

Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Сельскохозяйственные машины»

**С. И. Кирилук**

## **ИСПЫТАНИЯ МОБИЛЬНЫХ МАШИН**

**ПОСОБИЕ**

**для студентов специальности 1-36 12 01**

**«Проектирование и производство  
сельскохозяйственной техники»**

**дневной и заочной форм обучения**

**Гомель 2021**

УДК 629.018:631.3(075.8)  
ББК 40.72-07я73  
К43

*Рекомендовано научно-методическим советом  
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 5 от 06.05.2020 г.)*

Рецензент: генер. конструктор НТЦК ОАО «Гомсельмаш» С. А. Федорович

**Кирилюк, С. И.**  
К43 Испытания мобильных машин : пособие для студентов специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники» днев. и заоч. форм обучения / С. И. Кирилюк. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2021. – 111 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: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Предложен материал по принятым в Республике Беларусь видам и методам проведения испытаний мобильных машин, методикам определения эксплуатационных показателей мобильных машин, по организации испытаний мобильных сельскохозяйственных машин и основным показателям, характеризующим мобильную сельскохозяйственную технику во время испытаний, по агротехнической и эксплуатационной оценке мобильных сельскохозяйственных машин, а также по методам анализа результатов экспериментальных исследований.

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

**УДК 629.018:631.3(075.8)**  
**ББК 40.72-07я73**

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕКЦИЯ №1 Оценка надежности сельскохозяйственной техники при испытаниях. Основные понятия, термины и определения надёжности. Показатели надёжности. Показатели долговечности. Исследование сельскохозяйственных машин.	3
1.1 Оценка надежности сельскохозяйственной техники при испытаниях. Основные понятия, термины и определения надёжности.	3
1.2 Показатели надёжности.	6
1.3 Показатели долговечности.	6
ЛЕКЦИЯ №2 Оценка Безопасности, эргономичности и охраны окружающей среды при испытаниях новой техники.	7
ЛЕКЦИЯ №3 Агротехническая оценка как метод определения качества выполнения машиной технологического процесса. Общие положения по агротехнической оценке сельскохозяйственных машин.	8
ЛЕКЦИЯ №4 Этапы агротехнической оценки для определения качества выполнения машиной технологического процесса.	11
ЛЕКЦИЯ №5 Агротехническая оценка косилок и валковых жаток	13
ЛЕКЦИЯ №6 Агротехническая оценка кормоуборочных комбайнов	25
ЛЕКЦИЯ №7 Агротехническая оценка зерноуборочных комбайнов	28
ЛЕКЦИЯ №8 Агротехническая оценка машин для химической защиты растений	37
ЛЕКЦИЯ №9 Агротехническая оценка машин и орудий для обработки почвы. Агротехническая оценка машин для внесения удобрений	42
9.1 Агротехническая оценка машин и орудий для обработки почвы	42
9.2 Агротехническая оценка машин для внесения удобрений	47
ЛЕКЦИЯ №10 Метрологическое обеспечение при проведении испытаний с/х машин	52

ЛЕКЦИЯ №11 Техническая экспертиза машин. Энергетические показатели машин. Эксплуатационно–экономические показатели машин	57
11.1 Техническая экспертиза машин	57
11.2 Энергетические показатели машин	58
11.3 Эксплуатационно–экономические показатели машин	60
ЛЕКЦИЯ № 12 Основы методики статической обработки результатов измерений при проведении испытаний	63
ЛЕКЦИЯ №13 Анализ вероятностных связей между факторами и результатами испытаний. Основные положения	66
ЛЕКЦИЯ №14 Сущность метода ранговой корреляции при проведении испытаний и исследовании машин	71
ЛЕКЦИЯ №15 Дисперсионный анализ результатов испытаний. последовательность проведения дисперсионного анализа	75
15.1 Дисперсионный анализ результатов испытаний	75
15.2 Последовательность проведения дисперсионного анализа	78
ЛЕКЦИЯ №16 Метод случайного баланса. Порядок проведения исследования методом случайного баланса	80
16.1 Метод случайного баланса	80
16.2 Порядок проведения исследования методом случайного баланса	81
ЛЕКЦИЯ №17 Полный факторный эксперимент. Алгоритм эксперимента	85
17.1 Полный факторный эксперимент	85
17.2 Алгоритм эксперимента.	88
ЛЕКЦИЯ №18 Дробный факторный эксперимент. Алгоритм эксперимента	89
18.1 Дробный факторный эксперимент	89
18.2 Алгоритм эксперимента	92
ЛЕКЦИЯ №19 Классификация тормозных механизмов испытательных стендов	93
ЛЕКЦИЯ №20 Испытание зубчатых передач с/х машин на контактную прочность, заедание и износ	97
ЛЕКЦИЯ №21 Машины и стенды для испытаний деталей с/х машин	104

## ЛЕКЦИЯ №1

# ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ. ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ. ПОКАЗАТЕЛИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ. ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

### 1.1 Оценка надежности сельскохозяйственной техники при испытаниях. 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.

Ремонтпригодность – 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. Наработка 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.

## 1.2 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.

## 1.3 Показатели долговечности

Гамма-процентный ресурс – суммарная наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью  $\gamma$ , 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  $\gamma$ , 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, гаммапроцентный ресурс от второго капитального ремонта до списания). Показатели долговечности, отсчитываемые от ввода объекта в эксплуатацию до окончания полного снятия с эксплуатации, называются гамма-процентным полным ресурсом (срок службы), средним полным ресурсом (срок службы). 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.

## ЛЕКЦИЯ №2

### ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ, ЭРГОНОМИЧНОСТИ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ 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. 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: 8

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.

### ЛЕКЦИЯ №3

## АГРОТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАК МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ МАШИНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА. 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 внесения технологического материала (воды для дождевальных 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 землей, 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 подвергаются 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, луцильников, 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.

#### ЛЕКЦИЯ №4

### 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. 4.1.

Таблица 4.1 Этапы агротехнической оценки для определения качества выполнения машиной технологических процессов в растениеводстве

Технологические операции при 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 её назначение.
Определение показателей, проведение лабораторных,	Определение и регистрация значений показателей условий применения и назначения (качества выполнения технологического процесса) машины в условия использования её

стендовых, лабораторно–полевых опытов.	на установленных фонах и режимах.
Анализ показателей и выработка рекомендации	Обработка данных опытов с использованием методов математической статистики, оценка достоверности показателей и анализ полученных значений показателей назначения, сопоставление значения 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

## ЛЕКЦИЯ №5 АГРОТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОСИЛОК И ВАЛКОВЫХ ЖАТОК

На основании предварительно проведенных теоретических и экспериментальных исследований, которыми вскрыты причины возникновения потерь в зоне делителя, установлено, что вследствие незаконченности деления часть этих потерь транспортируется в валок. Указанные потери характерны в основном для делителей комбинированного типа, которые применяются на серийных жатках ЖНУ–4,0 в различных зонах возделывания и уборки риса. Поэтому для оценки потерь непосредственно за делителем с учетом потерь транспортируемых в валок необходимо выделить их из общего технологического потока потерь за катками в зависимости от типа делителей, применяемых на машине. Существующая методика агротехнической оценки валковых жаток по ОСТ 70,81–81, разработанная Агропром СССР, не отражает оценку потерь, возникающих конкретно за делителями [1]. Указанная методика предусматривает оценку общих потерь за жаткой, и не учитывает потери за делителем, возникающие при нарушении технологического процесса деления стеблей в виде свободного зерна или срезанных

метелок под валком, неравномерность валка по вине делителя. Поэтому во многих случаях создается ложное представление о малой величине потерь в зоне делителя, т.к. указанные потери имеют скрытый характер их распределения.

Для полного анализа потерь за полевым делителем жаток необходимо их выделить под валком. Для проведения указанных работ был разработан метод выделения потерь, который успешно прошел апробацию в южных зонах Украины и Краснодарского края в 1979 – 1981 г.г. при изучении жаток ЖНУ–4,0 и ЖРК–5 в полевых условиях с различными вариантами полевых делителей. Сущность метода выделения потерь заключалась в получении эталонных и рабочих прокосов и сравнительной оценки потерь по зонам их возникновения на ширине захвата жатки и под валком. При проведении полевых экспериментов по оценке потерь за делителями априорно постулирует, что полученные замеры входят в генеральные выборки, которые подчиняются закону нормального распределения. В соответствии с вышеизложенным работы по оценке потерь за полевым делителем, установленным на встречно – поточной жатке необходимо проводить в следующей последовательности:

1. Снять характеристику агрофона перед началом проведения эксперимента;

2. Произвести обкос чека по периметру и центральный прокос с получением в зависимости от технологической схемы жатки сдвоенного или одинарного валка;

3. Провести разбивку чека относительно центрального прокоса на участки, равные удвоенному проходу жатки с выделением отрезков по 5–10 м для учета потерь, разгона и регулировки, определения фазового сдвига мест замера потерь под валком и толщины валка. При этом участки необходимо разбивать по ширине с учетом величины перепуска захвата жатки на скошенное поле равном 300 мм;

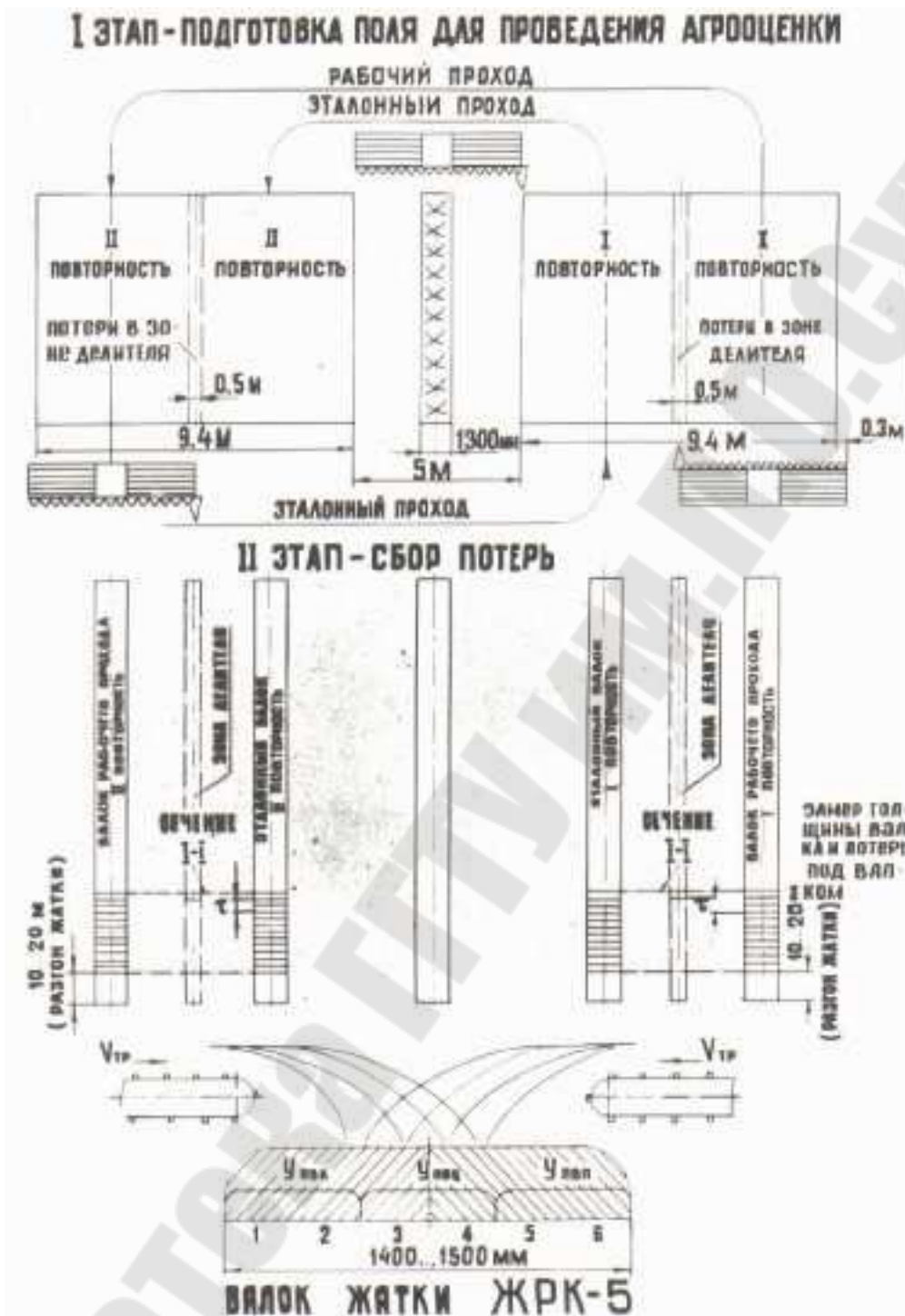
4. Фиксировать валками параллельные сечения на рабочих и эталонных прокосах жатки;

5. Отделить участки для эксперимента от не скошенного массива стеблей;

6. Провести учетные проходы в 2–х повторностях. При работе жатки с боковым отбросом перед учетным проходом замерить потери в зоне делителя от предыдущего прохода жатки;

7. Провести замеры толщины и ширины валка;





8. Перенести валки с рабочих проходов на участки для обкатки, разгона и регулировки;

9. Провести замеры потерь в соответствии с технологическими схемами укладки вала.

Порядок получения эталонных валков при проведении эксперимента на встречно – поточной жатке производить в соответствии с рисунком 5.1.

Перед началом эксперимента производится обкашивание чека по периметру жаткой ЖРК–5, навешенной на гусеничный комбайн СКД–5Р. Полученный валок до проведения эксперимента подбирается и обмолачивается комбайном. Затем производится центральный прокос, которым участок разбивается на две части. Относительно центрального прокоса отбивается с левой и правой стороны участка риса, равные 9,4 м, что соответствует двум проходам жатки ЖРК–5 с учетом перепуска захвата машины на 200 мм в сторону скошенного массива относительно не скошенного стеблестоя. Полученные участки повторно отделяют от не скошенного риса и размечают вешками на учетные проходы по 5–10 м, предназначенные для отбора потерь, и проходы по 10 м для разгона жатки и регулировки. По отдельному от остального массива участка в 9,4 м производится скашивание с выходом машины на торцевую часть чека с заездом на участок 3 для проведения второй повторности опыта. Затем жатка возвращается в исходное положение и скашивает эталонный участок 3 и 2 со стеблестоем, не имеющим связи с полевой стороной. Указанные участки предварительно размещаются вешками таким образом, чтобы учетные проходы по 5–10 м располагались параллельно проходам, размещенным на предыдущих участках 4 и 2. После указанных подготовительных работ валки на зачетных проходах обмерятся по ширине и толщине и вручную или с помощью вешек переносится незачетные проходы длиной 10 м. Потери замеряются в зоне делителя, зоне жатки, под валком с учетом фазового сдвига потерь при их транспортировки в валок. Для проведения замеров применяются специально изготовленные рамки сечением (0,5×0,5 м) и (1,6×0,15 м), которые устанавливаются на ширине захвата жатки, в зоне делителя и месте расположения валка с учетом фазового сдвига валка по времени, относительно места замера потерь за делителем. Аналогично проводятся замеры потерь в параллельных сечениях на эталонном участке. Замеры сдвига потерь под валком и толщины валка производятся на отдельных участках выделенных для проведения настройки жатки. Для этой цели отмеряется метровая полоса стеблестоя по ширине захвата жатки, по которой протягивается меченный красной краской шнур. До учетной полосы отмеряется участок в 8 м для проведения разгона жатки и получения устойчивого процесса схода валка. Производится скашивание массива с фиксированием времени схода меченого шнура в валок, затем производятся замеры расположения шнура в валке по

длине, относительно отмеренной метровой полосы уже скошенного стеблестоя. При этом жатка отводится в исходное положение на участке замеров. Опыт повторяется при изменении направления полегания и скорости движения машины. Полученные результаты заносятся в таблицу. При проведении агрооценки работы полевого делителя, навешенного на жатку с боковым отбросом валка схема выделения потерь указана на рисунке 5.2.

Отличие указанной схемы (рисунок 5.2) от предыдущей состоит в том, что по центру чека укладывается сдвоенный валок с двух проходов жатки ЖНУ – 4.0. потери в зоне делителя на участке 4 и 1 от предыдущего прохода учитываются при проведении анализа потерь под валком при рабочем и эталонном проходе жатки.

Схема замеров потерь за полевыми делителями показана на рисунке 5.3, 5.4.

При проведении сбора потерь под валком на основании предварительно проведенных полевых исследований принимается, что эти замеры потерь по вине делителя необходимо проводить для жатки встречно – поточной на участках 1 – 2 (рисунок 5.5) для жатки с боковым сбросом на участках 3 – 4 (рисунок 5.6). При проведении экспериментов принимаются следующие допущения:

1. при отсутствии контрольных обмолотов статическая оценка не равномерности толщины валка производится по величине среднеквадратического отклонения относительно эталонной неравномерности валка;

2. для упрощения полевых работ оценка неравномерности валка по толщине производится после скашивания без учета осадки валка, возникающей при его высыхании перед подбором;

3. прямыми потерями считаются свободное зерно, срезанные метелки размером 60 мм и ниже собранные по зонам жатки. При этом априорно постулирует, что размеры метелок более указанного будут подобраны подборщиком комбайна.

