

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

УТВЕРЖДАЮ

Директор/Декан
института механики и энергетики
Аникуев Сергей Викторович

«__» _____ 20__ г.

Рабочая программа дисциплины

Б1.В.ДВ.02.02 Оценка качества и надежности машин

23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Цифровая экспертиза технического состояния сельскохозяйственной техники

магистр

очная

1. Цель дисциплины

Целью дисциплины «Оценка качества и надежности машин» являются:

- получить студентами знаний по оценке надежности технических систем;
- получить знания по разработке и осуществлению мероприятий повышению и использованию полученных знаний и навыков для решения профессиональных задач.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций ОП ВО и овладение следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ПК-1 Управление механизацией и автоматизацией технологических процессов	ПК-1.2 Проводит оценку и испытание бывшей в эксплуатации сельскохозяйственной техники	знает Порядок проведения оценки технических параметров образца сельскохозяйственной техники (изделия) в соответствии со стандартами в области испытания сельскохозяйственной техники 3 1.1.6 Стандартные методы испытания конкретных типов изделий при определении функциональных показателей образцов сельскохозяйственной техники 3 1.1.7 Стандартные методы оценки надежности сельскохозяйственной техники 3 1.1.10 Стандартные эксплуатационно-технологической оценки сельскохозяйственной техники 3 1.1.11 умеет Принимать по результатам предварительной оценки безопасности обоснованное решение о допуске (отказе в допуске) к испытаниям изделия У 1.1.5 Проводить техническую экспертизу (первичную, текущую и заключительную) с целью определения соответствия изделия техническому заданию или техническим условиям У 1.1.7 Пользоваться методами технической диагностики для оценки технического состояния изделия в целом и методами неразрушающего контроля при оценке качества деталей У 1.1.8 Проводить стендовые, лабораторно-полевые и полевые испытания по определению функциональных показателей сельскохозяйственной техники в соответствии со стандартами в области испытания конкретных типов изделий У 1.1.9 Выявлять недостатки конструкции и качества изготовления машин, их отказы и неисправности при оценке надежности сельскохозяйственной техники У 1.1.21

		Выявлять недостатки конструкции и качества изготовления сельскохозяйственной техники, отказы и неисправности в соответствии со стандартами в области эксплуатационно-технологической оценки сельскохозяйственной техники У 1.1.13 владеет навыками Оценка надежности образца сельскохозяйственной техники (изделия) ТД 1.1.8
--	--	---

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Оценка качества и надежности машин» является дисциплиной части, формируемой участниками образовательных отношений программы.

Изучение дисциплины осуществляется в 4семестре(-ах).

Для освоения дисциплины «Оценка качества и надежности машин» студенты используют знания, умения и навыки, сформированные в процессе изучения дисциплин:

Ознакомительная практика

Научно-исследовательская работа

Товароведение

Техническая экспертиза сельскохозяйственной техники

Эксплуатация и обслуживание транспортной техники

Техническое диагностирование СХМ с применением цифровых технологий

Методы испытания транспортно-технологических машин и комплексов

Современные технические жидкости и материалы для транспортных и транспортно-технологических машин

Современная концепция создания и испытания силовых агрегатов транспортных и транспортно-технологических машин

Экологическая безопасность автотранспорта

Патентно-исследовательская деятельность

Особенности конструкции современных транспортных средств

Математическое моделирование технических систем

Проектирование технологических процессов восстановления и упрочнения деталей машин

Введение в профессиональную деятельность

Цифровой документооборот при эксплуатации техники

Проектирование и оптимизация транспортно-технологических процессов

Освоение дисциплины «Оценка качества и надежности машин» является необходимой основой для последующего изучения следующих дисциплин:

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу с обучающимися с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины «Оценка качества и надежности машин» в соответствии с рабочим учебным планом и ее распределение по видам работ представлены ниже.

Семестр	Трудоемкость час/з.е.	Контактная работа с преподавателем, час			Самостоятельная работа, час	Контроль, час	Форма промежуточной аттестации (форма контроля)
		лекции	практические занятия	лабораторные занятия			
4	144/4	10		24	74	36	Эк
в т.ч. часов: в интерактивной форме		4		4			

практической подготовки	10		24	74		
-------------------------	----	--	----	----	--	--

Семестр	Трудоемкость час/з.е.	Внеаудиторная контактная работа с преподавателем, час/чел					
		Курсовая работа	Курсовой проект	Зачет	Дифференцированный зачет	Консультации перед экзаменом	Экзамен
4	144/4						0.25

5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

№	Наименование раздела/темы	Семестр	Количество часов					Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Оценочное средство проверки результатов достижения индикаторов компетенций	Код индикаторов достижения компетенций
			всего	Лекции	Семинарские занятия		Самостоятельная работа			
					Практические	Лабораторные				
1.	1 раздел. 1. Оценка качества и надежности машин									
1.1.	УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ И УСЛУГ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА	4	6	2		4	12		Устный опрос	
1.2.	ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ И РЕМОНТА МАШИН	4	2	2			12		Устный опрос	
1.3.	ОЦЕНОЧНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ	4	8			8	12	КТ 1	Устный опрос, Тест	
1.4.	ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ МАШИН	4	10	2		8	12	КТ 2	Устный опрос, Тест	
1.5.	МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ МАШИН	4	8	4		4	26	КТ 3	Устный опрос, Тест	
1.6.	Контроль	4							Устный опрос, Тест	
	Промежуточная аттестация	Эк								
	Итого		144	10		24	74			
	Итого		144	10		24	74			

5.1. Лекционный курс с указанием видов интерактивной формы проведения занятий

Тема лекции (и/или наименование раздел) (вид интерактивной формы проведения занятий)/ (практическая подготовка)	Содержание темы (и/или раздела)	Всего, часов / часов интерактивных занятий/ практическая подготовка
УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ	Виды контроля продукции и услуг сервисных предприятий	2/-

ПРОДУКЦИИ И УСЛУГ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА		
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ И РЕМОНТА МАШИН	Качество и надежность технических систем	2/-
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ МАШИН	Методы расчета показателей надежности машин	2/-
МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ МАШИН	Обеспечение исходного первоначального уровня надежности при конструировании машин	2/-
МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ МАШИН	Технологические методы обеспечения доремонтного уровня надежности машин	2/-
Итого		10

5.2.2. Лабораторные занятия с указанием видов проведения занятий в интерактивной форме

Наименование раздела дисциплины	Формы проведения и темы занятий (вид интерактивной формы проведения занятий)/(практическая подготовка)	Всего, часов / часов интерактивных занятий/ практическая подготовка	
		вид	часы
УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ И УСЛУГ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА	Расчет количественных показателей безотказности	лаб.	4
ОЦЕНОЧНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙС ТВЕННОЙ ТЕХНИКИ	Единичные показатели надежности машин	лаб.	4
ОЦЕНОЧНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙС ТВЕННОЙ ТЕХНИКИ	Комплексные показатели надежности машин	лаб.	4
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ МАШИН	Система сбора и обработки информации о надежности машин	лаб.	4
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ	Испытание сельскохозяйственной техники на надежность	лаб.	4

МАШИН			
МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ МАШИН	Повышение качества ремонта автотракторных двигателей	лаб.	4

5.3. Курсовой проект (работа) учебным планом не предусмотрен

5.4. Самостоятельная работа обучающегося

Темы и/или виды самостоятельной работы	Часы
Обеспечение стабильности качества продукции и услуг на предприятиях технического сервиса	12
Показатели надежности машин	12
Виды испытаний и методы контроля показателей.	12
Теоретические законы распределения показателей надежности ма-шин	12
Повышение качества ремонта гильз цилиндров автотракторных двигателей	14
Технологические методы обеспечения послеремонтного уровня надежности ма-шин	12

6. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающегося по дисциплине «Оценка качества и надежности машин» размещено в электронной информационно-образовательной среде Университета и доступно для обучающегося через его личный кабинет на сайте Университета. Учебно-методическое обеспечение включает:

1. Рабочую программу дисциплины «Оценка качества и надежности машин».
2. Методические рекомендации для организации самостоятельной работы обучающегося по дисциплине «Оценка качества и надежности машин».
3. Методические рекомендации по выполнению письменных работ () (при наличии).
4. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы студентами заочной формы обучения (при наличии)
5. Методические указания по выполнению курсовой работы (проекта) (при наличии).

Для успешного освоения дисциплины, необходимо самостоятельно детально изучить представленные темы по рекомендуемым источникам информации:

№ п/п	Темы для самостоятельного изучения	Рекомендуемые источники информации (№ источника)		
		основная (из п.8 РПД)	дополнительная (из п.8 РПД)	метод. лит. (из п.8 РПД)
1	УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ И УСЛУГ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА . Обеспечение стабильности качества продукции и услуг на предприятиях технического сервиса		Л2.1	
2	ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ И РЕМОНТА МАШИН . Показатели надежности машин			
3	ОЦЕНОЧНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ . Виды испытаний и методы контроля показателей.	Л1.2		
4	ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ МАШИН. Теоретические законы распределения показателей надежности машин	Л1.2		
5	МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ МАШИН. Повышение качества ремонта гильз цилиндров автотракторных двигателей	Л1.2		Л3.1
6	МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ МАШИН. Технологические методы обеспечения послеремонтного	Л1.2		Л3.1

	уровня надежности ма-шин			
--	-----------------------------	--	--	--

7. Фонд оценочных средств (оценочных материалов) для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Оценка качества и надежности машин»

7.1. Перечень индикаторов компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

Индикатор компетенции (код и содержание)	Дисциплины/элементы программы (практики, ГИА), участвующие в формировании индикатора компетен-ции	

7.2. Критерии и шкалы оценивания уровня усвоения индикатора компетенций, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Оценка знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций по дисциплине «Оценка качества и надежности машин» проводится в форме текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль проводится в течение семестра с целью определения уровня усвоения обучающимися знаний, формирования умений и навыков, своевременного выявления преподавателем недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по её коррективке, а также для совершенствования методики обучения, организации учебной работы и оказания индивидуальной помощи обучающемуся.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Оценка качества и надежности машин» проводится в виде Экзамен.

