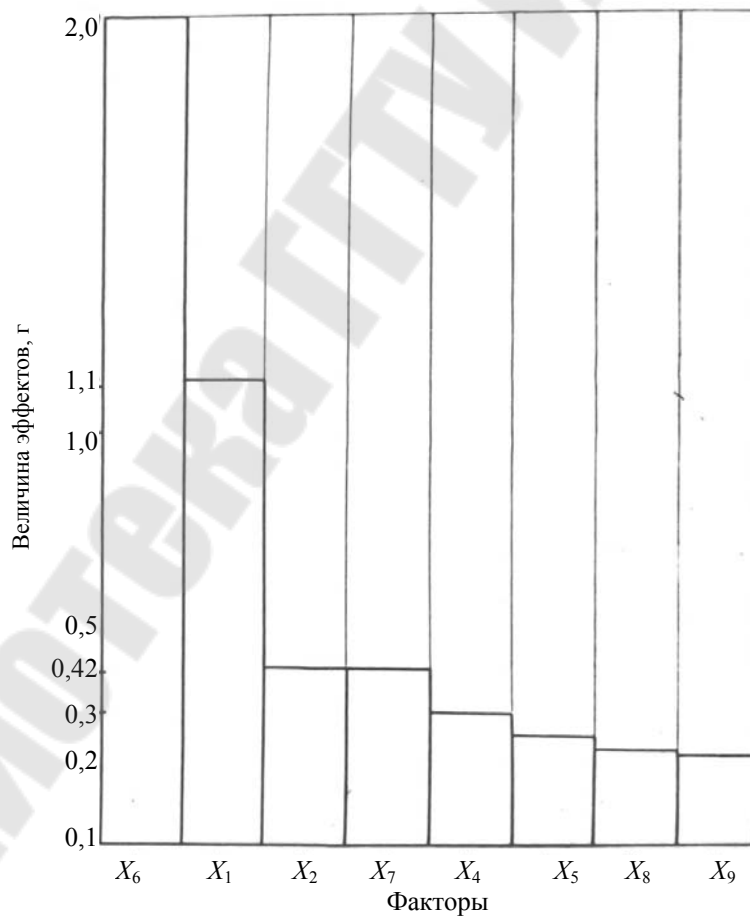


Рис. 18. Гистограмма распределения эффектов факторов в порядке значимости

17. ПОЛНЫЙ И ДРОБНЫЙ ФАКТОРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

17.1. Полный факторный эксперимент

При рассмотрении каждой физической системы (в нашем случае объекта исследования) можно различать входные воздействия, влияющие на систему, и соответствующие реакции системы.

Параметры воздействия на систему называют факторами или входом «черного ящика».

Реакцию системы на внешнее воздействие называют откликом, параметром или критерием оптимизации (при решении экстремальных задач) или выходом «черного ящика».

Многофакторный эксперимент имеет ряд преимуществ, из которых наиболее существенны следующие:

1. Значительно сокращается число опытов по сравнению с традиционным методом, где последовательно изучается действие каждого фактора.

2. Сокращается время на проведение опытов и затраты материально-технических средств.

3. Увеличивается емкость информации от эксперимента за счет получения данных о роли взаимодействия различных факторов.

При применении факторного анализа в теории планирования эксперимента различают:

1. Интерполяционные задачи: установление количественных связей между факторами воздействия и откликом системы.

2. Экстремальные задачи: установление значения воздействующих факторов исследуемой системы, при которых параметр оптимизации достигает экстремальных значений.

В теории планирования экспериментов математической моделью объекта исследования («черного ящика») является функция отклика, связывающая реакцию – отклик системы (y) с факторами (x_1, x_2, x_3):

$$y = \Phi(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \text{ или } y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i < j}^n b_{ij} x_i x_j,$$

где b_i, b_{ij} – коэффициенты регрессии.

Функция отклика должна обладать следующими свойствами:

1. Функция должна быть непрерывной, включая и первую производную.

2. Должны выполняться следующие требования регрессионного анализа:

2.1. Функция отклика – независимая случайная величина, имеющая нормальный закон распределения.

2.2. Дисперсия «у» не зависит от значений x_1, x_2, x_3 , т. е. для разных опытов дисперсии «у» однородны.

2.3. Все факторы x_1, x_2, x_3, \dots суть не случайные величины.