4. С целью упрощения обработки полученных данных и последующей статистической оценки срезанные метелки и не срезанные растения с метелками целесообразно переводить в разрез свободного зерна.

5. При изучении характера распределения потерь по ширине захвата жатки и качественной оценки их за рабочими органами для каждого проводимого опыта необходимо фиксировать структуру потерь ее процентное содержание в виде свободного зерна, срезанных

метелок, не срезанных растений, свободного зерна и срезанных метелок под валком;

6.потери срезанными метелками размером 60 мм и ниже, расположенные в зоне жатки под валком, в зоне делителя принимаются как невозвратимые;

7.срезанные метелки размером 60 мм и ниже, лежащие в зоне делителя на полегшем рисе необходимо отнести к разряду прямых невозвратимых потерь.

Оценку потерь за делителем необходимо проводить с учетом доли потерь под валком. При этом для сравнения и оценки соответствия общих потерь за жаткой агротехническими требованиями определяются общие потери за жаткой с учетом потерь по зонам, их распределения по ширине захвата машин. Для упрощения последующей обработки, после сбора потерь с учетных рамок проводится подготовка статического массива данных в определенной последовательности (П.1,4). Расчет потерь за делителем выполнялся в соответствии со схемами (рисунок 5.3, 5.4) на фоне общих потерь за жаткой (П.3,4).

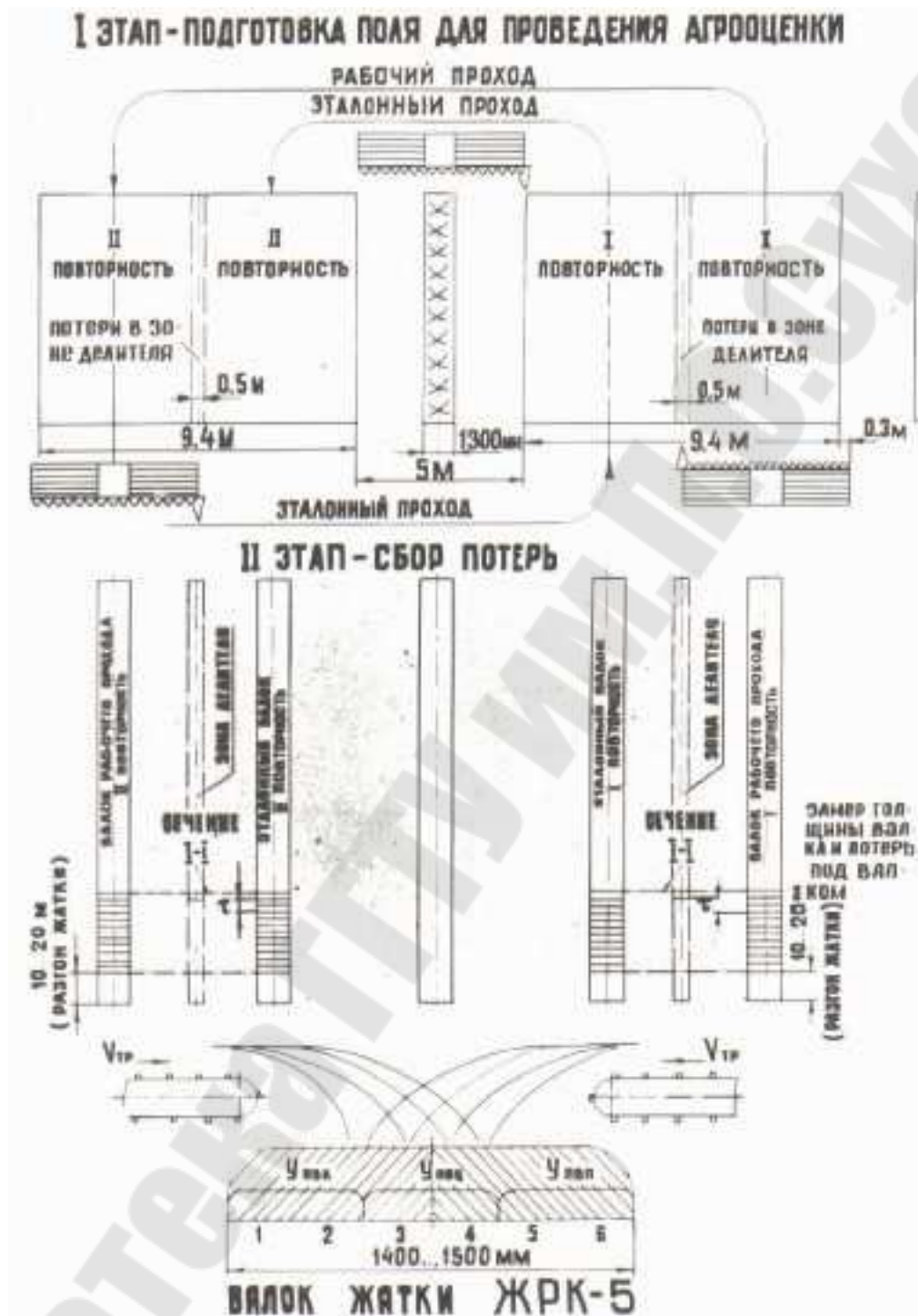


Рисунок 5.1. Схема выделения потерь за вибрационным полевым делителем жатки ЖРК – 5 в полевых условиях

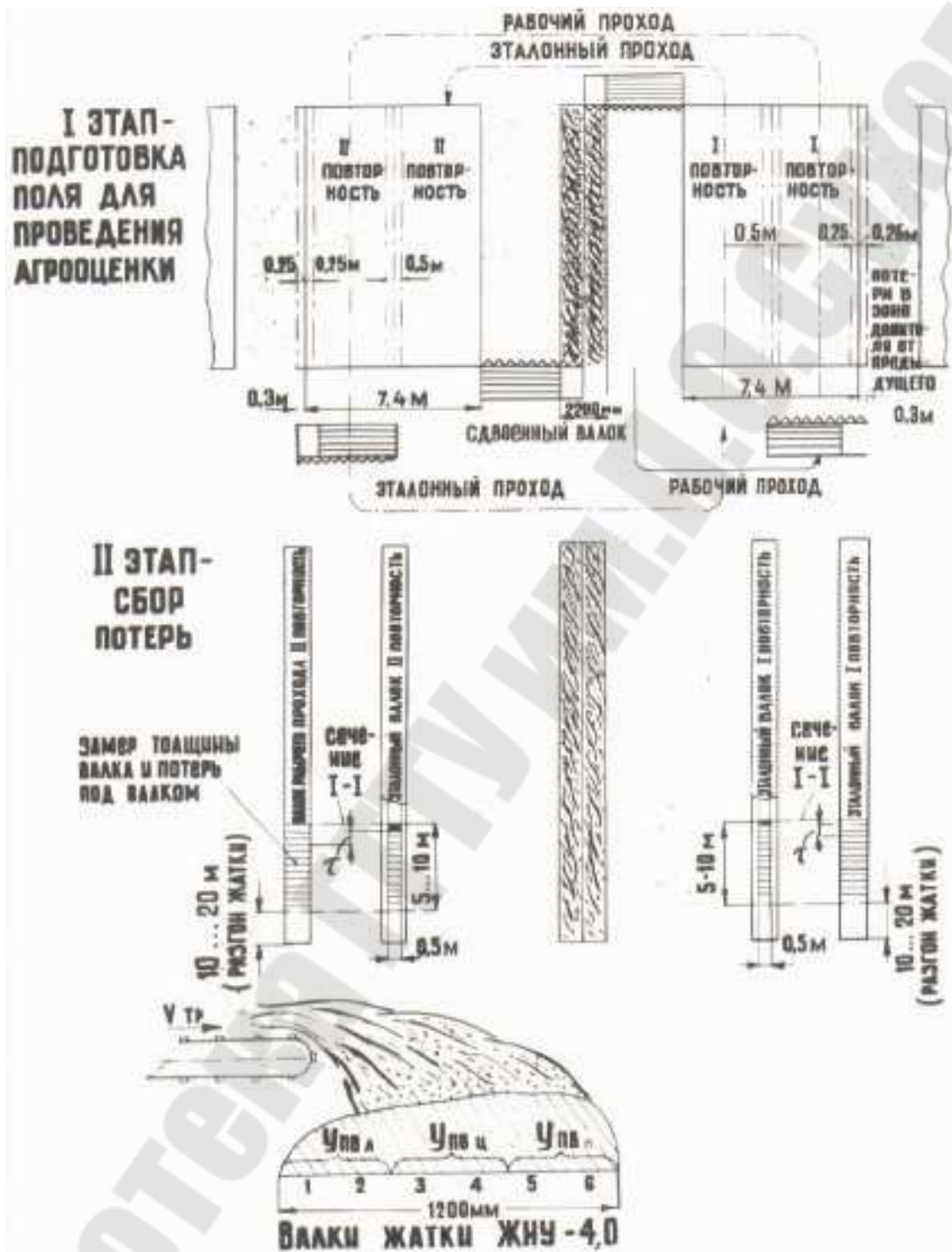


Рисунок 5.2. Схема выделения потерь за вибрационным полевым делителем жатки ЖНУ-4.0 в полевых условиях



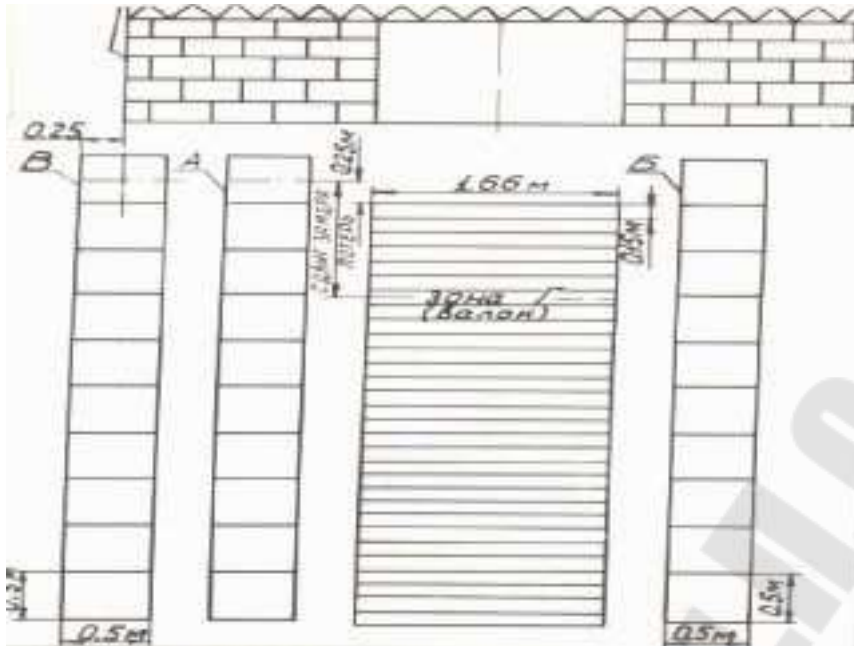


Рисунок 5.3. Схема замера потерь и неравномерности валка за полевым делителем жатки ЖРК-5

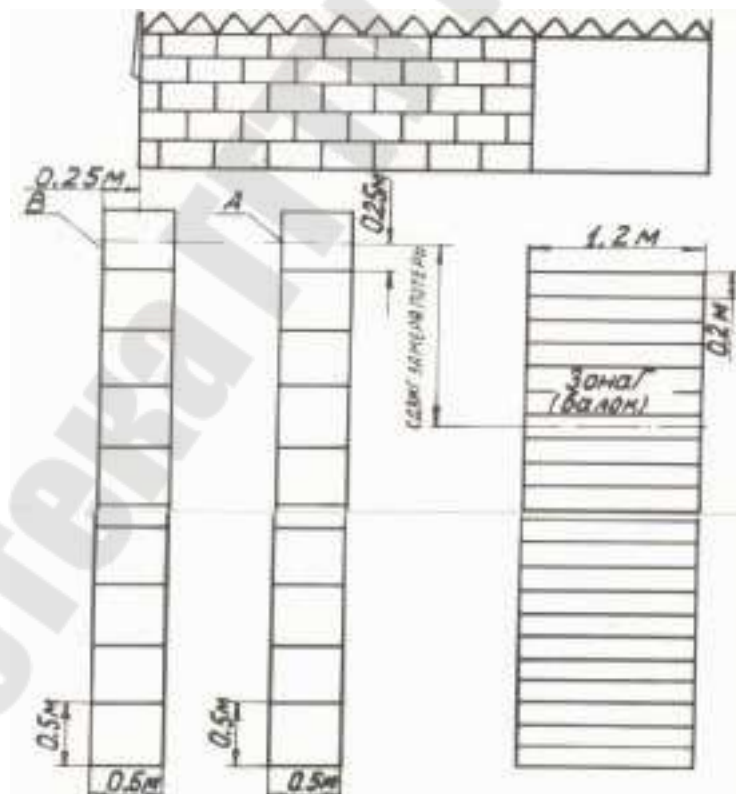


Рисунок 5.4. Схема замера потерь и неравномерности толщины валка за полевым делителем жатки ЖРК-5

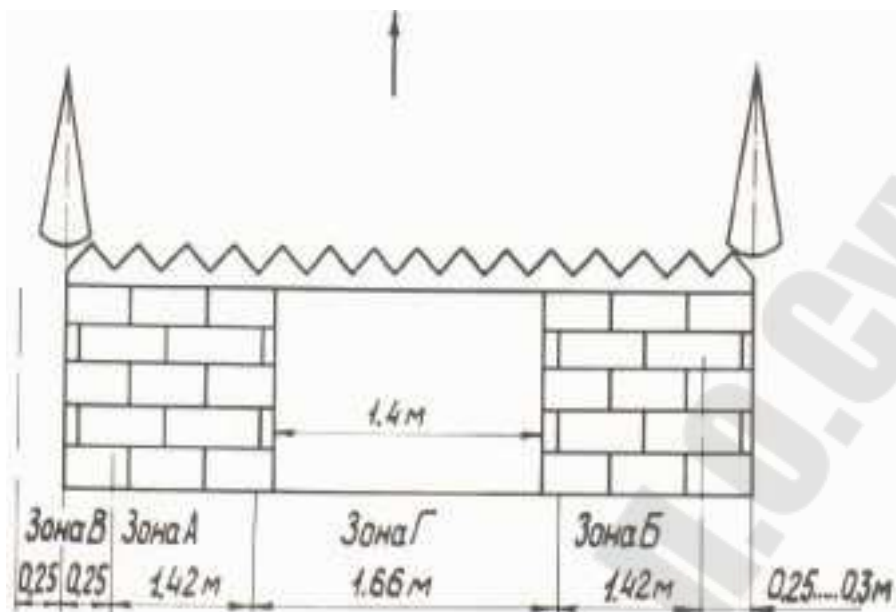


Рисунок 5.5. Схема оценки потерь за жаткой ЖРК–5

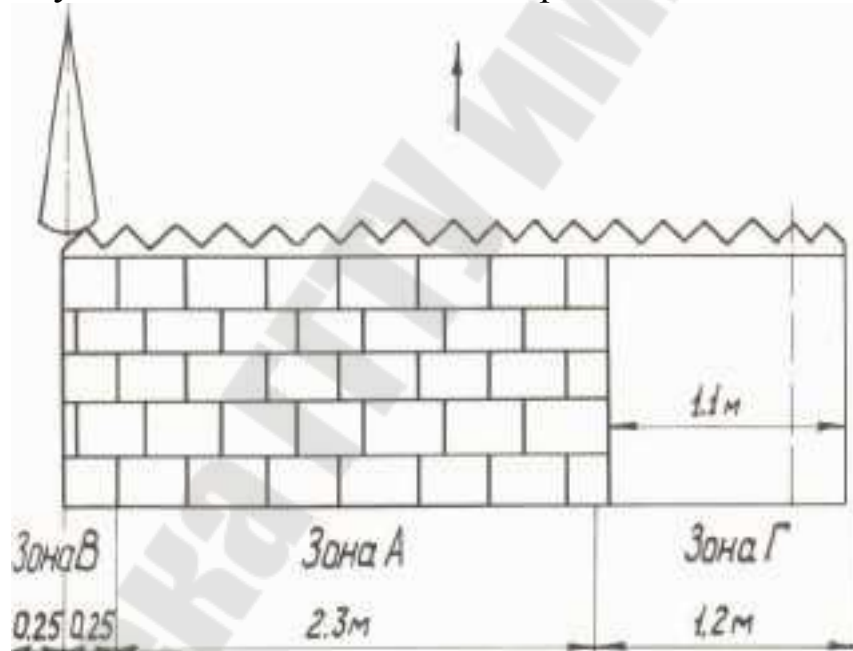


Рисунок 5.6. Схема оценки потерь за жаткой с боковым сбросом валка.