За знания, умения и навыки, приобретенные студентами в период их обучения, выставляются оценки «ЗАЧТЕНО», «НЕ ЗАЧТЕНО». (или «ОТЛИЧНО», «ХОРОШО», «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО», «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» для дифференцированного зачета/экзамена)

Для оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в университете применяется балльно-рейтинговая система оценки качества освоения образовательной программы. Оценка проводится при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций обучающихся. Рейтинговая оценка знаний является интегрированным показателем качества теоретиче-ских и практических знаний и навыков студентов по дисциплине.

Состав балльно-рейтинговой оценки студентов очной формы обучения

Для студентов очной формы обучения знания по осваиваемым компетенциям формируются на лекционных и практических занятиях, а также в процессе самостоятельной подготовки.

В соответствии с балльно-рейтинговой системой оценки, принятой в Университете студентам начисляются баллы по следующим видам работ:

№ контрольной точки	Оценочное средство результатов индикаторов достижения компетенций	Максимальное количество баллов
4 семестр		
КТ 1	Устный опрос	5
КТ 1	Тест	5
КТ 2	Устный опрос	5
КТ 2	Тест	5
КТ 3	Устный опрос	5
КТ 3	Тест	5
Сумма баллов по итогам текущего контроля		30
Посещение лекционных занятий		20
Посещение практических/лабораторных занятий		20
Результативность работы на практических/лабораторных занятиях		30
Итого		100

№ контрольной точки	Оценочное средство результатов индикаторов достижений компетенций	Максимальное количество баллов	Критерии оценки знаний студентов
4 семестр			
КТ 1	Устный опрос	5	Правильный ответ на вопрос - 5 балл. неправильный ответ - 0 баллов.
КТ 1	Тест	5	5 баллов выставляется студенту, который правильно ответил на 10 тестовых заданий. Далее количество баллов высчитывается в зависимости от количества правильных ответов. За каждый правильный вариант ответа начисляется 0,5 балла.
КТ 2	Устный опрос	5	Правильный ответ на вопрос - 5 балл. неправильный ответ - 0 баллов.
КТ 2	Тест	5	5 баллов выставляется студенту, который правильно ответил на 10 тестовых заданий. Далее количество баллов высчитывается в зависимости от количества правильных ответов. За каждый правильный вариант ответа начисляется 0,5 балла.
КТ 3	Устный опрос	5	Правильный ответ на вопрос - 5 балл. неправильный ответ - 0 баллов.
КТ 3	Тест	5	5 баллов выставляется студенту, который правильно ответил на 10 тестовых заданий. Далее количество баллов высчитывается в зависимости от количества правильных ответов. За каждый правильный вариант ответа начисляется 0,5 балла.

Критерии и шкалы оценивания результатов обучения на промежуточной аттестации

При проведении итоговой аттестации «зачет» («дифференцированный зачет», «экзамен») преподавателю с согласия студента разрешается выставлять оценки («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «зачет») по результатам набранных баллов в ходе текущего контроля успеваемости в семестре по выше приведенной шкале.

В случае отказа – студент сдает зачет (дифференцированный зачет, экзамен) по приведенным выше вопросам и заданиям. Итоговая успеваемость (зачет, дифференцированный зачет, экзамен) не может оцениваться ниже суммы баллов, которую студент набрал по итогам текущей и промежуточной успеваемости.

При сдаче (зачета, дифференцированного зачета, экзамена) к заработанным в течение семестра студентом баллам прибавляются баллы, полученные на (зачете, дифференцированном зачете, экзамене) и сумма баллов переводится в оценку.

Критерии и шкалы оценивания ответа на экзамене

Сдача экзамена может добавить к текущей балльно-рейтинговой оценке студентов не более 20 баллов:

Содержание билета	Количество баллов
Теоретический вопрос №1	до 7
Теоретический вопрос №2	до 7
Задача (оценка умений и	до 6
Итого	20

Критерии оценки ответа на экзамене

Теоретические вопросы (вопрос 1, вопрос 2)

7 баллов выставляется студенту, полностью освоившему материал дисциплины или курса в соответствии с учебной программой, включая вопросы рассматриваемые в рекомендованной программой дополнительной справочно-нормативной и научно-технической литературы, свободно владеющему основными понятиями дисциплины. Требуется полное понимание и четкость изложения ответов по экзаменационному заданию (билету) и дополнительным вопросам, заданных экзаменатором. Дополнительные вопросы, как правило, должны относиться к материалу дисциплины или курса, не отраженному в основном экзаменационном задании (билете) и выявляют полноту знаний студента по дисциплине.

5 балла заслуживает студент, ответивший полностью и без ошибок на вопросы экзаменационного задания и показавший знания основных понятий дисциплины в соответствии с обязательной программой курса и рекомендованной основной литературой.

3 балла дан недостаточно полный и недостаточно развернутый ответ. Логика и последовательность изложения имеют нарушения. Допущены ошибки в раскрытии понятий, употреблении терминов. Студент не способен самостоятельно выделить существенные и несущественные признаки и причинно-следственные связи. Студент может конкретизировать обобщенные знания, доказав на примерах их основные положения только с помощью преподавателя. Речевое оформление требует поправок, коррекции.

2 балла дан неполный ответ, представляющий собой разрозненные знания по теме вопроса с существенными ошибками в определениях. Присутствуют фрагментарность, нелогичность изложения. Студент не осознает связь данного понятия, теории, явления с другими объектами дисциплины. Отсутствуют выводы, конкретизация и доказательность изложения. Речь неграмотная. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа студента не только на поставленный вопрос, но и на другие вопросы дисциплины.

1 балл дан неполный ответ, представляющий собой разрозненные знания по теме вопроса с существенными ошибками в определениях. Присутствуют фрагментарность, нелогичность изложения. Студент не осознает связь данного понятия, теории, явления с другими объектами дисциплины. Отсутствуют выводы, конкретизация и доказательность изложения. Речь неграмотная. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа студента не только на поставленный вопрос, но и на другие вопросы дисциплины.

0 баллов - при полном отсутствии ответа, имеющего отношение к вопросу.

Оценивание задачи

6 баллов Задачи решены в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности.

5 баллов Задачи решены с небольшими недочетами.

4 балла Задачи решены с небольшими недочетами.

3 балла Задачи решены не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы.

2 балла Задачи решены не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы.

1 баллов Задачи решены частично, с большим количеством вычислительных ошибок, объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов.

0 баллов Задачи не решены или работа выполнена не полностью, и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов.

Перевод рейтинговых баллов в пятибалльную систему оценки знаний обучающихся:
для экзамена:

- «отлично» – от 89 до 100 баллов – теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все

предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному;

- «хорошо» – от 77 до 88 баллов – теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые виды заданий выполнены с ошибками;

- «удовлетворительно» – от 65 до 76 баллов – теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки;

- «неудовлетворительно» – от 0 до 64 баллов - теоретическое содержание курса не освоено, необходимые практические навыки работы не сформированы, выполненные учебные задания содержат грубые ошибки, дополнительная самостоятельная работа над материалом курса не приведет к существенному повышению качества выполнения учебных заданий

7.3. Примерные оценочные материалы для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины «Оценка качества и надежности машин»

1. Взаимосвязь качества и надежности машин. Определение надежности. Обосновать необходимость применения в теории надежности аппарата математической статистики и теории вероятностей.

2. Сущность и причины обострения проблемы надежности.

3. Понятие об эксплуатации и системе технического обслуживания и ремонта

4. Понятие о технической системе, ее элементах и объекте. Техническое состояние объекта, дефекты.

5. Виды состояний, их определения и соотношения между ними.

6. Виды объектов, их определения и соотношения между ними.

7. Повреждение, отказ, переход в предельное состояние, восстановление и ремонт. Их определения и соотношения между ними.

8. Классификация отказов.

9. Надежность, как комплексное свойство объектов. Структура надежности.

10. Показатели надежности, их классификация и определения.

11. Причины нарушения работоспособности машин.

12. Классификация видов трения и смазки.

13. Понятие об изнашивании и износе.

14. Классификация видов изнашивания деталей и их краткая характеристика.

15. Сущность, механизм абразивного изнашивания и методы его снижения.

16. Сущность, механизм усталостного изнашивания и методы его снижения.

17. Сущность, механизм кавитационного изнашивания и методы борьбы с ним.

18. Сущность и механизм изнашивания при заедании (молекулярно-механического изнашивания), его разновидности и методы борьбы с ним.

19. Сущность и механизм протекания фреттинг-коррозии, методы борьбы с ней.

20. Сущность, механизм усталостного разрушения и методы борьбы с ним.

21. Назначение и классификация испытаний на надежность.

22. Виды испытаний на надежность.

23. Планы испытаний на надежность.

24. Характеристики, оцениваемые при испытании на надежность.

25. Определение числа испытываемых объектов.

26. Ускоренные испытания. Методы и средства ускоренных испытаний.

27. Испытания машин на полигонах и машиноиспытательных станциях.

28. Испытания машин на износостойкость, усталостную и коррозионную стойкость.

29. Контрольные испытания на надежность.

30. Методы и средства диагностирования технического состояния машин.

1. Взаимосвязь качества и надежности машин. Определение надежности. Обосновать необходимость применения в теории надежности аппарата математической статистики и теории вероятностей.

2. Сущность и причины обострения проблемы надежности.

3. Понятие об эксплуатации и системе технического обслуживания и ремонта.

4. Понятие о технической системе, ее элементах и объекте. Техническое состояние объекта, дефекты.

5. Виды состояний, их определения и соотношения между ними.

6. Виды объектов, их определения и соотношения между ними.

7. Повреждение, отказ, переход в предельное состояние, восстановление и ремонт. Их определения и соотношения между ними.

8. Классификация отказов.

9. Надежность, как комплексное свойство объектов. Структура надежности.