В качестве функции отклика выбирают наиболее характерную физическую величину (параметр оптимизации), которая характеризует наилучшим образом объект исследования. Каждая система характеризуется полно несколькими параметрами. Поэтому, выбирая в качестве функции отклика наиболее характерный параметр оптимизации, остальные принимают только как ограничивающие условия. При выборе параметра оптимизации помогает учет следующих свойств:

1. Параметр оптимизации должен быть по возможности универсальным.

2. Параметр оптимизации должен быть статически эффективным, т. е. иметь наименьшую при данных условиях дисперсию.

3. Параметр оптимизации должен выражаться численно.

Факторы оптимизации могут быть количественными и качественными. Каждое возможное значение фактора называют уровнем фактора. При факторном анализе рекомендуется факторы брать только на двух уровнях, достаточно удаленных между собой. Число факторов (n) может быть не более 15. Чем меньше число факторов, тем проще решается задача. Число опытов $N = 2^n$.

1. Факторы должны отвечать следующим требованиям:

2. Факторы должны быть управляемы.

3. Факторы должны быть однозначны.

4. Факторы должны быть совместимы.

5. Факторы должны быть независимы.

Точность замеров уровней факторов должна быть выше точности фиксирования значений параметра оптимизации.

Изменение отклика системы при изменении уровня фактора называют эффектом фактора. Эффекторы каждого из факторов x_i называют основными. Взаимодействие факторов x_i, x_j между собой может давать в некоторых случаях также существенный эффект. В линейной модели взаимодействия факторов не дает эффекта, т. е. взаимодействие факторов не значимо.

Возможные взаимодействия факторов в факторном эксперименте типа 2^n приведены ниже в табл. 4.

Таблица 4

Структура эффектов факторного эксперимента

| n | 2 ⁿ | Число основных эффектов | Число взаимодействий | | | | | |
|---|----------------|-------------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | 1-го порядка | 2-го порядка | 3-го порядка | 4-го порядка | 5-го порядка | 6-го порядка |
| 1 | 2 | 1 | – | – | – | – | – | – |
| 2 | 4 | 2 | 1 | – | – | – | – | – |
| 3 | 8 | 3 | 3 | 1 | – | – | – | – |
| 4 | 16 | 4 | 6 | 3 | 1 | – | – | – |
| 5 | 32 | 5 | 10 | 10 | 5 | 1 | – | – |
| 6 | 64 | 6 | 15 | 20 | 15 | 6 | 1 | – |
| 7 | 128 | 7 | 21 | 35 | 35 | 21 | 7 | 1 |

Эффекты основных факторов рассматриваются как взаимодействие нулевого порядка, парные взаимодействия (x_1x_2 , x_1x_3 , x_2x_3 и др.) первого порядка, тройные ($x_1x_2x_3$, $x_1x_2x_4$ и т. д.) – второго порядка и т. д.

Взаимодействия высокого порядка, начиная с третьего, в большинстве случаев бывают незначительны.

Если в эксперименте реализуются все возможные сочетания уровней факторов, то такой эксперимент называют полным факторным экспериментом (ПФЭ). ПФЭ характеризуется матрицей планирования.

В матрице планирования верхний уровень факторов обозначают знаком «+», а нижний знаком «-».

Рандомизация опытов

Для исключения влияния систематических ошибок, вызванных внешними условиями и осуществления различных опытов в одинаковых условиях, необходимо проводить рандомизацию опытов. Это позволит усреднить влияние эффектов неконтролируемых факторов и сравнить результаты подобных опытов. Под *рандомизацией* понимается чередование отдельных опытов или групп опытов в случайном порядке (от англ. random – случайный). Рандомизация проводится с помощью таблиц случайных чисел.

17.2. Дробный факторный эксперимент

В полном факторном эксперименте количество опытов превосходит значительное число определяемых коэффициентов регрессии в уравнении. Поэтому для сокращения числа опытов возможно применение дробного факторного эксперимента (ДФЭ), при котором существенно сокращается объем матрицы планирования в сравнении с матрицей ПФЭ. Для этого используют незначимые взаимодействия факторов. Незначимое взаимодействие факторов можно заменить новым фактором в многофакторном эксперименте, который дает прибавку к отклику системы. Новому фактору присваивается вектор – столбец матрицы, принадлежащей взаимодействию, которым можно пренебречь. Значение нового фактора в условиях опытов определяется знаком этого столбца.

В некоторых случаях ДФЭ приносит эффект в связи с возможностью увеличения числа повторностей, а не сокращения числа опытов.

При этом следует ожидать увеличение точности эксперимента.