Качество работы валковой жатки характеризуют следующие параметры

1. Ширина захвата, м:

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

2. Высота среза, см:



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

Среднеквадратическое отклонение, см:

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

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, %:

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

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

где  $q_{сзж}$  – потери свободного зерна в межвалковом пространстве, г;

$q_c$  – потери зерна от самоосыпания, г;

$S_2$  – площадь рамки для учета потерь свободного зерна в межвалковом пространстве, м<sup>2</sup>;

$S$  – площадь, с которой учтены потери от самоосыпания, м<sup>2</sup>;

$Y_3$  – урожайность зерна, ц/га;

$$Y_3 = \frac{G_3 \cdot Z_m}{L \cdot B_{жс}} + \frac{q_{нкж}}{10 \cdot S_1} + \frac{q_{скк}}{10 \cdot S_1} + \frac{q_{сзз}}{10 \cdot S_2} + \left[ \frac{q_{сзз}}{10 \cdot S_3} - \frac{q_{сзз}}{10 \cdot S_2} \right] \cdot \frac{S_3}{S_2 + S_3},$$

где  $G_3$  – масса зерна в бункере, кг;

$Z_m$  – содержание основного зерна и зерновой примеси в зерне из бункера, %;

$L$  – длина учетной деланки, с которой собрано зерно в бункер, м;

$q_{нкж}$  – потери зерна в не срезанных колосьях в межвалковом пространстве, г;

$S_1$  – площадь рамки для учета потерь в срезанных и не срезанных колосьях, м<sup>2</sup>;

$q_{сзж}$  – потери свободного зерна под валком;

$S_3$  – площадь рамки для учета потерь свободного зерна под валком, м<sup>2</sup>;

б) потери за жаткой свободного зерна под валком, %

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

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

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

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

г) потери за жаткой зерна в не срезанных колосьях, %,

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

д) потери за жаткой зерна в не срезанных колосьях под валком, %,

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

где  $q'_{нкж}$  – потери зерна в не срезанных колосьях под валком, г;

$S_4$  – площадь рамки для учета потерь зерна в не срезанных колосьях под валком, м<sup>2</sup>;

е) суммарные потери зерна за жаткой, %,

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

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

$$W = 3,6 \cdot \frac{G_z \cdot Z_m}{t \cdot 1000},$$

где  $t$  – время прохождения учетной делянки, с.

## ЛЕКЦИЯ №6 АГРОТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

Агротехническую оценку машины проводят при лабораторно–полевых испытаниях. При этом проводят:

- выбор фона и характеристику условий испытаний;
- подготовку машины к лабораторно–полевым испытаниям;
- определение показателей качества работы;

При наличии полеглого травостоя измеряют высоту растений в выпрямленном и естественном положении.

1. Полеглость определяют как отношение разности измерений высоты растений в выпрямленном и естественном состоянии к высоте растений в выпрямленном положении.

$$n_{пол} = \frac{l - l_1}{l} \cdot 100,$$

где  $l$  – средняя высота растений в выпрямленном положении, см;

$l_1$  – средняя высота растений в естественном положении, см;

2. Определяют частоту травостоя по формуле:

$$n_{тр} = \frac{n_p}{S_0},$$

где  $n_p$  – количество растений на учетной площадке, шт.;

$S_0$  – площадь учетной площадки.

3. Определяют урожайность по формуле:

$$Y = \frac{Y_1 \cdot (100 - W_1)}{100 - W},$$

где  $Y_1$  – урожайность травы при фактической влажности, т/га;

$W_1$  – фактическая влажность травы, %;

$W$  – влажность травы, равная 18%

4. Определяют производительность машины  $Q$  и погрешность ее  $Q$  по формуле:

$$Q = 0,36 \cdot B \cdot V$$

$$\Delta Q = 0,7 \cdot \sqrt{B^2 \cdot S_V^2 + V^2 \cdot S_B^2}$$

где  $V$  – скорость машины, м/с;

$B$  – ширина захвата, м;

$S_V^2$  – среднее квадратическое отклонение скорости движения машины,  $\pm$  м/с ;

$S_B^2$  – среднее квадратическое отклонение ширины захвата, м;

5. Определяют потери по видам в тоннах на гектар по формуле:

$$n_e = \frac{m_n}{100 \cdot S_0},$$

где  $m_n$  – масса потерь по видам, собранных с учетом площадки, г;

$S_0$  – площадь учетной площадки,  $m^2$ ;

6. Определяют потери ( $n_y$ ) в процентах к урожайности по формуле:

$$n_y = \frac{n_e \cdot 100}{Y}$$

где  $Y$  – урожайность травы, т/га.

7. Определяют динамику сушки травы по формуле:

$$D = \frac{W_i - W_{i-1}}{t_i - t_{i-1}},$$

где  $W_i - W_{i-1}$  – измерение влажности в период смежных измерений, %;

$t_i - t_{i-1}$  – интервал между смежными измерениями, ч

8. Определяют линейную плотность валка путем взвешивания 10 равноудаленных проб, отбираемых с 1 м его длины. Объемы пробы определяют по линейным размерам и профилю валка.

9. Полноту плющения определяют по трем усредненным пробам массой не менее 2 кг каждая, отбираемым по минимальной длине по всей ширине и высоте валка. Все растения по признаку механического повреждения стеблей делятся на группы: полностью плющенные, плющенные на  $\frac{1}{2}$  длины стебля и не плющенные. Полностью плющенными считаются стебли, имеющие механические повреждения в виде сплюснутых участков, продольных трещин и изломов с повреждением кутикулы (водонепроницаемой оболочки). При этом каждое междоузлие должно иметь повреждение. Определению полноты плющения подлежат только основные стебли без боковых веточек и подгона длиной менее 60% от средней длины стебля.

10. Полноту плющения в процентах определяют по формуле:

$$\lambda = \frac{m' + 0,5 \cdot m''}{M},$$

где  $M$  – масса пробы, кг;

$m'$  и  $m''$  – масса стеблей, плющенных полностью и на  $\frac{1}{2}$  длины стебля, соответственно, кг.

ЛЕКЦИЯ №7  
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».

Определяемые показатели условий испытаний и качества выполнения технологического процесса зерноуборочных комбайнов, валковых жаток и подборщиков следующие.

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

Культура, сорт.

Способ уборки.

Спелость культуры, %:

$$C = \frac{n_i}{n} \cdot 100$$

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, %:

$$П = \frac{\bar{l} - \bar{l}_2}{\bar{l}} \cdot 100$$

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, %:

$$P = \frac{P_i}{n} \cdot 100,$$

где  $P_i$  – количество колосьев в  $i$ -ой группе, шт.

$n$  – суммарное количество растений, срезанных с десяти площадок, шт.

Засоренность культуры над фактической высотой среза (по массе), %. Потери зерна от самоосыпания, %:

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

где  $q_{li}$  – масса зерна, собранного с  $i$ -той 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.

**Б. 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:

$$q_B = \frac{G_3 + G_C}{L},$$

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:

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

где  $q_{pm}$  – 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 м<sup>2</sup>, шт.

Влажность почвы в слое 0–10 см, %.

Твердость почвы в слое 0–10 см, Па.

## **В. Показатели качества работы.**

### **В1. Качество работы валковой жатки:**

Ширина захвата, м:

$$B_{жс} = \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{n}$$



Высота среза, см:

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

Среднеквадратическое отклонение, см:

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

Коэффициент вариации, %:

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

Высота валка, см.

Толщина валка, см.

Просвет между почвой и валком, см.

Ширина валка, см.

Потери зерна за жаткой, %:

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

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

где  $q_{сзж}$  – потери свободного зерна в межвалковом пространстве, г;

$q_c$  – потери зерна от самоосыпания, г;

$S_2$  – площадь рамки для учета потерь свободного зерна в межвалковом пространстве, м<sup>2</sup>;

$S$  – площадь, с которой учтены потери от самоосыпания, м<sup>2</sup>;

$Y_3$  – урожайность зерна, ц/га;

$$Y_3 = \frac{G_3 \cdot Z_m}{L \cdot B_{ж}} + \frac{q_{нкж}}{10 \cdot S_1} + \frac{q_{скк}}{10 \cdot S_1} + \frac{q_{сзз}}{10 \cdot S_2} + \left[ \frac{q'_{сзз}}{10 \cdot S_3} - \frac{q_{сзз}}{10 \cdot S_2} \right] \cdot \frac{S_3}{S_2 + S_3},$$

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;

$q_{нкж}$  – потери зерна в не срезанных колосьях в межвалковом пространстве, г;

$S_1$  – площадь рамки для учета потерь в срезанных и не срезанных колосьях, м<sup>2</sup>;

$q'_{сзж}$  – потери свободного зерна под валком;

$S_3$  – площадь рамки для учета потерь свободного зерна под валком, м<sup>2</sup>;

б) потери за жаткой свободного зерна под валком, %

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

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

$$\Delta q'_{скж} = \frac{10 \cdot q'_{скж}}{Y_3 \cdot S_1},$$

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

г) потери за жаткой зерна в не срезанных колосьях, %,

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

д) потери за жаткой зерна в не срезанных колосьях под валком, %,

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

где  $q'_{нкж}$  – потери зерна в не срезанных колосьях под валком, г;

$S_4$  – площадь рамки для учета потерь зерна в не срезанных колосьях под валком, м<sup>2</sup>;

е) суммарные потери зерна за жаткой, %,

$$\Delta q_{жс} = \Delta q_{сзж} + \Delta q_{кж} + \Delta q_{скж} + \Delta q'_{сзж} + \Delta q'_{нкж};$$

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

$$W = 3,6 \cdot \frac{G_z \cdot 3_m}{t \cdot 1000},$$

где  $t$  – время прохождения учетной делянки, с.

Распределение зерна по ширине валка, %:

слева;

посередине;

справа.

## **В2. Качество работы жатки комбайна.**

Определяют показатели по п. В1 до а), а также следующие.

Потери зерна за жаткой, %:

а) потери за жаткой свободным зерном, %,

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

где  $q_{сз}$  – потери свободного зерна, г;

$Y_3$  – урожайность зерна, ц/га;

$$Y_3 = \frac{G_3 \cdot Z_m}{L \cdot B_{жс}} + \frac{q_{нк}}{10 \cdot S_1} + \frac{q_{ск}}{10 \cdot S_1} + \frac{q_{сз}}{10 \cdot S_2}.$$

где  $q_{нк}$  – потери зерна в несрезанных колосьях, г;

$q_{ск}$  – потери зерна в срезанных колосьях, г;

$q_{сз}$  – потери свободного зерна, г;

$S_1$  – площадь рамки для учета потерь зерна в срезанных и несрезанных колосьях, м<sup>2</sup>;

$S_2$  – площадь рамки для учета потерь свободным зерном, м<sup>2</sup>;

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

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

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

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

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  $\bar{h}$  – 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, %:

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

### **ВЗ. 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:

$$\gamma = 1 : \frac{G_C + G_{II}}{G_3},$$

где  $G_C$  – масса соломы, кг;

$G_{II}$  – масса половы, кг;

$G_3$  – масса зерна, кг.

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

$$Y_3 = \frac{G_3 \cdot Z_m + 0,1q \cdot \eta}{L \cdot B_{ж}},$$

где  $Z_m$  – содержание основного зерна и зерновой примеси в зерне из бункера, %;

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

где  $\eta$  – коэффициент тарировки лабораторной молотилки;

$q$  – масса потерь при первом обмолоте пробы на лабораторной молотилке;

$q_1$  – масса потерь при повторном обмолоте пробы на лабораторной молотилке.

Подача фактическая, кг/с:

$$P_{\phi} = \frac{G_C + G_{II} + G_3}{t},$$

Подача приведенная, кг/с:

$$P_{II} = 1,67 \cdot \frac{G_C + G_{II}}{t},$$

Масса 1м валка, кг:

$$G_B = \frac{G_C + G_{II} + G_3}{L},$$

среднеквадратическое отклонение, ±кг: ;

$$\sigma_h = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (G_B - \bar{G}_B)^2}{n-1}}$$

Потери зерна за молотилкой, г:

$$q_m = q_{nc} + q_{nn} + q_{cc} + q_{cn} + .$$

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

$$\Delta q_m = \frac{\eta_m \cdot q_{nc} \cdot 100}{10 \cdot G_3 \cdot Z_m + q_m \cdot \eta_m}.$$

где  $q_{nc}$  – потерн зерна недомолотом в соломе, г;

$\eta_m$  – коэффициент тарировки молотилки.

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

$$\Delta q_{nn} = \frac{\eta_m \cdot q_{nn} \cdot 100}{10 \cdot G_3 \cdot Z_m + q_m \cdot \eta_m}.$$

Потери свободным зерном в соломе, %:

$$\Delta q_{cc} = \frac{\eta_m \cdot q_{cc} \cdot 100}{10 \cdot G_3 \cdot Z_{II} + q_m \cdot \eta_m}.$$

Потери свободным зерном в полове, %:

$$\Delta q_{cn} = \frac{\eta_m \cdot q_{cn} \cdot 100}{10 \cdot G_3 \cdot Z_{II} + q_m \cdot \eta_m}.$$

Потери зерна в щели комбайна, %:

$$\Delta q_{щ} = \frac{q_{щ} \cdot 100}{10 \cdot G_3 \cdot Z_M \cdot q_{щ} \cdot q_m \cdot \eta_m}.$$

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

Потери зерна распылом, %:

$$\Delta q_{др} = D_{др} \cdot K_p$$

где  $D_{др}$  – дробление зерна, %;

$K_p$  – коэффициент распыла.

Суммарные потери зерна за молотилкой, %:

$$\Delta q = \Delta q_{nc} + \Delta q_{cc} + \Delta q_{cn} + \Delta q_{nn} + \Delta q_{др} + \Delta q_{щ};$$

Подача соломы на соломотряс, кг/с:

$$P_C = \frac{G_C}{t}.$$

Подача вороха па очистку, кг/с:

$$P_B = \frac{G_C \cdot G_{II}}{t}.$$

Содержание сорной примеси в зерне из бункера, %.

Дробление зерна, %.

Обрушивание зерна (для пленчатых культур), %.

Микроповреждение зародыша зерна, %.

#### **В4. Качество работы подборщика.**

Урожайность зерна ц/га:

$$Y_3 = \frac{G_3 \cdot Z_m}{L \cdot B_{жс}} + \frac{q_{снк}}{10l_1 \cdot B_{жс}} + \frac{q_{сзз}}{10l_2 \cdot B_{жс}}.$$

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;

$q_{снк}$  – потери зерна в колосьях, г;

$q_{сзз}$  – потери свободного зерна, г;

$B_{жс}$  – ширина, с которой сформирован валок, м.

Потери за подборщиком зерна (в колосьях), %:

$$\Delta q_{снк} = \frac{10 \cdot q_{сзз}}{l_2 \cdot B_{жс} \cdot Y_{жс}} - \Delta q_{скжс}.$$

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

Потери за подборщиком свободного зерна, %:

$$\Delta q_{сзз} = \frac{10 \cdot q_{сзз}}{l_2 \cdot B_{жс} \cdot Y_{жс}} - \Delta q'_{сзжс}.$$

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

Суммарные потери зерна за подборщиком, %:

$$\Delta q_n = \Delta q_{снк} + q_{сзз}.$$

Скорость движения, км/ч:

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

## ЛЕКЦИЯ №8

### 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 формуле:

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

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 проливок методом математической обработки данных как коэффициент вариации ( $K_v$ ):

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

где  $\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}}$  – среднеквадратичное 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./см<sup>2</sup>) 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 микрофотографированию 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.

## ЛЕКЦИЯ №9

### АГРОТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МАШИН И ОРУДИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ. АГРОТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МАШИН ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

9.1 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. Лабораторнополевые испытания плугов проводят, как правило, на двух агрофонах: пласт трав и стерня. Качество работы плугов и глубоких борозделителей 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/см<sup>3</sup>;

- высота гребня на поверхности дна борозды, см;
- путь заглублиения (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 обратном 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 колышками до и после учетного прохода агрегата с использованием специального приспособления, обеспечивающего перпендикулярность установки измерительной ленты в стенке борозды по направлению от учетных колышков. Рабочую ширину захвата чизельного плуга ( $B_{раб}$ ) в метрах определяют по следующей формуле:

$$B_{раб} = n \cdot M$$

где  $n$  – число чизельных рабочих органов, шт.;  $M$  – ширина междуследия 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 плоскорезамищелерезами 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  $\pm 50$  г, данные записывают в форму, а далее вычисляют массовую долю  $i$ -й фракции комков ( $П_{ki}$ ) в процентах по формуле:

$$П_{ki} = \frac{m_i \cdot 10^3}{m}$$

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 5м, шириной, равной ширине захвата машины. Незаделанные остатки собираются, состригаются и взвешиваются с погрешностью  $\pm 50$ 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 ( $\alpha$ ) 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,  $\text{м}^2$ .

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  $\pm 1$  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/см<sup>3</sup>;
- 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 выравнителям почвы определяют:

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

По полевым каткам:

- агрегатный состав почвы, %;
- плотность почвы в слоях (до и после прохода катков), г/см<sup>3</sup>.

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 ±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 ( $P_c$ ) в процентах определяют по формуле:

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



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 ( $P_k$ ) в процентах определяют по формуле:

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

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.