10. Показатели надежности, их классификация и определения.

11. Определение безотказности, единицы измерения наработки. Виды законов распределения наработки и графики плотности их распределения.

12. Вероятность безотказной работы, вероятность отказа, плотность вероятности отказа. Их определения, взаимосвязи и зависимости для статистических оценок.

13. Интенсивность отказов - определение и зависимость для статистической оценки. Основной закон надежности.

14. Аналитический вид основного закона надежности для экспоненциального распределения и распределения Вейбулла.

15. Аналитический вид основного закона надежности для нормального распределения.

16. Средняя наработка до отказа: определение, аналитические зависимости для ее вычисления

в условиях ЭЗР, НЗР, ЗРВ и зависимость для ее статистической оценки.

17. Гамма-процентная наработка до отказа: определение, аналитические зависимости для ее вычисления в условиях ЭЗР, НЗР и ЗРВ.

18. Параметр потока отказов: определение, аналитическая и статистическая зависимости для его вычисления.

19. Понятие о простейшем потоке отказов, его свойства. Вычисление параметра потока отказов для простейшего потока.

20. Средняя наработка на отказ: определение, аналитическая и статистическая зависимости для ее вычисления.

21. Вероятность безотказной работы восстанавливаемых объектов: определение, аналитическая и статистическая зависимости.

22. Дать определения долговечности и предельного состояния объекта. Установить различие в понятиях долговечность и безотказность.

23. Дать определения ресурсу и сроку службы. Привести статистические и аналитические зависимости для среднего ресурса и среднего срока службы.

24. Гамма-процентные показатели долговечности: определения, аналитические зависимости для нормального закона и закона распределения Вейбулла.

25. Порядок определения статистической оценки гамма-процентных показателей долговечности. Понятие о назначенном ресурсе и назначенном сроке службы.

26. Сохраняемость, срок сохраняемости, показатели сохраняемости, зависимости для их определения

27. Дать определение ремонтпригодности. Дать характеристику свойств ремонтпригодности: контролепригодности, легкосъемности, доступности, блочности, взаимозаменяемости.

28. Дать определение ремонтпригодности. Установить связь показателей ремонтпригодности с показателями процессов ТО и Р.

29. Определение вероятности восстановления, аналитическая и статистическая зависимости для вычисления этого показателя.

30. Интенсивность восстановления: дать определение и вывести общую аналитическую зависимость, устанавливающую связь вероятности с интенсивностью восстановления.

31. Привести аналитические зависимости вероятности восстановления и плотности вероятности восстановления для ЭЗР и ЗРВ.

32. Среднее и гамма-процентное время восстановления: определения, аналитические и статистические зависимости для вычисления их значений.

33. Коэффициент готовности, коэффициент оперативной готовности: определения, аналитические и статистические зависимости для вычисления их значений. Оцениваемые ими свойства надежности.

34. Коэффициент технического использования, коэффициент сохранения эффективности: определения, аналитические и статистические зависимости для вычисления их значений.

Оцениваемые ими свойства надежности.

35. Причины нарушения работоспособности машин.

36. Классификация видов трения и смазки.

37. Понятие об изнашивании и износе.

38. Классификация видов изнашивания деталей и их краткая характеристика.

39. Сущность, механизм абразивного изнашивания и методы его снижения.

40. Сущность, механизм усталостного изнашивания и методы его снижения.

41. Сущность, механизм кавитационного изнашивания и методы борьбы с ним.

42. Сущность и механизм изнашивания при заедании (молекулярно-механического изнашивания), его разновидности и методы борьбы с ним.

43. Сущность и механизм протекания фреттинг-коррозии, методы борьбы с ней.

44. Сущность, механизм усталостного разрушения и методы борьбы с ним.

45. Методы и средства определения износов.

46. Методы снижения интенсивности изнашивания.

47. Методы повышения усталостной прочности деталей.

48. Критерии и методы обоснования предельного состояния деталей и соединений.

49. Допустимые при ремонте значения параметров деталей и соединений.

50. Порядок определения остаточного и полного ресурсов деталей.

51. Назначение и классификация испытаний на надежность.

52. Виды испытаний на надежность.

53. Планы испытаний на надежность.

54. Характеристики, оцениваемые при испытании на надежность.

55. Определение числа испытываемых объектов.

56. Ускоренные испытания. Методы и средства ускоренных испытаний.

57. Испытания машин на полигонах и машиноиспытательных станциях.

58. Испытания машин на износостойкость, усталостную и коррозионную стойкость.

59. Контрольные испытания на надежность.

60. Методы и средства диагностирования технического состояния машин.

61. Прогнозирование показателей надежности.

62. Организация и проведение испытаний.

63. Задачи сбора и обработки информации, содержание донесений об отказах машин. Несчетные отказы.

64. Генеральная и выборочная статистические совокупности. Требования к выборочной совокупности. Полная, усеченная и многократно усеченная информация о надежности объектов.

65. Общая методика обработки полной информации при оценке показателей надежности.

66. Анализ исходной статистической информации о надежности, составление вариационного и статистического рядов.

67. Определение числовых характеристик показателей надежности (среднего значения, среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации) по вариационному и статистическому рядам.

68. Определение однородности статистической информации о надежности объектов.

69. Построение гистограммы, полигона опытных вероятностей и кривой накопленных опытных вероятностей при оценке показателей надежности объектов.

70. Выдвижение гипотезы о нормальном законе распределения и выравнивание опытной информации теоретическим законом при оценке показателей надежности объектов.

71. Выдвижение гипотезы о предполагаемом законе распределения и выравнивание опытной информации теоретическим законом распределения Вейбулла при оценке показателей

надежности объектов.

72. Проверка правдоподобия выдвинутой гипотезы о предполагаемом законе распределения: сущность и критерии согласия.

73. Интервальная оценка и оценка ошибки переноса показателей надежности.

74. Сущность графических методов обработки информации о надежности объектов.

75. Определение условных порядковых номеров объектов и накопленных опытных вероятностей достижения ими предельного состояния при оценке надежности графическим методом.

76. Вычисление координат опытных точек в миллиметрах, соответствующих значениям наработки и функции нормального распределения при оценке надежности графическим методом.

77. Вычисление координат опытных точек в миллиметрах, соответствующих значениям наработки и функции распределения Вейбулла при оценке надежности графическим методом.

78. Определение параметров распределения Вейбулла при оценке надежности графическим методом.

79. Определение параметров нормального распределения при оценке надежности графическим методом.

80. Определение качества восстановления деталей по среднему межремонтному ресурсу.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

основная

Л1.1 Коган, Е. А., Юрченко А. А. Теория вероятностей и математическая статистика [Электронный ресурс]:учебник. - НИЦ ИНФРА-М, 2021. - 250 с – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/document?id=398687>

Л1.2 Пискарев А. В. Надежность технологических систем машиноиспользования в растениеводстве: совершенствование методов проектирования и эксплуатации на основе системного подхода [Электронный ресурс]:моногр.. - Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет, 2011. - 385 с. – Режим доступа: <http://new.znanium.com/go.php?id=516415>

Л1.3 Доронина Н. П., Жевора Ю. И., Зубрилина Е. М., Литвинов Е. А. Качество и надежность машин после ремонта на предприятиях технического сервиса в АПК:учеб.-метод. пособие для студентов вузов специальностей: 190603.65 "Сервис транспортных и технол. машин и оборудования в АПК", 110304.65 "Технология обслуживания и ремонта машин в АПК", 110301.65 "Механизация сел. хоз-ва". - Ставрополь, 2009. - 160 с.

дополнительная

Л2.1 Лебедев А. Т., Петров А. В., Зубрилина Е. М., Шапран Ю. М., Землянушнова Н. Ю., Доронина Н. П., Жевора Ю. И., Захарин А. В., Лебедев П. А., Павлюк Р. В., Магомедов Р. А., Кулинич А. Н. Современные технологии восстановления работоспособности деталей и сборочных единиц при ремонте машин и оборудования:учеб. пособие для студентов вузов по специальности "Механизация сел. хоз-ва". - Ставрополь: АГРУС, 2015. - 4,70 МБ

Л2.2 Лебедев А. Т., Жевора Ю. И., Очинский В. В., Лебедев П. А., Павлюк Р. В., Захарин А. В., Доронина Н. П., Кобозев М. А., Зубенко Е. В., Марьин Н. А. Технология ремонта основных систем, сборочных единиц, машин, оборудования и деталей:учеб. пособие для студентов вузов по специальности "Механизация сел. хоз-ва". - Ставрополь: АГРУС, 2015. - 7,68 МБ

б) Методические материалы, разработанные преподавателями кафедры по дисциплине, в соответствии с профилем ОП.

Л3.1 Жевора Ю. И., Лебедев А. Т., Захарин А. В., Лебедев П. А., Павлюк Р. В., Марьин Н. А., Зубенко Е. В., Глебова Е. Н. Управление качеством и надежностью машин:учеб. пособие. - Ставрополь: АГРУС, 2018. - 1,99 МБ

9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

№	Наименование ресурса сети «Интернет»	Электронный адрес ресурса
1		https://e.lanbook.com/

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

ФГБОУ ВО СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ И НАДЕЖНОСТЬЮ
МАШИН

Учебное пособие

Ставрополь
«АГРУС»
2022

УДК 631.3
ББК 40.72
У 26

Авторский коллектив:

Жевора Ю. И., Баганов Н.А., Марьин Н.А., Павлюк Р.В., Волкова К.С.

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор С. Н. Капов, СтГАУ;

кандидат технических наук, доцент И.И. Швецов, СтГАУ

Жевора, Ю. И.

У 26 Управление качеством и надежностью машин: учебное пособие / Ю. И. Жевора, Н.А. Баганов, Н.А. Марьин и др. - 2-е изд., перераб. и доп. Ставрополь : АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2022. 184 с.