Например: вместо четырехфакторного ПФЭ при трех повторностях, что дает $3 \cdot 2^4 = 48$ реакцией опытов. При тех же 48 реализациях опытов ДФЭ получим шесть повторностей, т. к. $6 \cdot 2^{4-1} = 48$.

Специальная оценка показывает, что значение полученных коэффициентов регрессии при ДФЭ остаются достаточно точными для большинства практических задач.

Эксперимент, оставляющий по объему только часть ПФЭ, называют дробной репликой от ПФЭ. Целесообразность применения дробных реплик возрастает с ростом количества факторов. Условные обозначения дробных реплик и соответствующее им число опытов представлено в табл. 5. ДФЭ целесообразно применять при количестве факторов свыше трех.

Произведение факторов, образующих новый фактор, называют генерирующим соотношением, ибо оно генерирует систему смещения оценок. Генерирующее соотношение может быть взято со знаком «+» и со знаком «-».

Для определения смешанных эффектов при ДФЭ введем понятие определяющего контраста. Символическое обозначение произведения столбцов, образующего из данного генерирующего соотношения плюс или минус единицу, называется определяющим контрастом.

При выборе полуреplik 2^{4-1} возможны следующие варианты генерирующих соотношений:

- 1) $X_4 = X_1 \cdot X_2$; 5) $X_4 = X_1 \cdot X_3$;
 2) $X_4 = -X_1 \cdot X_2$; 6) $X_4 = -X_1 \cdot X_3$;
 3) $X_4 = X_2 \cdot X_3$; 7) $X_4 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$;
 4) $X_4 = -X_2 \cdot X_3$; 8) $X_4 = -X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$.

Если имеется информация об эффектах взаимодействия, то в качестве генерирующего соотношения следует брать те взаимодействия, которые имеют минимальную значимость. Если такой информации нет, то реплики 7 и 8 имеют т. н. максимальную разрешающую способность, т. к. тройные взаимодействия менее значимы, чем парные.

Поэтому реплики 7 и 8 называют главными.

Таблица 5

Условные обозначения дробных реплик и число опытов

| Число факторов | Дробная реплика | Условные обозначения | Число опытов | |
|----------------|------------------------------|----------------------|---------------------|-------------------------------------|
| | | | для дробной реплики | для полного факторного эксперимента |
| 3 | 1/2 – реплика от 2^3 | 2^{3-1} | 4 | 8 |
| 4 | 1/2 – реплика от 2^4 | 2^{4-1} | 8 | 16 |
| 5 | 1/4 – реплика от 2^5 | 2^{5-2} | 8 | 32 |
| 6 | 1/8 – реплика от 2^6 | 2^{6-3} | 8 | 64 |
| 7 | 1/16 – реплика от 2^7 | 2^{7-4} | 8 | 128 |
| 5 | 1/2 – реплика от 2^5 | 2^{5-1} | 16 | 32 |
| 6 | 1/4 – реплика от 2^6 | 2^{6-2} | 16 | 64 |
| 7 | 1/8 – реплика от 2^7 | 2^{7-3} | 16 | 128 |
| 8 | 1/16 – реплика от 2^8 | 2^{8-4} | 16 | 256 |
| 9 | 1/32 – реплика от 2^9 | 2^{9-5} | 16 | 512 |
| 10 | 1/64 – реплика от 2^{10} | 2^{10-6} | 16 | 1024 |
| 11 | 1/128 – реплика от 2^{11} | 2^{11-7} | 16 | 2048 |
| 12 | 1/256 – реплика от 2^{12} | 2^{12-8} | 16 | 4096 |
| 13 | 1/512 – реплика от 2^{13} | 2^{13-9} | 16 | 8192 |
| 14 | 1/1024 – реплика от 2^{14} | 2^{14-10} | 16 | 16384 |
| 15 | 1/2048 – реплика от 2^{15} | 2^{15-11} | 16 | 32768 |

В качестве генерируемого соотношения в табл. 4 принято произведение: $X_4 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$.

Для выбранного генерирующего соотношения определяющим контрастом будет:

$$X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 = 1,$$

т. к. $X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 = 1$.

Тогда смещенные парные взаимодействия определяются в соотношениями, которые получаются путем соответственно умножения правой и левой частей определяющего контраста на факторы:

$$X_1 \cdot X_2 = X_3 \cdot X_4;$$

$$X_1 \cdot X_3 = X_2 \cdot X_4;$$

$$X_1 \cdot X_4 = X_2 \cdot X_3.$$

Для ДФЭ 2^{4-1} требуется провести восемь опытов.