## **9.2 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/м<sup>3</sup>;
- 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. 9.1–9.3.

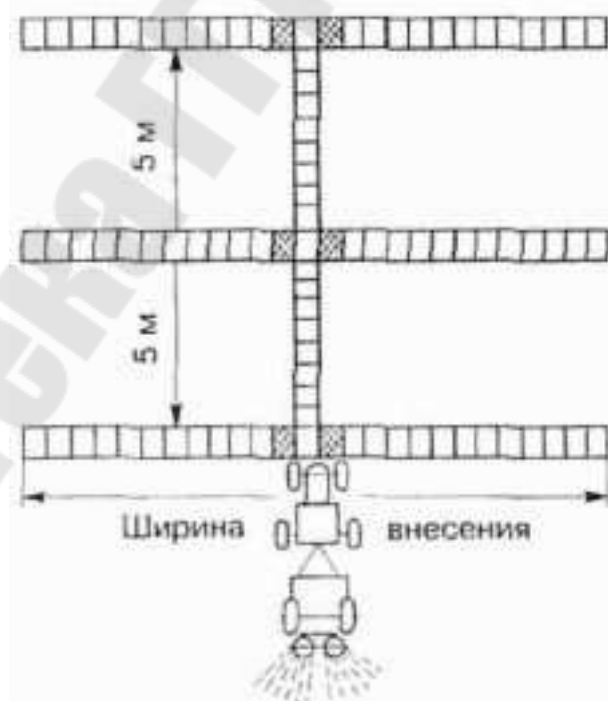


Рисунок 9.1. Схема расстановки противней с симметричным двусторонним характером внесения удобрений по ширине и ходу движения машины



Рисунок 9.2. Схема расстановки противней при одностороннем характере внесения удобрений по ширине и ходу движения машины

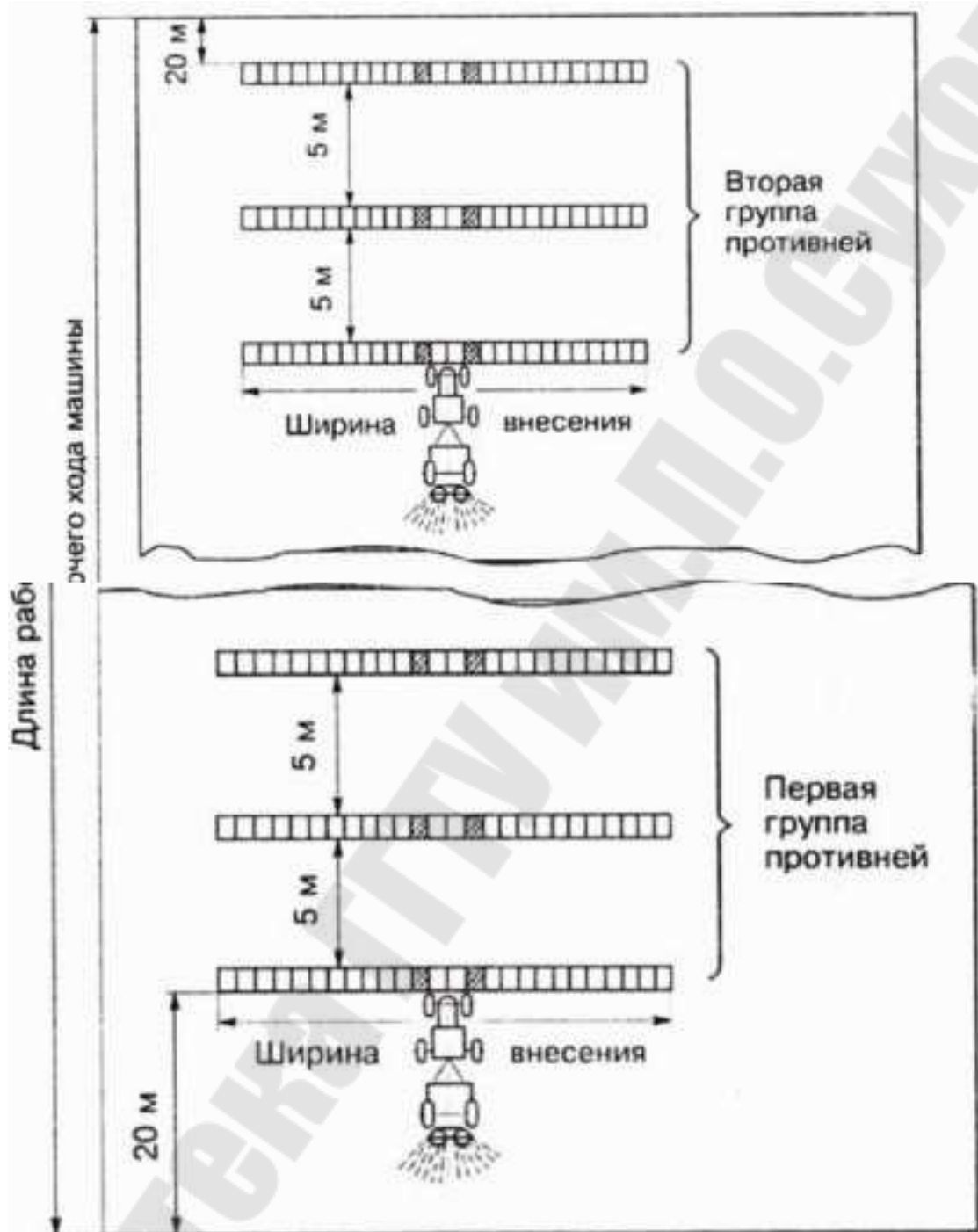


Рисунок 9.3. Схема расстановки противней при определении нестабильности дозы внесения удобрений

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.

ЛЕКЦИЯ №10  
МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ  
ИСПЫТАНИЙ С/Х МАШИН

1. СТО АИСТ 19.2–2008 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и оборудование для приготовления кормов. Методы оценки функциональных показателей» переработан в ТКП 273–2010(02150) «Сельскохозяйственная техника. Машины и оборудование для приготовления кормов. Порядок определения функциональных показателей» (Внесен в реестр государственной регистрации за № 884 от 22.12.2010).

2. ГОСТ Р 52759–2007 «Машины для внесения твердых органических удобрений. Методы испытаний» переработан в ТКП 274–2010(02150) «Сельскохозяйственная техника. Машины для внесения твердых органических удобрений. Порядок определения показателей» (Внесен в реестр государственной регистрации за № 885 от 22.12.2010).

3. ГОСТ Р 52758–2007 «Погрузчики и транспортеры сельскохозяйственного назначения. Методы испытаний» переработан в ТКП 275–2010(02150) «Сельскохозяйственная техника. Погрузчики и транспортеры сельскохозяйственного назначения. Порядок определения показателей» (Внесен в реестр государственной регистрации за № 886 от 22.12.2010).

4. ГОСТ Р 52757–2007 «Машины свеклоуборочные. Методы испытаний» переработан в ТКП 276–2010(02150) «Сельскохозяйственная техника. Машины свеклоуборочные. Порядок определения показателей» (Внесен в реестр государственной регистрации за № 887 от 22.12.2010).

5. СТО АИСТ 8.5–2006 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для уборки и послеуборочной обработки картофеля. Методы оценки функциональных показателей» переработан в ТКП 277–2010(02150) «Сельскохозяйственная техника. Машины для уборки и послеуборочной обработки картофеля. Порядок определения функциональных показателей» (Внесен в реестр государственной регистрации за № 888 от 22.12.2010).

6. СТО АИСТ 23.5–2008 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для уборки сена и соломы. Методы оценки функциональных показателей» переработан в ТКП 278–2010(02150)

«Сельскохозяйственная техника. Машины для уборки сена и соломы. Порядок определения функциональных показателей» (Внесен в реестр государственной регистрации за № 889 от 22.12.2010).

7.СТО АИСТ 10 8.23–2003 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для уборки сахарной свеклы. Показатели назначения. Общие требования» переработан в ТКП 279–2010(02150) «Сельскохозяйственная техника. Машины для уборки сахарной свеклы. Правила установления показателей назначения» (Внесен в реестр государственной регистрации за № 890 от 22.12.2010).

8.СТО АИСТ 8.21–2004 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для уборки ботвы корнеплодов. Методы оценки функциональных показателей» переработан в ТКП 280–2010(02150) «Сельскохозяйственная техника. Машины для уборки ботвы корнеплодов и картофеля. Порядок определения функциональных показателей» (Внесен в реестр государственной регистрации за №891 от 22.12.2010).

9.ГОСТ Р 52777–2007 «Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки» переработан в ТКП 281–2010(02150) «Сельскохозяйственная техника. Порядок определения показателей энергетической оценки» (Внесен в реестр государственной регистрации за № 892 от 22.12.2010).

10.СТО АИСТ 2.8–2007 «Испытания сельскохозяйственной техники. Надежность. Методы оценки показателей» переработан в ТКП 282–2010(02150) «Сельскохозяйственная техника. Надежность. Порядок определения показателей» (Внесен в реестр государственной регистрации за № 893 от 22.12.2010).

11.СТО АИСТ 10.2–2004 «Испытания сельскохозяйственной техники. Зерноочистительные машины и агрегаты, зерноочистительно–сушильные комплексы. Методы оценки функциональных показателей» переработан в ТКП 283– 2010(02150) «Сельскохозяйственная техника. Зерноочистительные машины и агрегаты» зерноочистительно–сушильные комплексы. Порядок определения функциональных показателей» (Внесен в реестр государственной регистрации за № 894 от 22.12.2010).

12.СТО АИСТ 2.9–2007 «Испытания сельскохозяйственной техники. Надежность. Оценка приспособленности к техническому обслуживанию» переработан в ТКП 284–2010(02150) «Сельскохозяйственная техника. Надежность. Оценка

приспособленности к техническому обслуживанию» (Внесен в реестр государственной регистрации за № 895 от 22.12.2010). 45

13. СТО АИСТ 28.1–2008 «Испытания сельскохозяйственной техники. Очистители и охладители молока. Методы оценки функциональных показателей» переработан в ТКП 285–2010(02150) «Сельскохозяйственная техника. Очистители и охладители молока. Порядок определения функциональных показателей» (Внесен в реестр государственной регистрации за № 896 от

14.РД 10 1.10–2000 «Требования к техническим средствам производства, обеспечивающим соблюдение технологий возделывания и уборки сельскохозяйственной продукции». Распространяется на технические средства производства (сельскохозяйственные машины), предназначенные для основных технологических операций возделывания и уборки продукции растениеводства. Устанавливает номенклатуру требований к техническим средствам для реализации технологий возделывания и уборки продукции растениеводства

15. СТО АИСТ 8.7–2004 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для уборки овощных и бахчевых культур. Методы оценки функциональных показателей». Распространяется на машины для уборки овощных и бахчевых культур: томатов, огурцов, баклажанов, сладкого перца, лука, чеснока, моркови, столовой свеклы, редиса, турнепса, редьки, брюквы, цикория, капусты, зеленого горошка, зеленой фасоли, арбузов, дынь, тыквы, кабачков, патиссонов. Устанавливает номенклатуру функциональных показателей и методы их определения при всех видах испытаний вышеперечисленных типов машин.

16. СТО АИСТ 11.1–2004 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей». Распространяется на машины и установки дождевальные, работающие позиционно и в движении с комплектуемым технологическим оборудованием (дождевальные аппараты, устройства для внесения с поливной водой минеральных удобрений, микроэлементов, подготовленных животноводческих стоков, системы автоматики и приборы, входящие в состав машин согласно НД). Устанавливает номенклатуру функциональных показателей и методы их определения при всех видах испытаний вышеперечисленных типов машин.



17.СТО АИСТ 11.3–2004 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки поливные. Методы оценки функциональных показателей». Распространяется на машины и установки для полива по бороздам, чекам, капельного полива и на вспомогательное оборудование (сифоны– водовыпуски, трубки–сифоны, гибкие поливные трубопроводы). Устанавливает номенклатуру функциональных показателей и методы их определения при всех видах испытаний.

18.СТО АИСТ 14.1–2004 «Испытания сельскохозяйственной техники. Сцепки тракторные. Методы оценки функциональных показателей». Распространяется на сцепки тракторные навесные, полунавесные, прицепные гидрофицированные, универсальные гидрофицированные, используемые для составления машинно–тракторных агрегатов, применяемых в технологиях возделывания различных сельскохозяйственных культур. Устанавливает номенклатуру 46 функциональных показателей и методы их определения при всех видах испытаний вышеперечисленных типов машин.

19.СТО АИСТ 10.4–2004 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для подготовки семян. Методы оценки функциональных показателей». Распространяется на комплекты оборудования, линии и машины для калибрования, шлифования, сегментирования, дражирования, протравливания, протравливания с инкрустацией, термического и электрофизического обеззараживания семенного материала. Устанавливает номенклатуру функциональных показателей и методы их определения при всех видах (предварительные, приемочные, периодические, типовые, квалификационные и сертификационные) испытаний вышеперечисленных комплексов, линий и машин.

20.СТО АИСТ 10.6–2004 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины, технологические линии и пункты для послеуборочной обработки овощных и бахчевых культур. Методы оценки функциональных показателей». Распространяется на машины, технологические линии и пункты для послеуборочной обработки овощных и бахчевых культур: лука–репки, лука–севка, чеснока, капусты, томатов, огурцов, корнеплодов, баклажанов, перца, арбузов, дынь, тыквы. Устанавливает номенклатуру функциональных показателей и методы их определения при всех видах испытаний вышеперечисленных машин, технологических линий и пунктов.

21.СТО АИСТ 2.10–2007 «Испытания сельскохозяйственной техники. Надежность. Методы оценки приспособленности к ремонту». Распространяется на тракторы, самоходные шасси, сельскохозяйственные машины и оборудование для животноводства и кормопроизводства и их агрегаты. Устанавливает номенклатуру показателей, а также методы сбора информации и расчета показателей для оценки приспособленности изделий к ремонту при всех видах испытаний.

22.РД 10.2.33–89 «ССБТ. Машины и оборудование для животноводства и кормопроизводства. Методы оценки безопасности и эргономичности». Распространяется на машины и оборудование для животноводства и кормопроизводства. Устанавливает типовые методы как основу для разработки рабочих программ и методик оценки безопасности и эргономичности при предварительных, государственных приемочных и государственных периодических испытаниях машин по опасным и вредным производственным факторам, регламентированным системой стандартов безопасности труда (ССБТ) и системой «человек–машина».

23.СТО АИСТ 5.3–2005 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины рассадопосадочные. Методы оценки функциональных показателей». Распространяется на автоматические и полуавтоматические рассадопосадочные машины для посадки: овощных культур (капусты, томатов, огурцов, перца, баклажанов), табака, махорки; клубники, дичков плодовых культур; сахарной свеклы. Устанавливает номенклатуру функциональных показателей и методы их определения при всех видах испытаний вышеперечисленным типом машин.

24.СТО АИСТ 8.13–2005 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для уборки и первичной обработки кукурузы. Методы оценки функциональных показателей». Распространяется на машины для уборки и первичной обработки кукурузы: комбайны кукурузоуборочные; очистители початков от оберток; молотилки для обмолота початков; линии, комплекты оборудования, комплексы для обработки кукурузы в початках. Устанавливает номенклатуру функциональных показателей и методы их определения при приемочных, квалификационных, типовых, периодических, предварительных испытаниях и испытаниях для целей сертификации вышеперечисленных типов машин.

## ЛЕКЦИЯ №11

### ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА МАШИН. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МАШИН. ЭКСПЛУАТАЦИОННО- ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МАШИН

#### 11.1 Техническая экспертиза машин

Практика эксплуатации транспортной техники показывает, что в настоящее время при минимальных затратах работоспособное состояние машины позволяют поддерживать принципы технического обслуживания и ремонта, которые носят планомерно-предупредительный характер.

Техническое обслуживание – это комплекс операций или операция по поддержанию работоспособности или исправности транспортных средств при использовании их по назначению, хранении и транспортировании.

Ремонт – это комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности транспортных средств и восстановлению их ресурсов или ресурсов составных частей.

В соответствии с руководством по эксплуатации машину ставят на техническое обслуживание и ремонт в плановом порядке с учетом принятой периодичности и графика проведения работ, чем и обуславливается плановый порядок их проведения. Предупредительность заключается в своевременном выполнении процессов и операций технического обслуживания и ремонта по принятой технологии, что предупреждает появление отказов. Вид и порядок чередования технического обслуживания и ремонта (график проведения работ) устанавливается по каждому типу и модельному ряду машин отдельно.

При более широком внедрении методов и средств технического диагностирования можно перейти от планомерно-предупредительной системы к стратегии технического обслуживания и ремонта по результатам диагностирования технического состояния машин. В этом случае в плановом порядке намечено осуществлять только контроль за состоянием сборочных единиц и составных частей, а сами работы возможно выполнять по потребности на основе диагностирования их технического состояния.

Цель технического диагностирования – выявить неисправности машины без ее разборки, определить ресурс безотказной работы сборочных единиц, фактическую потребность в производстве работ

при техническом обслуживании и ремонте, момент возникновения отказа или неисправности сборочных единиц.