В учебном пособии даны основные понятия и определения в теории надежности и ремонта машин, приведены оценочные показатели надежности сельскохозяйственной техники и методы

их определения, рассмотрены физические основы надежности машин, а также методы по-вышения качества и надежности сельскохозяйственных машин.

Представлена методика расчета показателей надежности сельскохозяйственной техники. Приведены справочные материалы, необходимые для расчета двигателя СМД-60.

Для студентов факультета механизации сельского хозяйства высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки: 23.03.03, 23.04.03 – «Эксплу-атация транспортно-технологических машин и комплексов»; 35.03.06, 35.04.06 – «Агроинженерия» очной и заочной форм обучения.

УДК 631.3

ББК 40.72

Одобрено и рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией фа-культета механизации сельского хозяйства Ставропольского государственного аг-рарного университета (протокол № 1 от 30.08.2021 г.)

©

Коллектив авторов, 2022

©

ФГБОУ ВО Ставропольский государственный

аграрный университет, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕ-НИЕ.....	5
1. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ И УСЛУГ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИ-СА.....	9
1.1. Показатели качества продукции и услуг.....	9
1.2. Виды контроля продукции и услуг сервисных предприя-тий.....	10
1.3. Обеспечение стабильности качества продукции и услуг на предприятиях технического серви-са.....	12
1.4. Сертификация продукции и услуг технического серви-са.....	14
2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ И РЕМОНТА МА-ШИН.....	21
2.1. Качество и надежность технических систем.....	21
2.2. Показатели надежности машин.....	29
3. ОЦЕНОЧНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИ-КИ.....	42
3.1. Единичные показатели надежности машин.....	43
3.2. Комплексные показатели надежности машин.....	55
4. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ МА-ШИН.....	61
4.1. Факторы, снижающие надежность ма-шин.....	61
4.2. Причины, снижающие работоспособность и надежность ма-шин.....	62
4.3. Физическое и моральное старение ма-шин.....	66
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ МА-ШИН.....	70
5.1. Методы расчета показателей надежности машин.....	70
5.2. Теоретические законы распределения показателей надежности ма-шин.....	

74	
5.3. Система сбора и обработки информации о надежности ма-шин.....	80
5.4. Испытание сельскохозяйственной техники на надеж-ность.....	92
6. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ МА-ШИН.....	
97	
6.1. Обеспечение исходного первоначального уровня надежности при конструировании ма-шин.....	
97	
6.2. Технологические методы обеспечения доремонтного уровня надежности ма-шин.....	
102	
6.3. Обеспечение надежности при эксплуатации сельскохозяйственной техни-ки.....	
116	
6.4. Технологические методы обеспечения послеремонтного уровня надежности ма-шин.....	
121	
6.5. Повышение качества ремонта гильз цилиндров автотракторных двигателей	
125	
6.6. Повышение качества ремонта автотракторных двигателей	133
7. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИ-КИ.....	
138	
7.1. Общие положения.....	138
7.2. Расчет количественных показателей безотказно-сти.....	139
7.3. Расчет количественных показателей долговечно-сти.....	141
7.4. Расчет количественных показателей ремонтпригодно-сти.....	143
7.5. Расчет расхода запасных ча-стей.....	145
Приложение 1. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ СМД-60.....	
147	
Приложение 2. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ СМД-60.....	
157	
Приложение 3. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕМОНТОПРИГОДНО-СТИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ СМД-60.....	
163	
Приложение 4. РАСЧЕТ РАСХОДА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ К ДИ-ЗЕЛЬНОМУ ДВИГАТЕЛЮ СМД-60.....	
169	
Приложение 5.....	172
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	174

ВВЕДЕНИЕ

Краткий исторический обзор. Надежность различной техники – чрезвычайно многогранная проблема, отражающая все этапы суще-ствования объекта (от конструкторской идеи до списания). Она посто-янно находится в стадии раз-вития по мере совершенствования знаний и умений человека, а также измене-ния условий службы различных объ-ектов.

От древних времен до настоящих дней, от первых орудий труда (камен-ного ножа и топора) до современных космических кораблей и роботов – все, что ни делает человек, он стремится делать надежно в меру своих сил и воз-можностей. Однако создать совершенно безотказ-ную и предельно долговечную машину невозможно потому, что с тече-нием времени на нее непрерывно воз-действуют различные факторы, изменяя свойства деталей и, как следствие, вы-зывая отклонение уста-новленных показателей надежности.

Возникнув вначале в авиационной и космической технике, радио-технике, автоматике, телемеханике и современных средствах связи, надежность стала важной проблемой и выделилась в

самостоятельную дисциплину, главная задача которой дать оценку надежности объекта.

Необходимость повышения надежности машин. Для современных машин характерны такие направления их развития, как увеличение степени автоматизации, повышение рабочих параметров-нагрузок, скоростей, температур, борьба за малые габариты и массу, повышение требований к точности функционирования, к эффективности их работы (производительности, мощности, КПД), объединение машин в системы с единым управлением. Усложнение машин и усиление требований к ним привели к необходимости повышения требований к их надежности.

Решение проблемы надежности машин – это огромный резерв повышения эффективности производства, производительности общественного труда.

Ненадежная машина не сможет эффективно функционировать, так как каждая ее остановка из-за повреждения отдельных элементов или снижения технических характеристик ниже допустимого уровня, как правило, влечет за собой большие материальные убытки, а в отдельных случаях может иметь катастрофические последствия.

В настоящее время промышленность даже передовых стран несет огромные потери из-за недостаточной надежности выпускаемых машин. Так, за весь период эксплуатации затраты на ремонт и техническое обслуживание машин в связи с их износом в несколько раз превышают стоимость новой машины, например, для автомобилей – до 6 раз, для самолетов – до 5 раз, для станков – до 8 раз, для радиотехнической аппаратуры – до 12 раз. Из-за коррозии ежегодно теряется до 10% выплавляемого металла.

Особенностью проблемы надежности является ее связь со всеми этапами проектирования, изготовления и использования машины, начиная с момента, когда формируется и обосновывается идея создания новой машины и кончая принятием решения о её списании. Каждый из этапов вносит свою лепту в решение трудной задачи создания машины требуемого уровня надежности с наименьшими затратами времени и средств. Основные решения по надежности. Принятые на стадии проектирования или изготовления машины, непосредственно сказываются на ее эксплуатационных и экономических показателях, которые нередко вступают между собой в противоречие. Поэтому необходимо выявление связей между показателями надежности и возможностями по их повышению на каждом из этапов проектирования, изготовления и эксплуатации машины.

При проектировании и расчете машины закладывается ее надежность. Она зависит от конструкции машины и ее узлов, применяемых материалов, методов защиты от вредных воздействий, системы смазки, приспособленности к ремонту и обслуживанию и других конструктивных особенностей.

При изготовлении (производстве) машины обеспечивается ее надежность. Она зависит от качества изготовленных деталей, методов контроля выпускаемой продукции, возможностей управления ходом технологического процесса, от качества сборки машины и ее узлов, методов испытания готовой продукции и других показателей технологического процесса.

При эксплуатации машины реализуется ее надежность. Показатели безотказности и долговечности проявляются только в процессе использования машины и зависят от методов и условий эксплуатации машины, принятой системы ее ремонта, технического обслуживания, режимов работы и других эксплуатационных факторов.

Предмет науки о надежности технических систем. Надежность, как всякая новая отрасль науки, переживает бурный период развития.

Наука, реагируя на эти запросы практики, модернизирует существующие теории и положения, предлагает новые математические модели. При этом для вопросов надежности особенно характерно использование самых разнообразных отраслей наук и сочетание различных методов и положений при решении поставленных задач.

Наука о надежности изучает закономерности изменения показателей работы технических устройств и систем и на основании этого разрабатывает методы, обеспечивающие с наименьшей затратой времени и средств необходимую продолжительность и безотказность их работы.

Основная трудность при оценке надежности технических систем заключается в использовании таких методов расчета и таких источников информации об изменении работоспособности системы, которые позволили бы прогнозировать поведение ее в различных условиях эксплуатации.

Проблема надежности связана в первую очередь именно с прогнозом, так как констатация того или иного уровня надежности для системы, уже отработавшей свой ресурс, имеет весьма

малую ценность. Особенно на ранних стадиях создания системы – при ее проектировании или при наличии опытного образца – необходимо дать оценку ее надежности в предполагаемых условиях эксплуатации.

Наука о надежности не рассматривает вопросов достижения определенного уровня показателей системы – их точности, мощности, КПД, производительности – это задача других наук, а рассматривает процесс изменения этих показателей с течением времени.

Наука и исследования по надежности развивались до последнего времени по двум основным направлениям.

Первое направление, которое возникло в радиоэлектронике, связано с развитием математических методов оценки надежности особенно применительно к сложным системам, со статистической обработкой эксплуатационной информации – с разработкой структур сложных систем, обеспечивающих высокий уровень надежности.

Второе направление, которое возникло в машиностроении, связано с изучением физики отказов (износа, усталостной прочности, коррозии), с разработкой методов расчета на прочность, износ, теплостойкость и др., с применением технологических приемов, обеспечивающих необходимую надежность машины. В настоящий период идет процесс взаимного слияния этих двух направлений, перенесение рациональных идей из одной области в другую и формирование на этой основе единой науки о надежности изделий.

Экономический аспект надежности. Оценка достигнутого уровня надежности и необходимость его повышения должна решаться в первую очередь с экономических позиций, ибо экономика является основным критерием для решения большинства практических вопросов надежности. Ведь современный уровень развития техники позволяет достичь практически любых показателей и надежности изделия и все дело заключается в затратах на достижение поставленной цели.

Эти затраты могут быть столь высоки, что эффект от повышенной надежности объекта не возместит их, и суммарный результат от проведенных мероприятий будет отрицательным.

1. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ И УСЛУГ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА

1.1. Показатели качества продукции и услуг

Под качеством понимают совокупность свойств и характеристик услуг, которая обеспечивает удовлетворение установленных или предполагаемых потребностей.

Каждый вид услуг характеризуется своей номенклатурой показателей качества.