Если после постановки восьми опытов возникнут сомнения, то можно поставить еще восемь опытов, приняв:

$$X_4 = -X_1 \cdot X_2 \cdot X_3;$$

$$1 = -X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4;$$

$$X_1 \cdot X_2 = -X_3 \cdot X_4;$$

$$X_1 \cdot X_3 = -X_2 \cdot X_4;$$

$$X_1 \cdot X_4 = -X_2 \cdot X_3.$$

Полученные таким образом парные взаимодействия заносятся в соответствующую матрицу планирования.

Таким образом, при планировании многофакторного эксперимента могут применяться следующие методы:

- метод полного факторного эксперимента (ПФЭ);
- метод дробного факторного эксперимента (ДФЭ).

ЛИТЕРАТУРА

1. Короткевич, А. В. Основы испытаний сельскохозяйственной техники : учеб. пособие / А. В. Короткевич. – Минск : БАТУ, 1997.
2. Машины и стенды для испытания деталей / Д. Н. Решетов [и др.]. – Москва : Машиностроение, 1979.
3. Погорелый, Л. В. Инженерные методы испытаний сельскохозяйственных машин / Л. В. Погорелый. – Киев : Техника, 1991.
4. Хайлис, Г. А. Исследования сельскохозяйственной техники и обработка опытных данных / Г. А. Хайлис, М. М. Ковалев. – Москва : Колос, 1994.

Содержание

| | |
|--|----|
| 1. Общие положения по организации испытаний сельскохозяйственной техники | 3 |
| 1.1. Виды испытаний | 3 |
| 1.2. Проведение испытаний, обработка результатов опытов и составление отчетности..... | 8 |
| 2. Оценка надежности сельскохозяйственной техники при испытаниях | 9 |
| 2.1. Основные понятия, термины и определения надежности..... | 9 |
| 2.2. Показатели надежности..... | 12 |
| 3. Оценка безопасности, эргономичности и охраны окружающей среды при испытаниях новой техники | 14 |
| 3.1. Цель оценки безопасности и эргономичности новой техники | 14 |
| 3.2. Требования безопасности и эргономичности к сельскохозяйственной технике..... | 14 |
| 4. Агротехническая оценка как метод определения качества выполнения машиной технологического процесса..... | 15 |
| 4.1. Общие положения по агротехнической оценке сельскохозяйственных машин | 15 |
| 4.2. Этапы агротехнической оценки для определения качества выполнения машиной технологического процесса..... | 18 |
| 4.3. Определение условий испытаний..... | 20 |
| 5. Агротехническая оценка машин и орудий для обработки почвы... .. | 22 |
| 6. Агротехническая оценка посевных машин | 28 |
| 7. Агротехническая оценка машин для возделывания сельскохозяйственных культур | 34 |
| 8. Агротехническая оценка зерноуборочных комбайнов | 36 |
| 9. Агротехническая оценка машин для внесения удобрений | 45 |
| 10. Агротехническая оценка машин для химической защиты растений | 48 |

| | |
|---|-----|
| 11. Испытания деталей и передач сельскохозяйственных машин | 53 |
| 11.1. Испытание зубчатых и червячных передач на контактную прочность, заедание и износ | 57 |
| 11.2. Испытания цепных передач | 69 |
| 11.3. Испытания для определения КПД передач сельскохозяйственных машин | 73 |
| 12. Методы сравнительного анализа результатов экспериментальных исследований | 77 |
| 13. Анализ вероятностных связей между факторами и результатами испытаний | 80 |
| 14. Метод ранговой корреляции при проведении испытаний и исследований машин | 82 |
| 15. Дисперсионный анализ результатов испытаний | 87 |
| 16. Метод случайного баланса | 91 |
| 17. Полный и дробный факторные эксперименты | 96 |
| 17.1. Полный факторный эксперимент | 96 |
| 17.2. Дробный факторный эксперимент | 99 |
| Литература | 102 |

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

Балакин Василий Алексеевич
Иванов Алексей Александрович

ИСПЫТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Курс лекций
для студентов специальности 1-36 12 01
«Проектирование и производство
сельскохозяйственной техники»
дневной и заочной форм обучения

Электронный аналог печатного издания

Редактор *Н. В. Гладкова*
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 06.06.08.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 6,04. Уч.-изд. л. 6,26.

Изд. № 168.

E-mail: ic@gstu.gomel.by

<http://www.gstu.gomel.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0131916 от 30.04.2004 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.