Техническое диагностирование машины организуется во взаимосвязи с технологическими процессами технического обслуживания и ремонта, приведенными в руководстве по эксплуатации машины.

Диагностирование машин включает в себя:

- анализ их технического состояния,
- выбор методов диагностирования сборочных единиц,
- разработку условий выполнения диагностических операций,
- выбор средств диагностирования,
- разработку дополнений по диагностированию к эксплуатационной документации.

В основу организации технической диагностики машин положен принцип специализации и разделения труда, когда диагностирование проводится не мастерами и слесарями технического обслуживания и ремонта, а специальной службой технической диагностики, которая состоит из специально подготовленных специалистов: инженера–диагноста, мастера–диагноста и звена слесарей–диагностов.

Диагностирование является неотъемлемым технологическим элементом всей системы технического обслуживания и ремонта транспортной техники, обеспечивает проведение работ технического обслуживания и ремонта по фактическому техническому состоянию транспортных средств.

Техническое диагностирование транспортных средств планируют и выполняют по потребности; производится также ресурсное диагностирование.

Плановое диагностирование проводят после отработки транспортным средством установленного количества моточасов.

## 11.2 Энергетические показатели машин

При энергетической оценке сельскохозяйственных машин и стационарных агрегатов с приводом от двигателя внутреннего сгорания или трактора определяют следующие показатели:

- часовой расход топлива;
- мощность, потребляемую сельскохозяйственной машиной или стационарным агрегатом;
- удельные энергозатраты;

- тяговое сопротивление навесных, полунавесных и прицепных сельскохозяйственных машин, присоединяемых к трактору;
- мощность, потребляемую на привод рабочих органов навесных, полунавесных и прицепных сельскохозяйственных машин, присоединяемых к трактору.

При энергетической оценке стационарных агрегатов с приводом от асинхронных электрических двигателей определяют следующие показатели:

- активную и реактивную мощности, потребляемые стационарным агрегатом;
- средний коэффициент мощности;
- удельные энергозатраты.

### **Величины, измеряемые при испытаниях**

Показатели энергетической оценки определяют по результатам измерений, полученных при испытаниях. На каждом режиме работы сельскохозяйственной машины или агрегата должны быть выполнены не менее четырех измерений каждой величины, продолжительностью не менее 20с.

При определении показателей энергетической оценки самоходной сельскохозяйственной машины или стационарного агрегата с приводом от двигателя внутреннего сгорания или трактора измеряют:

- время измерения;
- количество топлива, израсходованного за время измерения;
- длину пути, пройденного самоходной машиной за время измерения.

При определении показателей энергетической оценки навесных, полунавесных или прицепных сельскохозяйственных машин, присоединяемых к трактору, измеряют:

Для сельскохозяйственных машин без привода рабочих органов от трактора: – время измерения;

- тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины при выполнении технологических операций;
- длину пути, пройденного сельскохозяйственной машиной за время измерения.

Для сельскохозяйственных машин с приводом рабочих органов от вала отбора мощности трактора дополнительно:

- крутящий момент вала отбора мощности;

– частоту вращения вала отбора мощности.

Для сельскохозяйственных машин с гидравлическим приводом от трактора на рабочие органы :

– расход рабочей жидкости, поступающей в механизмы привода рабочих органов;

– перепад давлений рабочей жидкости между входящей и выходящей линиями гидравлического привода.

### 11.3 Эксплуатационно–экономические показатели машин

Мощность, потребляемая самоходной сельскохозяйственной машиной или стационарным агрегатом с приводом от двигателя внутреннего сгорания или трактора определяют по зависимости эксплуатационной мощности полученной при определении его регуляторной характеристики.

Регуляторную характеристику двигателя определяют по ГОСТ 18509. Регуляторную характеристику двигателя следует определять перед проведением испытаний с установленным на сельскохозяйственных машинах или агрегатах устройством для измерения расхода топлива.

По регуляторной характеристике и нагрузке двигателя внутреннего сгорания более чем 100% из двух значений мощности, полученных при одинаковом часовом расходе топлива, выбирается то, которое соответствует измеренной частоте вращения коленчатого вала  $n_{об}$ .

Часовой расход топлива  $G_T$ , кг/ч, вычисляют по формулам:

$$G_T = 3,6 \frac{m_T}{t},$$

$$G_T = 3,6 \frac{V_T \cdot \rho}{t},$$

где  $m_T$  – масса топлива, израсходованного двигателем самоходной сельскохозяйственной машины или трактора за время измерения, г;  $t$  – время измерения, с;  $V_T$  – объем топлива, израсходованного двигателем самоходной сельскохозяйственной машины или трактора за время измерения, см<sup>3</sup>;  $\rho$  – плотность топлива при стандартной температуре, г/см<sup>3</sup>.

Мощность, потребляемую навесными, полунавесными, прицепными, сельскохозяйственными машинами, присоединяемыми к трактору  $N_M$ , кВт, вычисляют по формулам:

– для сельскохозяйственных машин без привода рабочих органов от трактора:

$$N_M = 10^{-3} \cdot R_T,$$

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

– для сельскохозяйственных машин с приводом рабочих органов от вала отбора мощности трактора:

$$N_M = 10^{-3} \cdot R_T + N_{ВОМ},$$

где  $N_{ВОМ}$  – мощность привода рабочих органов от ВОМ, кВт;

– для сельскохозяйственных машин с гидравлическим приводом от трактора на рабочие органы:

$$N_M = 10^{-3} \cdot R_T + N_G,$$

где  $N_G$  – мощность гидравлического привода на рабочие органы, кВт.

Допускается мощность, потребляемую навесными, полунавесными и прицепными сельскохозяйственными машинами  $N_M$ , кВт, вычислять по формуле:

$$N_M = N_{Ta} - N_{Tc},$$

где  $N_{Ta}$  – мощность, затрачиваемая машинно–тракторным агрегатом при выполнении технологических операций, кВт;  $N_{Tc}$  – мощность, потребляемая на самопередвижение трактора, кВт.

В этом случае при испытаниях дополнительно измеряют:

– частоту вращения коленчатого вала двигателя трактора,  $s^{-1}$ ;  
– объем топлива, израсходованного двигателем машинно–тракторного агрегата и трактора при движении его без сельскохозяйственной машины,  $cm^3$ .

Мощности  $N_{Ta}$  и  $N_{Tc}$  определяют по величинам часового расхода топлива  $G_{TA}$  и  $G_{TC}$ .

Определение мощности, потребляемой на привод рабочих органов навесных, полунавесных, прицепных сельскохозяйственных машин, присоединяемых к трактору.

Для сельскохозяйственных машин с приводом рабочих органов от ВОМ трактора  $N_{ВОМ}$ , кВт, вычисляют по формуле:

$$N_{ВОМ} = 1,047 \cdot 10^{-4} \cdot M_{ВОМ} \cdot n_{ВОМ},$$

где  $M_{ВОМ}$  – крутящий момент на хвостовике вала отбора мощности, Н•м;  $n_{ВОМ}$  – частота вращения хвостовика вала отбора мощности, об/мин.

Для сельскохозяйственных машин с гидравлическим приводом рабочих органов  $N_{Г}$ , кВт, вычисляют по формуле:

$$N_{Г} = \Delta p \cdot Q_{ж},$$

где  $\Delta p$  – перепад давлений между входящей и выходящей гидравлическими линиями привода, МПа;  $Q_{ж}$  – расход рабочей жидкости, дм<sup>3</sup>/с.

Определение показателей энергетической оценки сельскохозяйственных машин или агрегатов с циклическим режимом работы.

Среднюю мощность за время цикла –  $N_{МСС}$ , кВт, вычисляют по формуле:

$$N_{МСС} = \frac{\sum_{i=1}^l N_{Mt} \cdot t_i}{t_n},$$

где  $N_{Mt}$  – мощность, потребляемая сельскохозяйственной машиной или агрегатом при выполнении технологической операции, кВт;  $t_i$  – время одной технологической операции, с;  $t_n$  – время технологического цикла, с;  $l$  – число технологических операций в цикле.

Мощность наиболее энергоемкой операции цикла

Поступательную скорость движения сельскохозяйственной машины  $v$ , м/с, вычисляют по формуле:

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

где  $S$  – длина пути, пройденного сельскохозяйственной машиной за время измерения, м.

### **Определение тягового сопротивления навесных, полунавесных или прицепных сельскохозяйственных машин, присоединяемых к трактору**

Тяговое сопротивление навесных, полунавесных или прицепных сельскохозяйственных машин определяют прямым или косвенным измерением.



При определении мощности, потребляемой сельскохозяйственной машиной, по расходу топлива тяговое сопротивление  $R_M$ , Н, вычисляют по формуле:

$$R_M = 10^3 \cdot \frac{(N_{TA} - N_{BOM} - N_{TC})}{V},$$

Тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины  $R_M$ , Н, вычисляют по формуле:

$$R_M = R_{TA} - R_{TC},$$

где  $R_{TA}$  – тяговое сопротивление машинно–тракторного агрегата при выполнении технологических операций, Н;  $R_{TC}$  – тяговое сопротивление трактора при его движении без сельскохозяйственной машины, Н.

## ЛЕКЦИЯ № 12

### ОСНОВЫ МЕТОДИКИ СТАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ

Обработку результатов измерений проводят методами математической статистики для получения среднего значения величины из всех повторностей опыта.

Для параметров с явно выраженными циклами, записанными в аналоговой форме, первичную обработку проводят интервальным методом по характерным участкам периода цикла. Показатели энергетической оценки МТА помещают в ведомость (табл.1). Анализ результатов энергетической оценки проводят по оценочным показателям, номенклатуру которых устанавливают в соответствии с принятым методом их определения и нормируемым их значениям.

В анализе результатов энергетической оценки указывают достаточность тяговых и мощностных показателей энергетического средства для устойчивого выполнения технологического процесса на различных режимах работы, влияние фона, кроме того, сопоставляют энергоёмкости сравниваемых машин и указывают причины их повышения или понижения. Рекомендуются для наглядности результаты энергетической оценки представлять графиками, отражающими зависимость энергосиловых параметров машины от режимов работы. Результаты испытаний объемного гидропривода помещают в ведомость по форме таблицы 12.1.

Таблица 12.1 Показатели энергетической оценки МТА

Наименование показателей	Значение показателей						
	по ТЗ	по испытываемой машине			по сравниваемой машине		
		2	3	4	5	6	7
Удельный расход топлива, кг/га, кг/т Удельные энергозатраты на физическую единицу наработки за час основного времени. кВт.ч/га, кВт. ч/т Буксование, % Мощность, потребляемая машиной от ВОМ трактора, кВт Коэффициент использования эксплуатационной мощности двигателя, % Эффективная мощность двигателя, кВт Тяговое сопротивление машины, кН Тяговая мощность. кВт Удельное тяговое сопротивление машины. кН/м, Н/см. Условия и режимы проведения энергетической оценки: –вид работы скорость движения, м/с –ширина захвата, м –глубина хода рабочих органов, см –производительность, га/ч –подача, кг/с Характеристика почвы: –тип –влажность почвы, %, в слоях, см: – твердость почвы, МПа, в слоях, см:							

Таблица 12.2 Показатели оценки параметров объёмного гидропривода

Показатель	Значение показателя	
	по испытываемому гидроприводу	по гидроприводу–аналогу
1	2	3
Мощность, потребляемая гидронасосом, кВт Мощность, развиваемая гидромотором, кВт Полный КПД гидропередачи. Коэффициент использования установленной мощности насоса Коэффициент соотношения мощностей условной потенциальной насоса гидропривода трансмиссии и двигателя Показатели условий и режимов работы: Положение регулируемого органа насоса, рад. Температура рабочей жидкости. °С Марка рабочей жидкости		

Анализ показателей испытаний гидропривода проводят по средним значениям мощности, развиваемой гидромотором (гидроцилиндром) и потребляемой гидронасосом, КПД гидропередачи, по коэффициенту использования установленной мощности насоса и коэффициенту соотношения мощностей условной потенциальной насоса гидропривода трансмиссии и двигателя, температурному режиму.

## ЛЕКЦИЯ №13

### АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТНЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ФАКТОРАМИ И РЕЗУЛЬТАТАМИ ИСПЫТАНИЙ. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Целью исследований является проверка определённых 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  $\bar{X}$  среднеарифметическим отклонением  $\sigma$  сравниваемых выборок незначительна, то считают, что различие между ними имеет 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  $\sigma$  выборки, вторые основаны на функциях от вариант – 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  $F$  – критерий Фишера для сравнения дисперсий и  $t$  – критерий Стьюдента при сравнении средних величин.

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

$$\frac{\sigma_A^2}{\sigma_B^2} \succ F_{1-\alpha}$$

$F_{1-\alpha}$  – табличное значение критерия Фишера при степенях свободы

$$v_1 = n_A - 1 \text{ и } v_2 = n_B - 1$$

$n_A, n_B$  – объём каждой из выборок;

$\alpha$  – вероятность риска принять неверное решение.

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

критерием Фишера:

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

Для проверки однородности нескольких дисперсий при равных объёмах выборки используется критерий Кохрена:

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

где  $\sigma_{\max}^2$  –наибольшая из выборочных дисперсий;  $m$  – число выборок;

$$\sum_{i=1}^m \sigma_i^2 \text{ –сумма всех дисперсий, в том числе и } \sigma_{\max}^2.$$

Гипотеза односторонности дисперсий принимается, если табличное значение Кохрена  $\sigma_t > \sigma_F$ .

Соблюдение этого условия свидетельствует о том, что  $\sigma >$

результаты опытов относятся к одной генеральной совокупности .

Значимость различия двух средних значений при ( $\sigma_A^2 = \sigma_B^2$ ) 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 объём, например  $n_A = \infty$ , то этом случае

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

Число степеней свободы, используемого для определения табличного значения  $t_m$ ,

$$v = n_A + n_B - 2$$

В этом случае число степеней свободы определяемой по формуле:

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

$$\text{где } c = \frac{\frac{\sigma_a^2}{n_a}}{\frac{\sigma_a^2}{n_a} + \frac{\sigma_b^2}{n_b}}$$

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  $t_m : v = n - 1$ . 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» ( $\lambda$  – критерий или «Уайта» ( $T$  – критерий)). Для сравнения выборок с попарно вариантами используется « $W$  – критерий Вилкоксона» (критерий знаков).

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

К изучению связи методом корреляции обращается 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, так как малое число наблюдений не позволяет обнаружить закономерность связей.

Первая задача корреляции заключается в выявлении на основе значительного числа наблюдений того, как меняется в среднем результативный признак в связи с изменением одного или нескольких факторов. Это изменение предполагает условие неизменности ряда других факторов, хотя искажающее 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 ( $\gamma$ ). Он может принимать как положительные, так 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:

$$\gamma = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\delta_x \cdot \delta_y}; \overline{xy} = \frac{\sum x \cdot y}{n}; \bar{x} = \frac{\sum x}{n}; \bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

$$\delta_x = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n} - \bar{x}^2}; \delta_y = \sqrt{\frac{\sum y^2}{n} - \bar{y}^2}$$

Если  $\overline{xy} > \bar{x} \cdot \bar{y}$ , то  $\delta$  положителен, если  $\overline{xy} < \bar{x} \cdot \bar{y}$ , то  $\delta$  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:

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

где  $\delta_\gamma$  – средняя квадратическая ошибка “выборочного” коэффициента корреляции;  $t$  – доверительная величина, определяющая степень вероятности утверждения.



## ЛЕКЦИЯ №14

### СУЩНОСТЬ МЕТОДА РАНГОВОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ И ИССЛЕДОВАНИИ 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, технические 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 фактора, 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, и если он считает предлагаемый ему список факторов не полный. На основании заполненных экспертами анкет составляется матрица рангов (сводная анкета для априорного ранжирования факторов) (таблица 14.1).

Таблица 14.1 Матрица рангов.

Специалисты (эксперты)	факторы						Суммы
	$X_1$	$X_2$	....	$X_i$	....	$X_k$	
1	$a_{11}$	$a_{21}$	....	$a_{i1}$	....	$a_{k1}$	
2	$a_{12}$	$a_{22}$	....	$a_{i2}$	....	$a_{k2}$	
....	....	....	....	....	....	....	
$J$	$a_{1j}$	$a_{2j}$	....	$a_{ij}$	....	$a_{kj}$	
....	....	....	....	....	....	....	
$M$	$a_{1m}$	$a_{2m}$	....	$a_{im}$	....	$a_{km}$	
Сумма рангов $\sum_{j=1}^m a_{ij}$	$\sum_{j=1}^m a_{1j}$	$\sum_{j=1}^m a_{2j}$	....	$\sum_{j=1}^m a_{ij}$	....	$\sum_{j=1}^m a_{kj}$	$\bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m a_{ij}}{k}$
Отклонения от средней суммы рангов $\Delta_i = \sum_{j=1}^m (a_{ij} - \bar{a})$	$\Delta_1$	$\Delta_2$	....	$\Delta_i$	....	$\Delta_k$	
Квадрат отклонений	$\Delta_1^2$	$\Delta_2^2$	....	$\Delta_i^2$	....	$\Delta_k^2$	$S = \sum_{i=1}^k \Delta_i^2$

В формулах:  $i$  – номер фактора  $i = 1, 2, \dots, k$ ,  $j$  – номер эксперта  $j = 1, 2, \dots, m$ . Порядок расчета суммы рангов по столбцам  $\sum_{j=1}^m a_{ij}$ ; средней суммы рангов  $\bar{a}$ ; отклонений от средней суммы рангов  $\Delta_i$ , квадрата отклонений  $\Delta_i^2$ ; и их суммы  $S$  представлены в таблице.