Номенклатура показателей качества работы сервисных предприятий имеет некоторые особенности по сравнению с качеством работы машиностроительных заводов. Эти показатели должны характеризовать только те свойства, которые могут изменяться в результате ремонтно-обслуживающих воздействий. Для машин, используемых в АПК, они следующие.

Показатели назначения (ПНЗ) характеризуют свойства объекта, определяющие его основные функции, для выполнения которых он предназначен. Например, для трактора – мощность двигателя и тяговое усилие, для автомобиля – скорость, грузоподъемность.

Показатели надежности (ПН) характеризуют свойства объекта сохранять и восстанавливать его работоспособность в процессе эксплуатации.

Показатели технологичности (ПТ) характеризуют приспособленность конструкции к ее изготовлению и эксплуатации. Первый из ПТ – приспособленность к изготовлению – называют производственной технологичностью, а второй – приспособленность к техническому обслуживанию и ремонту – эксплуатационной технологичностью.

Показатели транспортабельности (ПТР) характеризуют приспособленность объекта к транспортировке.

Показатели стандартизации и унификации (ПСУ) характеризуют насыщенность объекта стандартными, унифицированными и оригинальными частями (детальями), а также уровень унификации с другими изделиями. К стандартным относятся составные части изделия, выпускаемые по государственным или отраслевым стандартам. Унифицированные составные части выпускают по стандартам предприятия или получают в готовом виде как комплектующие детали или сборочные единицы.

Показатели безопасности (ПБП) характеризуют особенности конструкции объекта,

обуславливающие безопасность обслуживающего персонала при его эксплуатации.

Эргономические показатели (ЭРП) характеризуют удобство и комфорт эксплуатации конкретного изделия.

Экологические показатели (ЭКП) характеризуют поступления в природную среду сточных вод и вредных выбросов и загрязняющих веществ в атмосферу, водоемы, реки и почву до количеств, не превышающих их предельно допустимые концентрации (ПДК).

Эстетические показатели (ЭСП) характеризуют рациональность формы, целостность композиции и совершенство производственного исполнения изделия.

Патентно-правовые показатели (ПП) характеризуют степень обновления технических решений, использованных в конкретном объекте, их патентную защиту. Основные из них – патентная защита и патентная чистота.

1.2. Виды контроля продукции и услуг сервисных предприятий

Технический контроль – один из важнейших элементов системы управления качеством продукции. Его главная цель – предотвратить выпуск продукции, не соответствующей требованиям нормативно-технической документации.

Эффективность и качество проведения контроля во многом зависят от организации контрольных работ.

Применяемый на предприятиях контроль за качеством ремонта можно классифицировать по следующим видам:

- ☐ стадиям технологического процесса – входной, операционный, приемочный и инспекционный;
- ☐ степени охвата – сплошной и выборочный;
- ☐ времени проведения – летучий, непрерывный и периодический.

Входной контроль – это контроль продукции поставщика, поступившей к потребителю или заказчику. Такому контролю подвергают запасные части, материалы и комплектующие изделия.

Операционный контроль – это контроль продукции или услуг, или процесса во время выполнения или после завершения технологической операции.

Приемочный контроль – это контроль продукции с целью принятия решения ее пригодности к использованию.

Инспекционный контроль проводится специально уполномоченными лицами с целью проверки эффективности ранее выполненного контроля.

Сплошной контроль – контроль каждой единицы продукции в партии.

Выборочный контроль – качество партии изделий оценивают по результатам проверки одной или нескольких выборок.

Летучий контроль – контроль, при котором информация о контролируемых параметрах поступает через установленные интервалы времени.

Непрерывный контроль – контроль, при котором информация о контролируемых параметрах поступает непрерывно.

Периодический контроль – контроль, при котором информация о контролируемых параметрах поступает через установленные интервалы времени.

1.3. Обеспечение стабильности качества продукции и услуг на предприятиях технического сервиса

Свойство технологического процесса сохранять показатели качества продукции и услуг в заданных пределах в течение некоторого времени называется стабильностью.

Стабильность качества достигается следующими способами:

- ☐ периодической проверкой оборудования и оснастки на технологическую точность и своевременным проведением ремонта этого оборудования;
- ☐ обеспечением и поддержанием технологической дисциплины;
- ☐ периодической оценкой качества продукции и услуг.

Проверка оборудования и оснастки на технологическую точность. Под технологической точностью оборудования понимают его способность обеспечивать в течение установленного периода времени соответствие поля рассеивания значений показателя качества заданному полю допуска и его расположению.

Стабильность качества может быть достигнута за счет систематической проверки оборудования.

Проверке на технологическую точность подлежит все оборудование, занятое на выполнении базовых, точных, отделочных и финишных операций. Оборудование с установленными на нем приспособлениями проверяют обязательно в комплексе по тем параметрам, которые непосредственно определяют точность выполнения закрепленных за станком операций.

Способы проведения проверок оборудования на технологическую точность разрабатывают с учетом конструктивных особенностей обрабатываемых деталей и станка (приспособления) и установленных норм технологической точности. Результаты проверки оборудования на технологическую точность заносят в карту контроля технологической точности оборудования и приспособлений.

В случае неудовлетворительных результатов проверки оборудования на технологическую точность и невозможности восстановления ее регулировочными работами это оборудование отправляют в ремонт.

Поддержание технологической дисциплины. Утвержденный технологический процесс обязателен для выполнения всеми работниками предприятия. За это несут ответственность руководители цехов, участков, службы технического контроля и непосредственные исполнители. Контроль за соблюдением технологической дисциплины проводят с целью проверки выполнения требований конструкторской и технологической документации. Он включает проверку наличия и состояния этой документации в цехе, на участках и рабочих местах; соответствия технологических процессов требованиям нормативно-технической документации; точности оборудования, оснастки, контрольно-измерительных приборов; знаний мастерами, рабочими и контрольными исполнителями требований нормативно-технической документации; чистоты и порядка на рабочих местах.

Особое внимание уделяется следующим операциям, несоблюдение которых приводит к браку и дефектам, характерным для ремонтного производства:

- разборочным – выполнение установленной последовательности операций, отсутствие повреждения деталей, соблюдение требований по неразуконплектованию соединений;
- очистки – соблюдение режимов (давление, температура), концентрации и чистоты моющих растворов, а также продолжительности очистки;
- дефектации – наличие необходимых средств измерения и контроля, правильность выбраковки и маркировки;
- восстановления и слесарно-механической обработки – соответствие требованиям нормативно-технической документации режимов восстановления, размеров, формы и взаимного расположения поверхностей, выполнение требований по шероховатости и твердости поверхностей;
- сборки, регулировки и испытаний сборочных единиц и агрегатов – правильность комплектования деталей по размерным группам, массе и регулировке зазоров, усилий затяжки, натяжения ремней, цепей и т.д., соблюдение режимов обкатки и испытаний (нагрузка, давление, температура рабочей жидкости, частота вращения, продолжительность), балансировки и проверки герметичности;
- окраски – соблюдение требований к подготовке поверхностей для нанесения лакокрасочных покрытий, используемым материалам, режимам окраски и сушки.

Контроль стабильности качества продукции и услуг. Для контроля стабильности качества продукции и услуг, соответствия техническим требованиям проводят периодическую оценку. Она предусматривает контроль соответствия требованиям нормативно-технической документации.

Особое внимание обращают на соблюдение технологической дисциплины по основным технологическим процессам, от которых зависит качество услуг технического сервиса.

1.4. Сертификация продукции и услуг технического сервиса

Основу правовой базы управлением качества услуг составляют законы Российской Федерации «О защите прав потребителей» и «О сертификации продукции и услуг».

Закон РФ «О защите прав потребителей» регулирует отношения, возникающие между потребителями и исполнителями, устанавливает права потребителей на исполнение услуг надлежащего качества, на безопасность их жизни и здоровья, получение информации об услугах и

их исполнителях, а также определяет механизм реализации этих прав.

Закон РФ «О сертификации продукции и услуг» устанавливает правовые основы сертификации продукции и услуг, а также права, обязанности и ответственность участников сертификации.

Под сертификацией понимается деятельность по подтверждению соответствия продукции установленным требованиям. Она может быть обязательной и добровольной.

Обязательная сертификация – подтверждение уполномоченным на то органом соответствия товара (работы, услуги) обязательным требованиям стандарта.

Добровольная сертификация – сертификация, проводимая на добровольной основе по инициативе изготовителя (исполнителя), продавца (поставщика) или потребителя продукции.

При проведении работ по сертификации необходимо учитывать следующие специфические особенности услуг:

- ☐ непосредственное взаимодействие исполнителя и потребителя при оказании услуг;
- ☐ воздействие на потребителя услуг условий обслуживания, характеризующих комплексом санитарно-гигиенических, эстетических, временных и других характеристик;
- ☐ совпадение по времени процессов производства и потребления ряда услуг;
- ☐ невозможность транспортирования и хранения услуг;
- ☐ осуществление оценки качества услуг непосредственно потребителем.

Обязательную сертификацию услуг проводят на соответствие требованиям, направленным на обеспечение безопасности жизни и здоровья потребителей и охрану окружающей среды, предотвращение причинения вреда имуществу потребителей.

Добровольную сертификацию проводят на соответствие любых требований и характеристик услуг документам, выбранным заявителем. Возможные схемы сертификации услуг представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Схемы сертификации продукции и услуг

Номер схемы сер- тификации	Возможная схема сертификации услуг			
Аттестация процесса предоставле- ния услуги	Аттестация мастерства			
исполни- теля услуги	Сертифика-ция системы качества Сертифика-ция предпри-ятия в целом		Проверка	
обслужива- ния (испытания) ре- зультата услуги	Инспекци-онный контроль			
Первая	+	+ выборочно		+
Вторая +		+ выборочно		+
Третья	+	+ выборочно		+
Четвертая		+	+	+
Пятая	+	+	+	
Шестая		+	+	+

Проверка (испытание) результата услуги проводится путем кон-троля отремонтированных и других изделий, принадлежащих по-ребителям, а для нематериальных услуг – путем выявления оцен-ки при социологическом опросе потребителей.