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:

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

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

где  $k$  – число факторов.

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

$$W = \frac{S^2}{S_{\max}^2},$$

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 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:

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

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

Суммы  $T_j$  подсчитывают для тех специалистов, которые представили связанные ранги. Так 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  $\chi^2$ .

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

Величина  $m \cdot (k - 1)$  имеет распределение  $\chi^2$  с числом степеней свободы  $f = k - 1$ . При наличии связанных рангов критерий  $\chi^2$  рассчитывают по формуле:

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

Полученное значение  $\chi^2$  сравнивают с табличным при выбранном уровне значимости и числе степеней свободы  $j = k - 1$ . Если вычисленное значение  $\chi_0^2 > \chi_{табл}^2$ , т.е.  $\chi_p^2 > \chi_{табл}^2$  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 построить 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 остальных из дальнейшего исследования. Если получается диаграмма с монотонным убыванием, то в дальнейшее исследование следует включать как можно больше 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.

## ЛЕКЦИЯ №15

### ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА

#### 15.1 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, отличий 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 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 составляющих 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. Здесь 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, показывающие влияние изучаемых факторов, поскольку в одном исследовании невозможно 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, дисперсией, 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 А, В, С и т.д.

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

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

$$\eta_x^2 = \frac{D_X^2}{D_Y^2}; \quad \eta_x = \sqrt{\frac{D_X^2}{D_Y^2}}; \quad \eta_z^2 = \frac{D_Z^2}{D_Y^2}; \quad \eta_z = \sqrt{\frac{D_Z^2}{D_Y^2}};$$

где  $\eta_x^2$  – показывает влияние факторов  $\eta_z^2$  – влияние случайных причин.

$$\text{Причем } \eta_x^2 + \eta_z^2 = 1$$

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 служит 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:

$$\sigma_X^2 = \frac{D_X^2}{K_X} = \frac{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2}{K_X}$$

случайная дисперсия на одну степень свободы:

$$\sigma_Z^2 = \frac{D_Z^2}{K_Z} = \frac{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2}{K_Z}$$

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.

## 15.2 Последовательность проведения дисперсионного анализа

Последовательность проведения дисперсионного анализа состоит в следующем:

1. Находят общую дисперсию комплекса.
2. Определяют факторную дисперсию.
3. Вычисляют корреляционное отношение, показывающего 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 свобода вариаций для дисперсии комплекса, факторной и случайной дисперсии (проследить, что бы  $K_Y = K_X + K_Z$ )

7. Производят вычисления этих дисперсий 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  $K_Z$  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 фактором 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 А и В получим:

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

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:

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

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.

ЛЕКЦИЯ №16  
МЕТОД СЛУЧАЙНОГО БАЛАНСА.  
ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОМ  
СЛУЧАЙНОГО БАЛАНСА

16.1 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 полу реплик.

Первый метод считается менее эффективным и используется тогда, когда число уравнений варьирования факторов больше двух.

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 полу реплик рассматриваемые факторы делятся на две части (не обязательно равные) и из каждой половины строится полу реплика. Для одной половины факторов полу реплика 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), так как если мало существенные 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  $2n$ , и превышало бы число  $n+1$ , если  $n$  – число факторов. Это условие значительно облегчит обработку и улучшит анализ результатов опытов. Построение матрицы на конкретном примере изложено в литературе.

### 16.2 Порядок проведения исследования методом случайного баланса

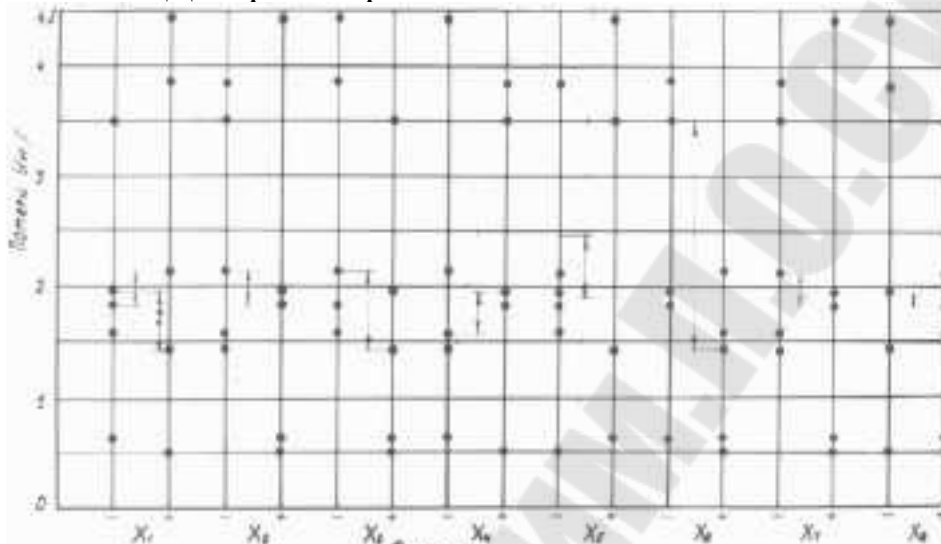
Порядок проведения исследования методом случайного баланса состоит в следующем: Определяют факторы участвующие в экспериментах и их уровни. Строят матрицу отсеивающего эксперимента (таблица 16.1). Проводят эксперимент и записывают значения критерия оптимизации по строке. В таблицу вписывают среднее значение критерия оптимизации, полученные в том или ином опыте. Повторности опытов вписывают в дополнительные столбцы (таблица 16.1). Для анализа результатов исследования строят диаграммы рассеивания [1]. Для этого по оси абсцисс наносят все факторы с их уровнями (таблица 16.2).

68 Таблица 16.1 Матрица отсеивающего эксперимента

№	Факторы								Значение критерия оптимизации, (г)			
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	У	У1	У2	У3
1	+	+	+	+	+	+	+	+	4,5	,495	2,428	34,345
2	+	+	+	+	+	+	+	+	0,5	1,578	3,583	3,443
3	-	-	-	-	-	-	-	-	0,65	2,733	3,52	3,251
4	-	-	-	-	-	-	-	-	3,52	3,52	2,915	3,504
5	+	+	+	+	+	+	+	+	3,92	2,915	2,528	3,441
6	+	+	+	+	+	+	+	+	1,45	2,528	3,683	2,915
7	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	3,683	2,7	2,449
8	-	-	-	-	-	-	-	-	1,85	1,85	3,228	3,683

9	+	+	+	+	+	+	+	+	2,15	3,228	2,81	2,7
10	-	-	-	-	-	-	-	-	1,96	1,96		3,228
												3,633

Таблица 16.2. Диаграмма рассеивания по исходным данным



Анализ степенных влияния факторов оценивают визуально по разности значений медиан и по числу точек выделяющихся на шумовом поле диаграммы. Оценка эффектов факторов количественно. Оценка эффектов производится с помощью таблиц с двумя входами факторов. Величина эффектов факторов подсчитывается по формуле:

$$X_t = \frac{(\bar{y}_1 + \bar{y}_3 + \bar{y}_5 + \dots + \dots + \bar{y}_n)}{k_t} - \frac{(\bar{y}_2 + \bar{y}_4 + \bar{y}_6 + \dots + \dots + \bar{y}_{n+2})}{k_t},$$

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.

Проверка значимости факторов по  $t$  – критерию Стьюдента для каждого фактора по формуле:

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

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

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

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

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  $\bar{y}_1$ .

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

Вычисление эффектов факторов  $X_2, X_7$  аналогично пункту 4 с последующим подсчетом значимости факторов по  $t$  – критерию Стьюдента для каждого фактора аналогично пункту 5.

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  $\bar{y}_2$ .

Построение диаграммы рассеяния и последующее выделение факторов  $X_3$  и  $X_4$  в аналогичной последовательности согласно пунктам 7; 8;9.

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

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

Построение точечной диаграммы распределения результатов наблюдений (рисунок 16.1) 70 Построение гистограммы ранжированного ряда эффектов факторов в порядке их значимости (рисунок 16.2)

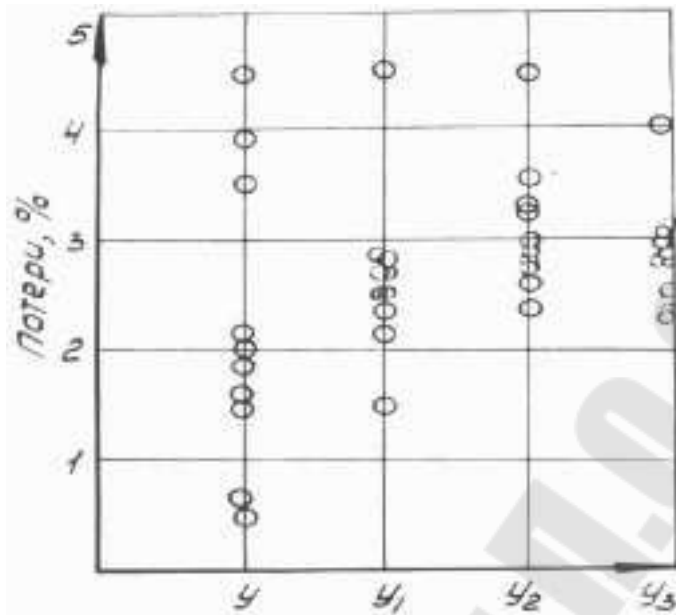


Рисунок 16.1. Точечная диаграмма распределения результатов наблюдений при изучении процесса разделения стеблей колебательным делителем

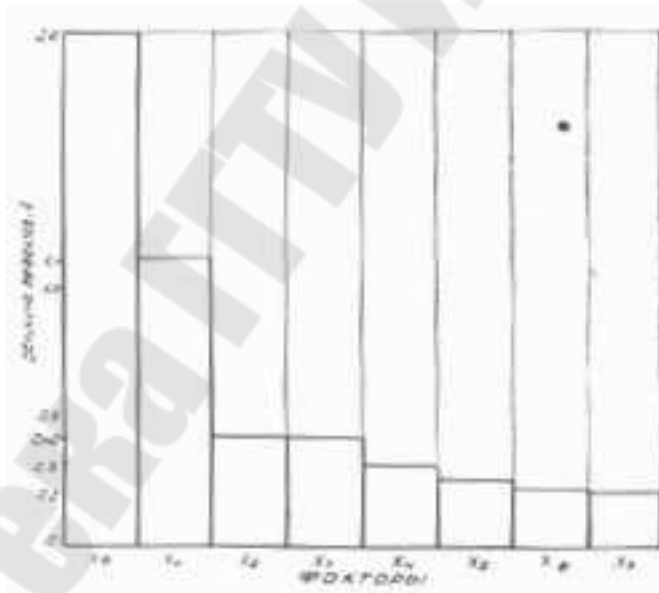


Рисунок 16.2. Гистограмма распределения эффектов факторов в порядке значимости

ЛЕКЦИЯ №17  
ПОЛНЫЙ ФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ. АЛГОРИТМ  
ЭКСПЕРИМЕНТА

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:

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

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  $x_1, x_2, x_3$ :

$$y = \Phi(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

или

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_i x_j,$$

где  $b_i, b_{ij}$  – коэффициенты регрессии.

Функция отклика должна обладать следующими свойствами:

Функция должна быть непрерывной, включая и первую производную.

Должны выполняться следующие требования регрессионного анализа:

Функция отклика – независима случайная величины, имеющая нормальный закон распределения.

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

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. По этому, выбирая в качестве функции отклика наиболее характерный параметр оптимизации остальные принимают только как ограничивающие условия. При выборе параметра оптимизации помогает учет следующих свойств:

Параметр оптимизации должен быть по возможности универсальным.

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

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  $N = 2^n$ .

Факторы должны отвечать следующим требованиям:

Факторы должны быть управляемы.

Факторы должны быть однозначны.

Факторы должны быть совместимы.

Факторы должны быть независимы.

Точность замеров уровней факторов должны 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 так же 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 таблице 1.

Эффекты основных факторов рассматриваются как взаимодействие нулевого порядка, парные взаимодействия ( $x_1 x_2, x_1 x_3, x_2 x_3$  и др.) первого порядка, тройные ( $x_1 x_2 x_3, x_1 x_2 x_4$  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 плюс а нижний знаком минус.

Таблица 17.1 Структура эффектов факторного эксперимента

n	$2^n$	Число основных эффектов	Число взаимодействий порядка					
			1-го	2-го	3-го	4-го	5-го	6-го
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	15	15	6	1	–
7	128	7	21	35	35	21	7	1

#### 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 английского *random* – случайный). Рандомизация проводится с помощью таблиц случайных чисел.

#### 17.2 Алгоритм эксперимента.

1. Выбор параметра оптимизации.

2. Выбор факторов, воздействующих на объект исследования.

3. Кодирования факторов и выбор интервалов их варьирования.

Разность между верхним (нижним) и нулевым уровнем фактора называют интервалом варьирования.

4. Определение числа повторностей опытов.

5. Рандомизация опытов.

6. Составление матрицы планирования.

7. Проведение эксперимента.

8. Расчет коэффициентов регрессии математической модели объекта исследования, представляемой в виде линейного или нелинейного уравнения регрессии. Следует отметить, что если в уравнении регрессии раскодировать значение факторов, то после подставки числовых значений коэффициентов получается физическое значение параметра отклика.

9. Оценка рассеивания результатов опытов и определение дисперсии параметра оптимизации.

10. Проверка однородности дисперсии с помощью критерия Кохрена. Однородность дисперсий показывает, что рассеяние результатов одного порядка. Если  $Sing(G - G_{табл}) < 0$ , то дисперсия однородна и можно продолжать дальнейшие вычисления. Если  $Sing(G - G_{табл}) > 0$  то дисперсия неоднородна и матрица планирования не может быть принята. В этом случае необходимо изменять масштаб для параметра оптимизации за счет введения функции от параметра оптимизации в виде квадратного корня или логарифма.  $G_{табл}$ , определяется по таблицам математической статистики.

11. Проверка адекватности модели (проверка пригодности уравнения регрессии для описания исследуемого процесса) с помощью оценки дисперсии адекватности по  $F$  критерию Фишера. Если  $Sing(F_{табл} - F) > 0$ , то модель адекватна. Если  $Sing(F_{табл} - F) < 0$ , то модель неадекватна.  $F_{табл}$ , определяется по таблицам математической статистики.

12. Проверка значимости коэффициентов регрессий с помощью критерия Стьюдента. Значимость коэффициентов регрессии показывает, что абсолютная величина этого коэффициента больше его доверительных интервалов. Если  $Sing(t - t_{табл}) > 0$ , то соответствующий коэффициент значим. Если  $Sing(t - t_{табл}) < 0$  то соответствующий коэффициент незначим.  $t_{табл}$ , определяется по приложению. Если все  $b_{ij}$  незначимы, то справедливо линейная модель уравнения регрессии, если же какой то их коэффициентов  $b_{ij}$  значим, то уравнение регрессий не линейно.

## ЛЕКЦИЯ №18 ДРОБНЫЙ ФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ. АЛГОРИТМ ЭКСПЕРИМЕНТА

### 18.1 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. 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 плюс и со знаком минус.

Для определения смешенных 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 полу реплик  $2^{4-1}$  возможны следующие варианты генерирующих соотношений:

- |                    |                       |
|--------------------|-----------------------|
| 1) $X_4 = X_1X_2$  | 5) $X_4 = X_1X_3$     |
| 2) $X_4 = -X_1X_2$ | 6) $X_4 = -X_1X_3$    |
| 3) $X_4 = X_2X_3$  | 7) $X_4 = X_1X_2X_3$  |
| 4) $X_4 = -X_2X_3$ | 8) $X_4 = -X_1X_2X_3$ |

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 имеют так называемую максимальную разрешающую способность, т.к. тройные взаимодействия менее значимы, чем парные.