Аттестация процесса представления услуги включает: проверку технологического процесса исполнения услуги, комплекта техно-логического и испытательного оборудования, мастерства исполни-теля.

Аттестация мастерства исполнителя предусматривает оценку профессионального уровня, включая тестирование исполнителей услуг, связанных с непосредственным обслуживанием потребите-лей.

Сертификация системы качества обслуживания осуществляется в соответствии с документами системы сертификации ГОСТ Р.

Сертификация предприятия сферы услуг в целом предусматри-вает оценку состояния

материальной базы; ассортимента и качества услуг, включая целевые и дополнительные услуги; условий обслуживания; профессионального мастерства обслуживающего персонала.

Для сертификации материальных видов услуг предпочтительными схемами сертификации являются (табл. 1.):

- первая схема – аттестация профессионального мастерства исполнителя услуги (для граждан-предпринимателей и малых предприятий);
- вторая схема – аттестация процесса предоставления услуги и выборочная проверка результата услуги при периодическом инспекционном контроле.

Для сертификации нематериальных видов услуг предпочтительными схемами сертификации являются:

- четвертая схема – сертификация предприятия в целом с последующим инспекционным контролем;
- пятая схема – сертификация системы качества обслуживания с последующим инспекционным контролем за ее функционированием.

Нормативными документами при проведении сертификации услуг являются международные стандарты, межгосударственные и государственные стандарты, санитарные и другие нормы и правила, а также нормативные документы на конкретные виды услуг, утвержденные органами государственного управления.

Нормативные документы, используемые при обязательной сертификации, должны содержать требования:

- ☐ по безопасности для жизни, здоровья и имущества граждан;
- ☐ экологичности;
- ☐ к методам проверки (контроля, испытаний) услуг;
- ☐ к технологическим процессам исполнения услуг;
- ☐ к мастерству исполнителя услуг;
- ☐ к системам качества.

Для проведения сертификации услуг исполнитель услуги (заявитель) направляет декларацию-заявку в аккредитованный орган по сертификации.

При получении сертификата исполнитель услуги маркирует документацию (квитанции, ярлыки, абонементы, путевки, проспекты и т.д.), упаковку и вывески национальным знаком соответствия.

Инспекционный контроль за соблюдением требований к сертификационным услугам осуществляется в период действия сертификата на услуги с целью подтверждения соответствия услуги требованиям соответствующей нормативной документации.

Периодичность проведения и объем контроля определяются органом по сертификации, но не менее чем один раз в полгода.

Организация и проведение работ по сертификации возлагаются на Госстандарт России и другие государственные органы управления. Испытания продукции и выдачу протоколов испытаний для целей сертификации выполняют испытательные лаборатории (центры), аккредитованные в установленном порядке. По результатам испытаний для подтверждения соответствия сертифицированной продукции установленным требованиям выдаются сертификат соответствия и знак соответствия.

Принципы функционирования, организационная структура и порядок сертификации услуг по техническому обслуживанию и ремонту сельскохозяйственной техники определены «Системой добровольной сертификации услуг по техническому обслуживанию и ремонту сельскохозяйственной техники».

При проведении сертификации услуг в Системе применяют три схемы сертификации.

Схема 1 предусматривает оценку мастерства исполнителя услуг, включающую проверку его квалификации, знаний технологической и нормативной документации, наличия и состояния контрольно-измерительных приборов и выборочную проверку результатов услуг, а также последующий инспекционный контроль за стабильностью характеристик услуг. По этой схеме рекомендуется сертифицировать услуги небольших предприятий технического сервиса и граждан – предпринимателей, оказывающих услуги.

Схема 2 подразумевает оценку процесса исполнения услуг, включающую проверку технологического процесса их исполнения, состояние технологического оборудования и контрольно-измерительных приборов, проверку мастерства исполнителей, выборочную проверку

результатов услуг и инспекционный контроль за стабильностью характеристик услуг. По этой схеме сертифицируют предприятия технического сервиса – станции технического обслуживания, мастерские машинно-технологических станций, районные технические центры, ремонтно-технические предприятия и др.

Схема 3 предусматривает сертификацию системы качества и последующий инспекционный контроль за стабильностью ее функционирования. Такую схему применяют для сертификации предприятий технического сервиса со сложными технологическими процессами (специализированные предприятия по капитальному ремонту тракторов и сложных сельскохозяйственных машин, их сборочных единиц, ремонтные заводы).

При проведении сертификации услуг в системе проверяют характеристики (показатели) услуг и используют различные методы проверок. Они служат для полного и достоверного подтверждения показателей услуг требованиям, направленным на обеспечение безопасности жизни и здоровья потребителя услуг, охраны окружающей среды, указанных в соответствующих документах.

В системе сертификации предусмотрена проверка на соответствие нормативным документам показателей, характеризующих производство: наличие оборудования и оснастки для качественного выполнения соответствующих услуг; существующий порядок совершенствования технологической документации; квалификация исполнительных руководителей и специалистов; соблюдение условий договора и обеспечение гарантийных обязательств; обеспечение прав потребителей при обнаружении недостатков в исполнении заказа.

При положительных результатах сертификации исполнители получают сертификат соответствия и лицензию на право пользования знаком соответствия в системе сертификации услуг по техническому обслуживанию и ремонту сельскохозяйственной техники. Знак представляет собой равносторонний пятиугольник, вписанный в условную окружность.

Его проставляют на сопроводительную документацию (квитанции и др.), выдаваемую потребителю, а также на вывески и рекламные проспекты.

2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ И РЕМОНТА МАШИН

2.1. Качество и надежность технических систем

Под качеством продукции понимают совокупность свойств продукции, обуславливающих её пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением. Каждой вещи, изделию, виду продукции, в зависимости от ее назначения, свойственны свои особые, присущие только ей показатели качества. Чем лучше данное изделие может быть использовано по своему прямому назначению, чем больше оно удовлетворяет потребителя по всем своим признакам и свойствам, тем выше и его качество.

Каждому из изделий присущи свои особые свойства, определяющие их качество. Например, для станка важна точность, производительность, степень автоматизации, для автомобиля – скорость, грузо-подъемность, расход горючего.

Но свойства машины или другого технического изделия проявляются лишь в процессе работы. Поэтому, какими бы отличными начальными характеристиками ни обладал станок, как бы высоки ни были паспортные данные его точности, производительности, они еще не могут полностью характеризовать качество станка. Они характеризуют лишь его технические возможности, а чтобы полностью оценить его качество, нужно знать не только показатели точности, мощности, производительности и т.д., но и способность станка сохранять эти показатели в процессе работы в течение возможно более длительного времени. Ведь любой инструмент, машина служат в процессе труда лишь до тех пор, пока они сохраняют свою первоначальную форму, пока они завтра смогут вступить в процесс труда в той самой форме, как и вчера.

Свойство изделия обеспечивать нормальное выполнение заданных функций, т. е. работать в течение определенного времени с сохранением первоначальных технических характеристик в пределах заданных допусков, и принято называть его надежностью.

Мы видим, что надежность должна быть обязательным свойством любой машины, аппарата, прибора. Но, являясь лишь одним из свойств машины, надежность существенно отличается от всех ее других свойств.

Конечно, сама по себе надежность еще не означает высокого качества изделия. Машина может быть очень надежна, но обладать весьма низкими техническими характеристиками.

Но зато если машина не обладает необходимой надежностью, то все ее высокие технические данные, все остальные показатели теряют свое практическое значение, ибо они не МОГУТ быть полноценно использованы в работе.

Надежность в конечном итоге определяет уровень качества техники. Она зависит от качества изготовления, эксплуатации, ремонта машин и качества труда работников.

Основные свойства качества продукции можно условно разделить на пять групп:

- 1) эксплуатационные показатели и потребительские свойства (производительность, точность, скорость и др.);
- 2) надежность;
- 3) технологичность конструкции;
- 4) показатели технической эстетики и эргономические показатели (удобство работы и др.);
- 5) степень стандартизации, унификации и взаимозаменяемости. Итак, надежность является лишь одной из составляющих качества любой машины, аппарата, прибора. Однако она является особым, наиболее общим свойством промышленных изделий, определяющим их качество, и значение ее по мере технического прогресса все больше и больше возрастает.

Надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки.

Надежность является комплексным свойством, включает в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенное сочетание 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, заключающаяся 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 течении и после хранения и транспортирования.

В определении надежности фигурирует термин «объект» – предмет определенного целевого назначения, рассматриваемый в период проектирования, производства, эксплуатации, исследований и испытаний на надежность. В теории надежности под объектом понимают изделия, технические системы и их элементы, машины, агрегаты, сборочные единицы, детали, аппараты, приборы и др.

Изделие – единица промышленной продукции, элемент – составная часть изделия, система – совокупность совместно действующих элементов, предназначенная для самостоятельного

выполнения заданных функций. Понятия «элемент» и «система» могут взаимно трансформироваться в зависимости от поставленной задачи. Например, трактор с точки зрения надежности можно рассматривать как систему, состоящую из отдельных элементов – агрегатов, сборочных единиц, механизмов, деталей и др., но трактор, функционирующий в составе агрегата, на который заданы требования по надежности, рассматривают уже как элемент.

Техническая система – совокупность совместно действующих элементов, предназначенных для самостоятельного выполнения заданных функций.

К параметрам, характеризующим способность выполнять требуемые функции, относятся кинематические и динамические характеристики, показатели производительности, скорости, грузоподъемности, экономичности, точности и др.

Требование к объекту выполнять необходимые функции распространяется только при соблюдении заданных режимов и условий применения технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки. Например, если двигатель изготовлен для северных районов, а эксплуатируется в южных районах, где он будет перегреваться, то нельзя считать этот двигатель с низкой надежностью. Также нельзя считать машину с низкой надежностью, если не проводят технические обслуживания и ремонты, соответствующие технической документации.

Актуальность надежности возрастает в связи со сложностью современных машин и важностью функций, которые они выполняют, современные технические средства состоят из множества взаимодействующих механизмов, аппаратов и приборов. Отказ хотя бы одного элемента сложной системы приводит к нарушению работы всей системы. При увеличении числа элементов, входящих в систему, при постоянной надежности каждого из них снижается надежность всей системы.

Объект с точки зрения надежности может находиться в одном из следующих состояний: исправном, неисправном, работоспособном, неработоспособном и предельном (рис. 1).

Исправное состояние – состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Рисунок 1 – Схема основных состояний объекта и событий

Неисправное состояние – состояние объекта, при котором он не удовлетворяет хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Работоспособное состояние – состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Неработоспособное состояние – состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Предельное состояние – состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно либо восстановление его исправного или работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Переход объекта из исправного состояния в неисправное или работоспособное состояние называют повреждением. Повреждение – событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния.

Переход объекта в неработоспособное состояние из исправного, неисправного или работоспособного состояния называют отказом. Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Работоспособный объект в отличие от исправного должен удовлетворять лишь тем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации, выполнение которых обеспечивает применение объекта по назначению. Работоспособный объект может быть неисправным, например не удовлетворять эстетическим требованиям, но его внешний вид не влияет на применение по назначению.

Переход объекта в предельное состояние влечет за собой временное или окончательное прекращение применения объекта по назначению (списание). Вид предельного состояния зависит от конструкции объекта, возможности его ремонта. Все объекты подразделяют на ремонтируемые и неремонтируемые.

Ремонтируемый объект – объект, ремонт которого возможен и предусмотрен нормативно-технической и (или) конструкторской документацией.

Неремонтируемый объект – объект, ремонт которого не возможен или не предусмотрен нормативно-технической, ремонтной и (или) конструкторской документацией.

Большинство изделий машиностроения относят к ремонтируемым объектам. Неремонтируемые объекты – поршневые кольца, фрикционные накладки тормозов и сцеплений, прокладки, манжеты, уплотнительные кольца.

Неремонтируемые объекты могут иметь предельное состояние двух видов. Первый вид совпадает с неработоспособным состоянием. Второй вид связан с тем, что, начиная с некоторого момента времени, применение работоспособного объекта по назначению недопустимо в связи с опасностью или вредностью его использования. Переход неремонтируемого объекта в предельное состояние второго вида происходит раньше возникновения отказа.

Ремонтируемые объекты имеют два вида предельных состояний. При первом виде объект отправляют в ремонт, временно прекращая применение объекта по назначению. При втором виде предельного состояния окончательно прекращают применение объекта по назначению (списывают).

Ремонт – это комплекс операций, предназначенный для восстановления исправности и работоспособности изделий и восстановления технического ресурса изделий и их составных частей.

Наработка – продолжительность или объем работы объекта, измеряемые в часах, моточасах, гектарах, километрах пробега и др.

Технический ресурс (ресурс) – суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновление после капитального ремонта до перехода в предельное состояние.

Различают два вида ремонта: капитальный и текущий.

Капитальный ремонт выполняют для восстановления исправности и полного (или близкого к полному) ресурса изделия с заменой или восстановлением любых составных частей, в том числе и базовых.

Текущий ремонт заключается в восстановлении работоспособности машины с заменой или ремонтом отдельных составных частей, исключая базовые элементы.

Переход восстанавливаемого объекта из неработоспособного состояния в работоспособное, неисправное или исправное состояние происходит с помощью ремонта.

Восстанавливаемый объект – объект, для которого восстановление работоспособного состояния предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Невосстанавливаемый объект – объект, восстановление работоспособного состояния которого не предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Переход объекта из предельного состояния в работоспособное, неисправное или исправное состояние возможен с помощью ремонта, при котором происходит восстановление ресурса объекта в целом.

Надежность включает в себя такие свойства, как безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Для каждого объекта характерны все или часть свойств надежности. Так, для объектов, подлежащих длительному хранению, важно свойство сохраняемости.

2.2. Показатели надежности машин

Надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки.

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и эксплуатации может включать в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенное сочетание этих свойств.

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

Это свойство особенно важно для объектов, отказ которых опасен для жизни людей (рулевое управление, тормоза)

Из определения безотказности следует, что ее исчисляют временем или наработкой до момента возникновения отказа. Для установления причин отказов, виновников их возникновения и разработки мероприятий по снижению вероятности их возникновения служит классификация отказов (рис. 2).

Рисунок 2 – Классификация отказов

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Отказы делят по причине возникновения, характеру проявления, взаимосвязи, группам сложности и способу обнаружения. Кроме того, отказы бывают ресурсные и деградационные.

По причине возникновения отказы делят на конструктивные, производственные и эксплуатационные.

Конструктивный отказ – отказ, возникающий в результате не-совершенства или нарушения установленных правил и (или) норм кон-струирования объекта.

Конструктивный отказ возникает в результате несовершенства конструкции объекта: при наличии ошибочных исходных данных для проектирования, ошибок при выборе кинематики механизмов, выполнении прочностных расчетов, неправильном назначении материала детали, технических требований на изготовление отдельных элементов и объекта в целом и др. Например, для повышения безотказности работы двигателя А-41 заводом-изготовителем установлены следующие детали: гильзы цилиндров с третьей канавкой под резиновое антикавитационное кольцо; промежуточная опора кулачкового вала; трубки высокого давления с конусами, выполненными с упорным кольцом; шестерня коленчатого вала из стали 18ХГТ вместо стали 45 с цементацией и повышенной твердостью зубьев.

Желательно мероприятия по устранению конструктивных отказов проводить на более ранних стадиях производства объекта (на этапе разработки конструкторской документации, испытания опытных образцов, изготовления установочной партии изделий в процессе серийного производства).

Производственный отказ – отказ, возникающий в результате не-совершенства или нарушения установленного процесса изготовления или ремонта объекта, выполнявшегося на ремонтном предприятии.

Производственные отказы возникают в результате неправильно-го назначения технологических процессов изготовления или восстановления деталей и сборки объекта или служат следствием нарушения принятой технологии, а также неудовлетворительного качества материала деталей или наносимых на них покрытий, несовершенства технологических методов обработки деталей, применения недостаточно точных измерительных средств, невыполнения технических требований на изготовление и сборку элементов и объекта в целом. Например, для снижения вероятности поломки коленчатого вала двигателя А-41 завод-изготовитель ввел накатку галтелей шеек коленчатого вала.

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

Эксплуатационные отказы возникают вследствие использования объектов в условиях, для которых они не предназначались, нарушения правил эксплуатации (недопустимые перегрузки, невыполнение правил ТО, несвоевременное проведение регулировок, применение не соответствующих требованиям топливосмазочных материалов, несоблюдение правил транспортировки и хранения). Например, при грубых нарушениях режимов ТО элементов воздушного тракта двигателя КамАЗ-740 наработка до его отказа уменьшается более чем в 2,5 раза. Для полного износа шатунно-поршневой группы достаточно пропустить через систему питания воздухом 120... 150 г абразивной пыли.

По характеру проявления отказы подразделяют на внезапные, постепенные и перемежающиеся, сбой и деградационный.

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

Внезапные отказы возникают вследствие вполне определенных причин (усталостное разрушение деталей, поломка деталей из-за внутренних дефектов или перегрузок, коробление деталей вследствие местных значительных перегревов и др.). Однако установить их заранее, как правило, не удается, и поэтому связанные с этими причинами отказы с точки зрения эксплуатации

возникают неожиданно.

Характерные примеры внезапных отказов – аварийные поломки деталей, пробивание прокладки головки блока цилиндров, соскакивание цепей и др.

Постепенный отказ возникает в результате постепенного изменения значений одного или нескольких заданных параметров объекта.

Главная причина постепенного отказа – естественное старение и изнашивание (увеличение зазоров, ослабление посадок). К характерным примерам постепенных отказов двигателя относят предельный износ деталей и соединений, повышенный расход масла, низкое давление в смазочной системе, снижение мощности и др.

При ТО и ремонтах принимают меры, предупреждающие или увеличивающие наработку до возникновения отказа путем регулировок, замены быстроизнашивающихся деталей и др. Например, при соблюдении рекомендуемого давления в шине, своевременной балансировке колес и регулировке их установки можно значительно увеличить наработку до отказа шины.

Деградационный отказ – отказ, обусловленный естественными процессами старения, изнашивания, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации.

Сбой – самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора. (Признак сбоя – восстановление работоспособного состояния возможно без ремонта. Обрыв нити, спад цепи)

Перебегающий отказ – многократно возникающий самоустраняющийся отказ объекта одного и того же характера.

Отказ в этом случае многократно возникает и сам устраняется. Пример такого отказа – ухудшение параметров двигателя из-за образования нагара в камере сгорания. При быстрой езде нагар обычно выгорает и отказ самоустраняется.

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

По взаимосвязи отказы подразделяют на независимые и зависящие.

Независимый отказ – отказ объекта, не обусловленный отказом другого объекта.

Зависимый отказ – отказ, не обусловленный другими отказами.

Независимый отказ элемента вызывается потерей работоспособности именно этого элемента, а не является следствием потери работоспособности другого элемента технической системы. Например, поломка зубца шестерни масляного насоса двигателя из-за попадания в насос постороннего предмета относится к независимому отказу. Но отказ насоса может привести к задиру или выплыванию подшипников коленчатого вала, отказ которых относится к зависимому.

По группам сложности отказы подразделяют на три группы.

Отказы первой группы сложности устраняют заменой или ремонтом деталей, расположенных снаружи агрегатов или сборочных единиц, или же путем внеочередного проведения операций ежедневного ТО (ЕТО) и периодических ТО (ТО-1 и ТО-2). Как правило, эти отказы устраняют механизаторы в полевых условиях.