Таблица 18.1 Условные обозначения дробных реплик и число опытов

Число опытов факторов	Дробная реплика	Условные обозначения	Число опытов	
			Для дробной реплики	Для полного факторного эксперимента
1	2	3	4	5
3	$\frac{1}{2}$ – реплика $2^3$	$2^{3-1}$	4	8
4	$\frac{1}{2}$ – реплика $2^4$	$2^{4-1}$	8	16
5	$\frac{1}{4}$ – реплика $2^5$	$2^{5-2}$	8	32

6	$\frac{1}{8}$ – реплика $2^6$	$2^{6-3}$	8	64
7	$\frac{1}{16}$ – реплика $2^7$	$2^{7-4}$	8	128
5	$\frac{1}{2}$ – реплика $2^5$	$2^{5-1}$	16	32
6	$\frac{1}{4}$ – реплика $2^6$	$2^{6-2}$	16	64
7	$\frac{1}{8}$ – реплика $2^7$	$2^{7-3}$	16	128
8	$\frac{1}{16}$ – реплика $2^8$	$2^{8-4}$	16	256
9	$\frac{1}{32}$ – реплика $2^9$	$2^{9-5}$	16	512
10	$\frac{1}{64}$ – реплика $2^{10}$	$2^{10-6}$	16	1024
11	$\frac{1}{128}$ – реплика $2^{11}$	$2^{11-7}$	16	2048
12	$\frac{1}{256}$ – реплика $2^{12}$	$2^{12-8}$	16	4096
13	$\frac{1}{512}$ – реплика $2^{13}$	$2^{13-9}$	16	8192
14	$\frac{1}{1024}$ – реплика $2^{14}$	$2^{14-10}$	16	16384
15	$\frac{1}{2048}$ – реплика $2^{15}$	$2^{15-11}$	16	32768

В качестве генерируемого соотношения принято произведение:

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

Для выбранного генерирующего соотношения определяющим контрастом будет:

$$X_4 \cdot X_4 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4, \text{ т.к.}$$

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

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, применяются следующие методы:

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

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 английского *random* – случайный). Рандомизация проводится с помощью таблиц случайных чисел.

## 18.2 Алгоритм эксперимента

1. Выбор параметра оптимизации.
2. Выбор факторов, воздействующих на объект исследования.
3. Кодирование факторов и выбор интервалов их варьирования. Разность между верхним (нижним) и нулевым уровнем фактора называют интервалом варьирования.
4. Определение числа повторностей опытов.
5. Рандомизация опытов.
6. Составление матрицы планирования.
7. Проведение эксперимента.
8. Расчет коэффициентов регрессии математической модели объекта исследования, представляемой в виде линейного или нелинейного уравнения регрессии. Следует отметить, что если в уравнении регрессии раскодировать значение факторов, то после подстановки числовых значений коэффициентов получается физическое значение параметра отклика.
9. Оценка рассеивания результатов опытов и определение дисперсии параметра оптимизации

10. Проверка однородности дисперсии с помощью критерия Кохрена. Однородность дисперсий показывает, что рассеяние результатов одного порядка. Если  $Sing(G - G_{табл}) < 0$ , то дисперсия однородна и можно продолжать дальнейшие вычисления. Если  $Sing(G - G_{табл}) > 0$  то дисперсия неоднородна и матрица планирования не может быть принята. В этом случае необходимо изменять масштаб для параметра оптимизации за счет введения функции от параметра оптимизации в виде квадратного корня или логарифма.  $G_{табл}$ , определяется по таблицам математической статистики.

11. Проверка адекватности модели (проверка пригодности уравнения регрессии для описания исследуемого процесса) с помощью оценки дисперсии адекватности по  $F$  критерию Фишера. Если  $Sing(F_{табл} - F) > 0$ , то модель адекватна. Если  $Sing(F_{табл} - F) < 0$ , то модель неадекватна.  $F_{табл}$ , определяется по таблицам математической статистики.

12. Проверка значимости коэффициентов регрессий с помощью критерия Стьюдента. Значимость коэффициентов регрессии показывает, что абсолютная величина этого коэффициента больше его доверительных интервалов. Если  $Sing(t - t_{табл}) > 0$ , то соответствующий коэффициент значим. Если  $Sing(t - t_{табл}) < 0$  то соответствующий коэффициент незначим.  $t_{табл}$ , определяется по приложению. Если все  $b_{ij}$  незначимы, то справедливо линейная модель уравнения регрессии, если же какой то их коэффициентов  $b_{ij}$  значим, то уравнение регрессий не линейно.

## ЛЕКЦИЯ №19 КЛАССИФИКАЦИЯ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ

Изучение потерь для их последующего уменьшения важно как с точки зрения экономии энергии, так и с точки зрения уменьшения нагрева и износа машины. Кроме того, потери на трение могут быть использованы как показатель качества сборки. При простейших испытаниях ограничиваются определением потерь холостого хода; в

остальных случаях дополнительно измеряют потери под нагрузкой и строят кривую зависимости КПД от нагрузки.

Подводимый к испытываемому узлу или детали момент обычно измеряют с помощью балансного двигателя (рис.1) обыкновенного электродвигателя, у которого статор выполнен качающимся на подшипниках качения. Момент на статоре, равный моменту на роторе, легко измерить, уравновесив статор грузами или динамометром.

Потери под нагрузкой и КПД определяют по разности мощностей на входе и выходе, величины которых могут быть близки, а поэтому должны измеряться с большой точностью.

Момент на выходе при испытаниях обычно создается и измеряется механическим, гидравлическим или электрическим тормозом.

Механические тормоза обычно применяют ленточно-колодочного типа (тормозы Прони, рисунок 19.2). Регулируют тормозной момент изменением натяжения ленты. В тормозах для малых моментов это осуществляется маховиком, насаженным на гайку винта, в более крупных тормозах дополнительно вводится червячная передача. Рычаг должен быть уравновешен специальным грузом. Для охлаждения на внутреннюю поверхность шкива подается эмульсия, которая отводится по трубе, расположенной навстречу вращения жидкости. Для предотвращения фрикционных колебаний на поверхность шкива подводится смазка через фитильную масленку. Механические тормоза выходят из употребления.

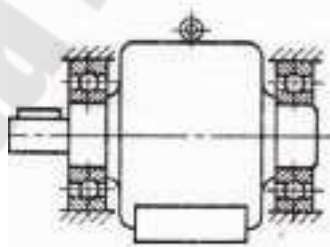


Рисунок 19.1. Балансный электродвигатель



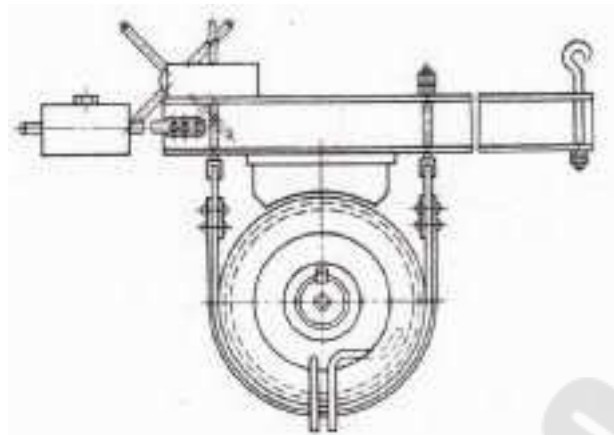


Рисунок 19.2. Тормоз Прони

Широко применяемые гидравлические тормоза гидродинамического действия воспринимают момент, пропорциональный квадрату частоты вращения и потому при небольших частотах вращения – воспринимают малые моменты. Эти тормоза обеспечивают устойчивую работу и достаточно долговечны. В качестве рабочей среды в них обычно используют воду из водопровода, которая одновременно выполняет функции теплоотвода. Регулирование момента достигается изменением заполнения вихревых камер. Корпус тормозов выполняют поворотным на собственных подшипниках качения, что позволяет измерять момент с помощью мессдоз, тензодатчиков, наклеенных на рычаги, или весовых устройств.

Мощные тормозы выполняют с двойным ротором. Гидравлические тормозы могут снабжаться устройствами для автоматического поддержания постоянного момента при меняющемся режиме. Гидравлические тормозы в централизованном порядке выпускают фирмы Шенк, Гофманн и др.

В качестве электрических тормозов применяют следующие агрегаты: машины постоянного тока с независимым возбуждением; момент регулируют реостатом в цепи возбуждения или якоря; асинхронные электродвигатели с фазовым ротором; регулируют момент реостатом в цепи ротора; при работе с частотой вращения ниже синхронной переключением проводов обеспечивают вращение магнитного поля, противоположное вращению ротора. Можно также питать статор электродвигателя постоянным током с регулированием реостатом; индукционные тормоза, работающие по принципу вихревых токов; торможение осуществляется магнитными полями.

Тормоза стабилизируют момент и позволяют применять автоматическое управление по заданной программе. Для повышения быстродействия роторы изготавливают в виде диска или цилиндра небольшого диаметра с минимальным моментом инерции. Для измерения момента статор выполняют поворотным на собственных подшипниках качения; порошковые электромагнитные тормоза (рисунок 19.3), являющиеся наиболее удобными; в них рабочей средой служит железный порошок, который под действием магнитного потока оказывает сопротивление сдвигу тем большее, чем он сильнее намагничен. Порошковые тормоза обладают стабильностью и точностью управления моментом, малой зависимостью момента от скорости, большой долговечностью, малыми габаритами.

НИМС-ом разработаны конструкции порошковых тормозов шести типоразмеров для наибольших моментов (в кгс·м) из следующего ряда 2,5; 6; 16; 40; 100; 250. Момент измеряется механическим динамометром со стрелочным индикатором.

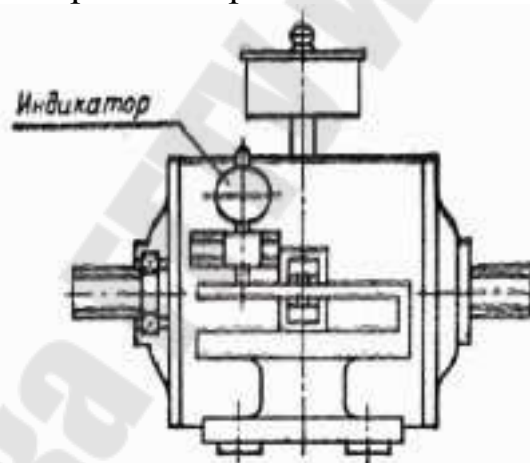


Рисунок 19.3. Порошковый тормоз.

Для повышения точности измерений широко применяется замкнутый способ испытаний, при котором мощность привода расходуется только на преодоление трения и может быть замерена с достаточной точностью.

У большинства испытательных установок измеряемый момент включает в себя момент трения вспомогательных опор. Возможно, применение опор с сильно уменьшенным и даже исключенным трением.

Практическое исключение трения достигается одним из следующих способов: периодическим изменением направления сил

трения по отношению к направлению движения. При этом силы трения то тормозят, то поддерживают движение и, следовательно, общий эффект их действия очень мал, например, в опорах вращательного движения наружным кольцам подшипников сообщается быстрое качательное движение; приданием силам трения направления, перпендикулярного к плоскости измерений. Для этого создается быстрое колебательное движение в плоскости, перпендикулярной плоскости измерения; приданием силам трения в двух приблизительно одинаково нагруженных опорах вала направления навстречу друг другу соответствующим вращением наружных колец.

При малых скоростях скольжения наилучшие результаты дает применение гидростатических опор, в которых коэффициент трения удавалось свести до 0,6.

## ЛЕКЦИЯ №20 ИСПЫТАНИЕ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ С/Х МАШИН 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 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 (рисунок 20.1) являются постоянные муфты различных конструкций.

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

- стенды с винтовыми механизмами (рисунок 20.2);
- стенды с поворотными корпусами (рисунок 20.3);
- стенды с перемещаемыми в окружном или поперечном направлениях отдельными зубчатыми колесами с планетарными и дифференциальными механизмами (рисунок 20.4);
- стенды с фрикционными муфтами, имеющими проскальзывание (рисунок 20.5);
- стенды с гидравлическими или пневматическими механизмами (рисунок 20.6);
- стенды с механизмами программного нагружения (рисунок 20.7).

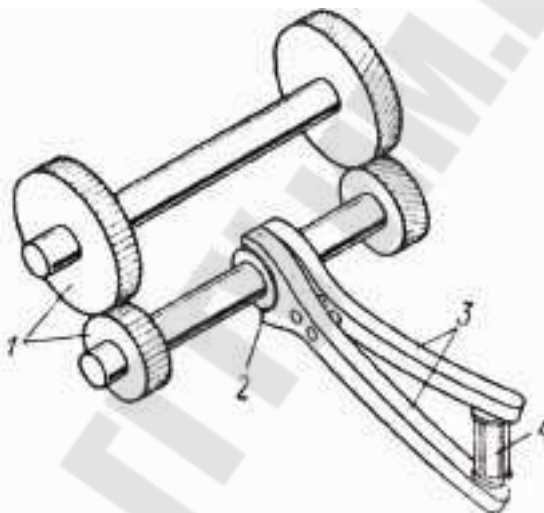


Рисунок 20.1 Стенд с предварительным нагружением

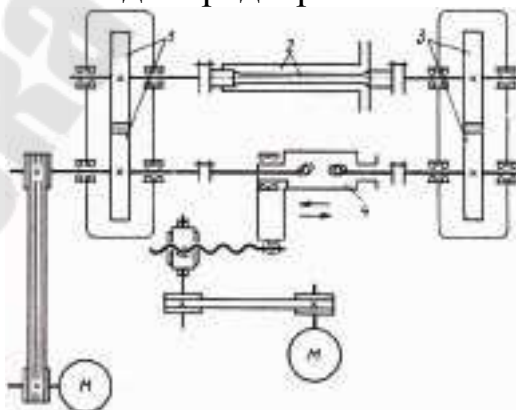


Рисунок 20.2. Стенд с винтовыми механизмами

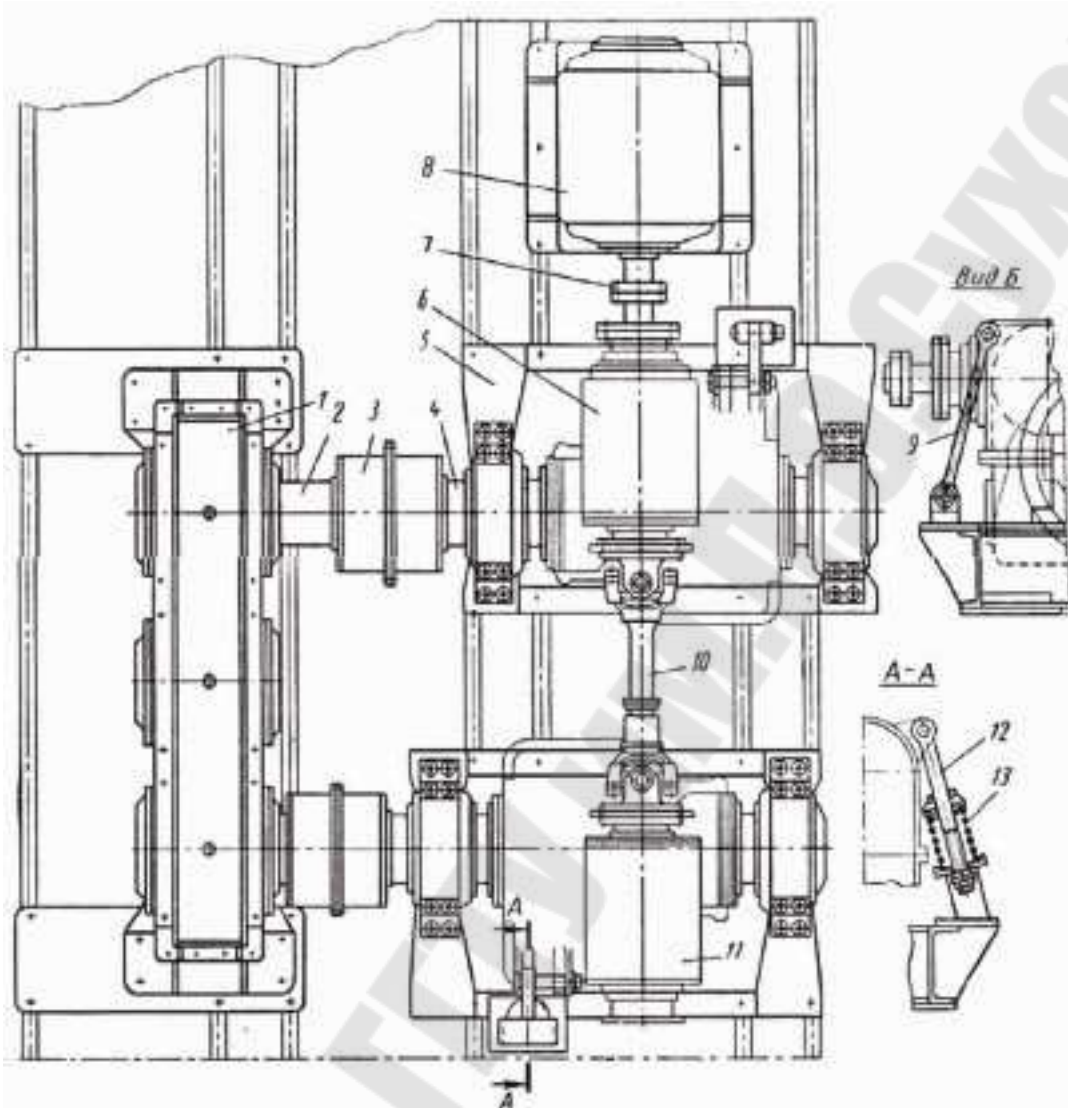


Рисунок 20.3 Стенд с поворотным корпусом

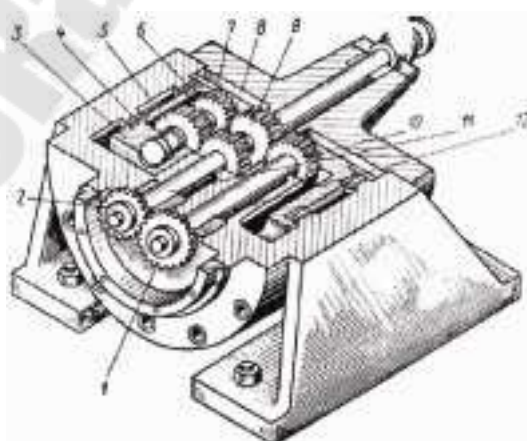


Рисунок 20.4 Стенд с перемещаемыми в окружном направлении отдельными зубчатыми колесами

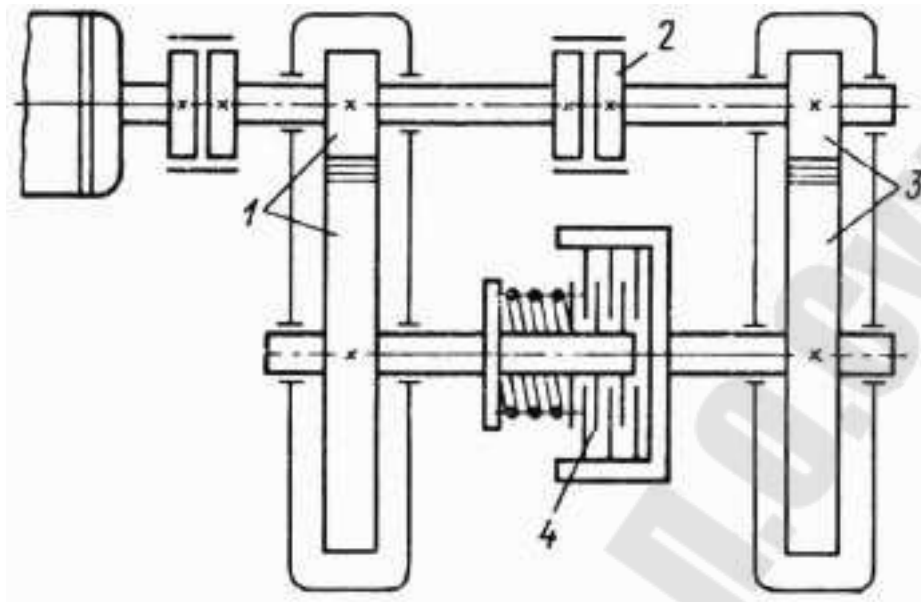


Рисунок 20.5 Стенд с фрикционной муфтой

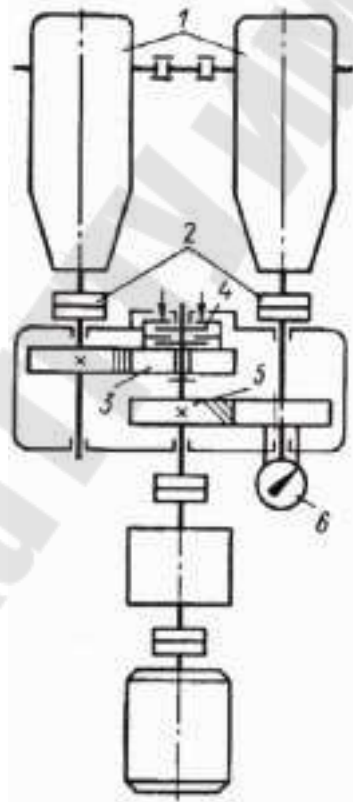


Рисунок 20.6. Стенд с пневматическим механизмом



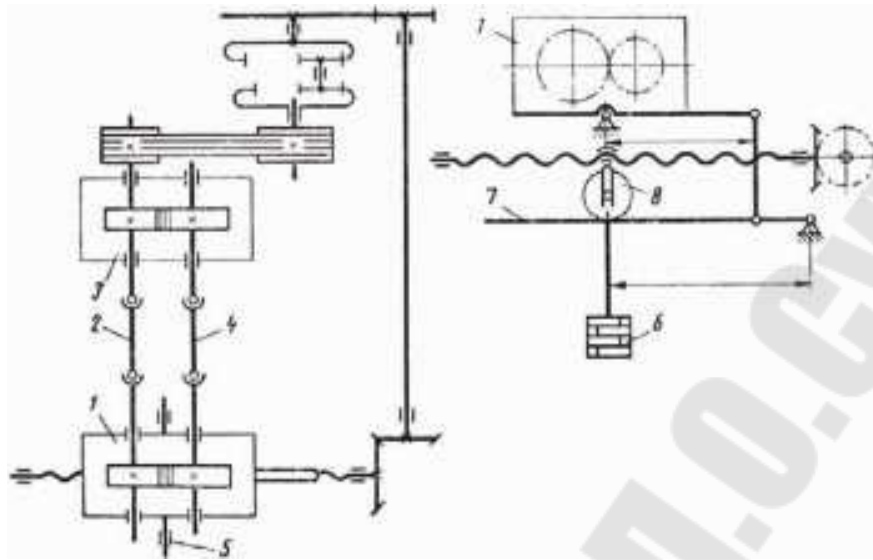


Рисунок 20.7 Стенд с механизмом программного нагружения

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, сообщаям 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, испытываемых 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  $20000 \text{ кВт}$ .

## ЛЕКЦИЯ №21 МАШИНЫ И СТЕНДЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ДЕТАЛЕЙ С/Х МАШИН

При испытаниях деталей машин по большинству критериев приходится измерять: перемещения и деформации (упругие и пластические перемещения и деформации, толщины масляных слоев, амплитуды колебаний, точные делительные перемещения, скорости вращательных и поступательных движений; силы и крутящие моменты.

Упругие и пластические перемещения на заданной базе измеряют тензомерами. Как и все средства измерений перемещений и деформаций, тензомеры делятся на механические, оптические, пневматические, акустические (струнные) и электрические.

Механические тензомеры увеличивают измеряемое перемещение с помощью механических рычажных или комбинированных рычажных и шестереннореечных передач. Коэффициент увеличения 100–2000.

Оптические тензомеры, в которых использован оптический рычаг или принцип интерферометра, обладают высокой чувствительностью, но уступают электрическим по универсальности и удобству использования. Их применяют только в лабораторных условиях.

Пневматические тензомеры основаны на изменении расхода воздуха через сопло при изменении зазора и на возникновении соответствующего перепада давления, которое измеряют манометром (обычно U–образным водяным). Коэффициент увеличения может быть очень большим. Пневматические приборы, как бесконтактные, удобны, в частности, для определения смещения вращающегося вала. Цена деления от 0,2 до 2 мкм.

Струнные тензомеры основаны на изменении собственной частоты колебаний струны от изменения ее натяжения, вызванного деформацией исследуемой детали.

При испытаниях деталей машин наиболее широко применяют электрические методы измерения перемещений и соответственно электрические тензомеры, основанные на измерении индуктивности, емкости и сопротивления.

Индуктивные датчики (рисунок 21.1, а) состоят из сердечника, якоря и катушки индуктивности. При смещении якоря меняются

индуктивность катушки и магнитное сопротивление магнитопровода прибора. Для измерения малых перемещений (в частности, упругих перемещений на малых базах) применяют датчики с поперечным смещением якоря. При конструктивной возможности датчики выполняют дифференциальными с перемещением якоря между двумя сердечниками, что повышает чувствительность и расширяет линейный участок характеристики. Для измерения перемещений, не превышающих нескольких миллиметров, применяют датчики с продольным смещением якоря, линейный участок характеристики которых значителен по протяженности. Применение индуктивных датчиков при испытаниях деталей машин ограничивается габаритами.

Емкостные датчики (рисунок 21.1,б) представляют собой электрически изолированные пластинки (конденсатор); при смещении пластин меняется емкость конденсатора. Одной из пластин может служить поверхность одной из деталей, в том числе вращающегося вала. Основное применение имеют датчики для измерения малых перемещений с поперечным смещением пластин. Для средних перемещений применяют датчики с продольным перемещением пластин. Для точных измерений больших перемещений применяют емкостные датчики телескопического типа с обкладками в виде труб, взаимно перемещаемых в осевом направлении. Емкостные датчики при испытаниях деталей машин успешно применяют, в частности, для измерения смещений валов в подшипниках скольжения.

Наибольшее распространение среди электрических методов измерения деформаций и перемещений имеют методы, основанные на тензоэффекте, т. е. на свойстве проводниковых и полупроводниковых материалов изменять электрическое сопротивление при деформациях. Среди приборов, основанных на тензоэффекте, доминирующее применение имеют тензорезисторные датчики (тензодатчики) с чувствительным элементом в виде решетки из тонкой проволоки или фольги или в виде пластинки из полупроводникового материала. Чувствительный элемент наклеен на бумагу, пленку или ткань, которые наклеивают на деталь. Широкое применение тензорезисторов связано с их малыми габаритами и массой, возможностью дистанционных измерений в большом числе точек, в широких частотных и температурных диапазонах.

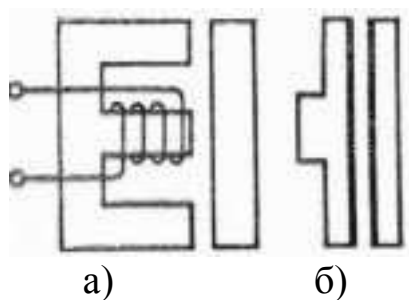


Рисунок 21.1 Датчики: а) индуктивные, б) ёмкостные.

Проволочные тензорезисторы имеют чувствительный элемент из тонкой проволоки диаметром 2–30 мкм, выполняемый для повышения выходного сигнала, в форме решетки. Наиболее распространены тензорезисторы с многовитковой петлевой решеткой вследствие простоты их изготовления. Тензорезисторы с многовитковой беспетлевой решеткой применяют в связи с тем, что они почти свободны от поперечной чувствительности. Для измерения деформаций в разных направлениях в одной точке применяют многоэлементные тензорезисторы (розетки). Проволочные тензорезисторы изготавливают в централизованном порядке, в том числе общего назначения с активной базой от 2 до 100 мм и сопротивлением от 20 до 400 Ом, а также для низких, повышенных и высоких температур.

Фольговые тензорезисторы (рисунок 21.2,б) имеют чувствительный элемент в виде решетки из константановой фольги толщиной 5–10 мкм. Они характеризуются более высокими показателями, чем проволочные (большим допустимым током и выходным сигналом, меньшей поперечной чувствительностью, возможностью выполнения с малой базой от 0,3 мм). Технология изготовления фольговых тензорезисторов основана на фотохимических процессах. Тензорезисторы изготавливают нескольких типов: одноэлементные с одной прямоугольной решеткой, но разным расположением выводов, двухэлементные, состоящие из двух решеток под углом 90°, и трехэлементные, состоящие из трех решеток.

Полупроводниковые тензорезисторы имеют чувствительный элемент в виде монокристалла кремния, германия или другого полупроводника толщиной 20–50 мкм, шириной до 0,5 мм и длиной 2–12 мм. Полупроводниковые тензорезисторы обладают высокой чувствительностью и большим выходным сигналом, но

ограниченным диапазоном деформирования и зависимостью показаний от температуры.

Тензорезисторы удобно встраиваются в тензометры, вибрографы и другие приборы.

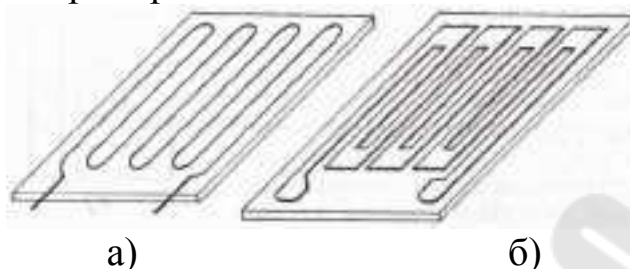


Рисунок 21.2. Тензорезисторные датчики:

а) проволочный, б) фольговый

### Исследования жесткости

Испытанию на жесткость в машиностроении подвергают детали, узлы и машины в целом. Определяется жесткость, как отношение силы к перемещению в точках и направлениях, наиболее влияющих на работоспособность узла или машины. Условия испытания универсальных технологических машин и их узлов должны соответствовать наиболее типичным видам обработки. Вводится понятие средней жесткости и среднего квадратического отклонения жесткости по зоне обработки. Для узлов и машин кроме суммарной жесткости определяется баланс упругих перемещений, позволяющий установить наиболее эффективные пути повышения жесткости.

Испытания на жесткость обычно проводят при статическом нагружении. Используют внешнее нагружение, в частности, с помощью испытательных машин растяжения–сжатия, или внутреннее нагружение. Испытательные машины должны иметь достаточно большое рабочее пространство.

Для единичных испытаний можно в качестве нагружающего устройства использовать металлорежущие станки. На рисунке 21.3 показан универсальный стенд, позволяющий создавать нагрузку в любой точке рабочего пространства и под любым углом.

Внутреннее нагружение при испытаниях выполняют винтовыми домкратами или гидравлическими цилиндрами. Нагрузки обычно измеряют динамометрами. На точных испытательных машинах пользуются шкалами нагрузок машин.

При использовании гидравлических цилиндров (домкратов) можно контролировать нагрузку по показанию прецизионных

манометров; при этом нужно заботиться об уменьшении трения в цилиндре, что достигается выполнением на плунжерах кольцевых канавок, выравнивающих давление, или гидростатической разгрузкой.

Для обеспечения точного направления и точных координат точки приложения сил на испытуемые детали в системе нагружения должны быть два шарнира (обычно они реализуются с помощью двух шариков, через которые нагрузка передается на динамометр и от динамометра на испытуемую деталь). Во всех случаях нагрузку правильнее передавать через шарики или детали со сферической опорной поверхностью.

Упругие перемещения в машинах складываются из собственных и контактных перемещений. Контактные упругие перемещения не подчиняются линейной зависимости от нагрузки.

Собственные упругие перемещения в связи с изменением условий контакта и со свойствами материала также могут не следовать линейной зависимости. В связи с этим при испытаниях определяют упругие перемещения при ступенчато нарастающих и убывающих нагрузках и строят соответствующие графики. При первом нагружении происходит выборка зазоров и пластические деформации микронеровностей, которые особенно существенны в условиях контакта по большой номинальной площади. Поэтому испытание ведут после двух–трех предварительных обжатий.

Упругие перемещения измеряют относительно недеформируемой базы или, если это затруднено, от сопряженных деталей. При испытаниях собственной жесткости обычно все измерения ведут от неподвижной базы, а при испытаниях контактной жесткости – преимущественно относительно сопряженной детали. Для построения упругой линии длинных деталей, типа станин станков пользуются теми же методами, как для проверки прямолинейности. Средства измерения упругих перемещений.

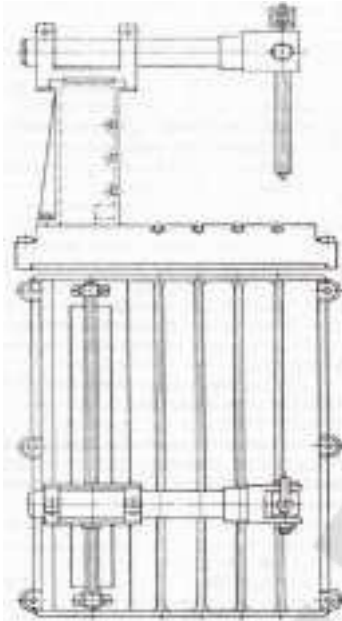


Рисунок 21.3. Универсальный стенд для испытания на жесткость

Исследование жесткости проводят на натуральных машинах и на моделях. Исследования на натуральных машинах дают на более близкие к действительности результаты. Однако они не позволяют получать результаты для еще не реализованных в металле конструкций и затрудняют организацию сравнительных испытаний для изучения влияния отдельных элементов конструкций и отдельных параметров. При моделировании обычно следует предпочитать одной универсальной модели несколько простейших моделей, позволяющих изучать интересующие факторы в чистом виде.

Испытание жесткости на металлических моделях требует очень больших нагрузок и весьма точных измерительных средств. С уменьшением размера моделей при сохранении геометрического подобия упругие перемещения (в условиях нагружения в пределах пропорциональности материала) уменьшаются. Поэтому наиболее подходящим материалом для моделей является материал с малым модулем упругости, но относительно высоким пределом пропорциональности. Таким материалом является органическое стекло–плексиглас. Его дополнительным достоинством является технологичность. Он легко обрабатывается и может хорошо склеиваться клеем, который имеет модуль упругости, мало отличающийся от модуля упругости плексигласа. При использовании составных моделей из плексигласа следует учитывать, что коэффициент трения плексигласа по плексигласу равен 0,5–0,6, т. е. он много больше, чем коэффициент трения металла по металлу.

При моделировании конструкций из элементов с разными модулями упругости, например станин с фундаментами или бетонным полотном цеха, следует подбирать пластические массы с требуемым соотношением модулей упругости.



**Кирилюк Сергей Иванович**

## **ИСПЫТАНИЯ МОБИЛЬНЫХ МАШИН**

**Пособие**

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

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 31.03.21.

Рег. № 59Е.

<http://www.gstu.by>