Отказы второй группы сложности устраняют заменой или ремонтом легкодоступных сборочных единиц и агрегатов с раскрытием внутренних полостей основных агрегатов или проведением операций внеочередного ТО-3. Эти отказы можно устранять в полевых условиях, но с участием персонала передвижной ремонтной мастерской.

Отказы третьей группы сложности устраняют, разбирая основные агрегаты в стационарных мастерских.

Например, излом по сварке рычага включения переднего моста трактора Т-150К – отказ первой группы сложности, трещины трубок масляного радиатора гидросистемы – отказ второй группы, предельный износ подшипника вала ходоуменьшителя – отказ третьей группы сложности.

По способу обнаружения различают явный и скрытый отказы.

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 ТО или специальными методами диагностирования.

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

Различие между безотказностью и долговечностью заключается в следующем. Безотказность характеризует свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки, долговечность же характеризует продолжительность работоспособного состояния объекта по суммарной наработке, прерываемой периодами для ТО, устранения отказов и ремонтов.

Ремонтопригодность – это свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения ТО и ремонтов.

Ремонтопригодность – сложное свойство надежности, определяемое назначением объекта и конкретными условиями его эксплуатации. Применительно к сельскохозяйственной технике ремонтпригодность может характеризоваться контролепригодностью, доступностью, легкоъемкостью, блочностью, взаимозаменяемостью и восстанавливаемостью (рис. 3).

Рисунок 3 – Структура ремонтпригодности

Контролепригодность характеризует приспособленность объекта к контролю его технического состояния. Данное свойство важно при оценке технического состояния и поиске отказавшего элемента. Свойство контролепригодности особенно важно для сложных машин, у которых более 50 % времени восстановления уходит на определение места и характера отказа.

Одной из характеристик контролепригодности служит оснащенность машины встроенными средствами контроля. По способу съема информации их подразделяют на средства непрерывного и периодического контроля. Первые сигнализируют о техническом состоянии элементов технической системы постоянно, вторые – периодически. Средства непрерывного контроля расположены в кабине машины, периодического – вне кабины.

Обеспечение приспособленности машины к контролю технического состояния теми или иными методами и средствами неизбежно связано с дополнительными затратами. Однако эти затраты окупаются в результате повышения безотказности, более эффективного использования машины и сокращения расходов на их ТО и ремонт. Для обеспечения контролепригодности на тракторах и комбайнах устанавливают сигнализаторы: контроля технологического процесса; засоренности воздухоочистителя (с бумажными фильтрующими элементами); топливных фильтров; фильтров гидросистемы; напряжения бортовой сети; наличия воздуха в топливной системе высокого давления; начала действия регулятора топливного насоса; уровней рабочих жидкостей.

Контролепригодность оценивают коэффициентом контролепригодности:

$$K_{\text{кп}} = \frac{N_{\text{кп}}}{N_{\text{а}}} \quad (1)$$

– число агрегатов, контролируемых без снятия и со снятием с машины.

Доступность – приспособленность объекта к удобному выполнению операций ТО и ремонта с минимальным объемом балластных работ (работы по открытию и закрытию панелей, крышек люков, демонтажу и монтажу установленного рядом оборудования, сборочных единиц и деталей при доступе к обслуживаемым элементам объекта).

Доступность оказывает существенное влияние на время и трудовые затраты как при проведении операций ТО, так и при устранении отказов и выполнении ремонтных работ. В понятие «доступность» прежде всего, входит удобство работы исполнителя, заключающееся в возможности достать рукой до любой точки в зоне рабочего места, не меняя удобной позы; отчетливой видимости зоны рабочего места; исключении работы на ощупь; надежности инструмента удерживать и захватывать элемент, на который он воздействует.

Трудоемкость выполнения одной и той же операции зависит от позы, которую вынужден принимать исполнитель (рис. 4). По мере усложнения конструкций машин доступность вступает в противоречие с тенденцией сокращения объемов для размещения оборудования. Число приборов и оборудования на новых машинах возрастает, как правило, при незначительном увеличении объемов для их размещения. В условиях большой стесненности повышается трудоемкость выполнения контрольных, регулировочных и демонтно-монтажных работ, ухудшаются условия работы исполнителей.

Рисунок 4 – Характерные рабочие позы исполнителей при выполнении операций ТО и ремонта

Доступность может быть оценена коэффициентом доступности:

$$D = \frac{T_{доп}}{T_{осн}} \quad (2)$$

где $T_{осн}$ – трудоемкость выполнения основной работы;

$T_{доп}$ – трудоемкость дополнительных (балластных) работ.

Легкосъемность – приспособленность агрегата, блока, сборочной единицы к замене с минимальными затратами времени и труда, а также приспособленность конструкции машины к операциям разборки и сборки.

Легкосъемность во многом определяется системой крепления агрегатов, сборочных единиц, элементов, конструкцией разъемов, массой и габаритами съемных элементов. Необходимо, чтобы детали и соединения, подвергающиеся интенсивному изнашиванию и старению, а также элементы с большой частотой отказов были легкосъемными. В конструкциях машин следует более широко применять быстроразъемные соединения вместо обычных болтов.

Легкосъемность может быть оценена коэффициентом легкосъемности:

$$L = \frac{T_{осн}}{T_{дем}} \quad (3)$$

где $T_{дем}$ – превышение трудоемкости демонтажно-монтажных работ агрегата по сравнению с эталонной;

$T_{осн}$ – трудоемкость демонтажно-монтажных работ агрегата.

Блочность – приспособленность конструкции к расчленению на отдельные агрегаты и сборочные единицы. Рассмотрим принцип блочности на конструкции трактора ЛТЗ-155 (рис. 5), которая включает в себя три основных модуля: энергетический (двигатель, трансмиссия, передний ведущий мост, переднее навесное устройство и передний ВОМ); управляющий (кабина, реверсивный пост управления); технологический (задний ведущий мост, заднее навесное устройство, боковой и два задних ВОМ, грузовая площадка).

Каждый модуль, в свою очередь, состоит из отдельных блоков-модулей. Модуль представляет собой унифицированный, отдельно собираемый, функционально законченный элемент трактора. Например, ходовую систему собирают из ведущих мостов, которые служат блок-модулями. При установке двух ведущих мостов получают трактор тягового класса 2, при установке третьего дополнительного ведущего моста такой же конструкции – трактор тягового класса 3.

Рисунок 5 – Схема модулей и блок-модулей трактора ЛТЗ-155

Блочность оценивают коэффициентом блочности:

$$B = \frac{N_{бл}}{N_{дет}} \quad (4)$$

где $N_{бл}$ – число деталей, монтируемых и демонтируемых в блоках;

$N_{дет}$ – общее число деталей в машине.

У трактора ЛТЗ-155 коэффициент блочности $K_b = 0,92$.

Взаимозаменяемость – свойство конструкции, агрегата, сборочной единицы, детали и других элементов машин, обеспечивающее возможность их замены при ТО и ремонте без подгоночных работ. Различают внешнюю, внутреннюю и функциональную взаимозаменяемость.

Различают внешнюю, внутреннюю и функциональную взаимозаменяемость.

В зависимости от объема подгоночных работ устанавливают соответствующую степень взаимозаменяемости. Чем меньше объем подгоночных работ при замене агрегатов, сборочных единиц и деталей, тем выше степень их взаимозаменяемости.

Взаимозаменяемость оценивают коэффициентом взаимозаменяемости:

$$Z = \frac{T_{осн}}{T_{зам}} \quad (5)$$

где $T_{зам}$ – трудоемкость основной работы при замене агрегата, сборочной единицы, детали, чел.-ч*;

$T_{осн}$ – трудоемкость подгоночных работ, чел.-ч.

Восстанавливаемость – приспособленность конструкции к восстановлению потерянной работоспособности с минимальными затратами труда и средств.

Сложность технологического процесса разборки и сборки машины, наличие базовых поверхностей на деталях, запасов металла у деталей, запасов прочности и жесткости у деталей,

обрабатываемых под ремонтные размеры, влияют на восстанавливаемость.

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

Сохраняемость – важное свойство, характеризующее сельскохозяйственную технику, которая работает сезонно.

Проблема сохраняемости обостряется в связи с хранением большинства сельскохозяйственных машин на открытых площадках. Атмосферный воздух почти всегда загрязнен различными примесями, многие из которых агрессивны. Существенное влияние на коррозию металлов оказывает содержание в воздухе даже ничтожного количества сернистого газа и хлоридов, которые при растворении в воде образуют электролиты.

Сохраняемость объекта характеризует его способность противостоять отрицательному влиянию условий хранения и транспортировки объекта на его безотказность, долговечность и ремонтпригодность.

Продолжительность хранения и транспортировки иногда не оказывает заметного влияния на поведение объекта во время нахождения в этих режимах, но при последующей работе их свойства могут быть значительно ниже, чем аналогичные свойства объектов, не находившихся на хранении и не подлежащих транспортировке. Например, после продолжительного хранения аккумуляторных батарей их наработка до отказа существенно снижается. Сохраняемость таких объектов обычно характеризуется таким сроком хранения в определенных условиях, в течение которого снижение средней наработки до отказа, обусловленное хранением, находится в допустимых пределах.

Вследствие воздействия внешней среды на незащищенные составные части машин во время хранения сокращаются сроки их службы, увеличиваются затраты на ремонт.

Коррозионные поражения во время хранения – одна из главных причин выбраковки втулочно-роликовых цепей (23 %) и сегментов режущих аппаратов жаток зерноуборочных комбайнов (22 %).

Ресурс резинотехнических изделий снижается и при хранении в сухих отапливаемых помещениях, так как естественный процесс старения можно только замедлить, но предотвратить полностью нельзя.

Ресурс клиновых ремней уменьшается вследствие снижения механической прочности, модуля упругости и прочности связи между элементами конструкции клиновых ремней. Физико-механические свойства клиновых ремней минимально снижаются при их хранении в сухих отапливаемых помещениях при температуре 18...23 °С и относительной влажности воздуха 55...70 %.

3. ОЦЕНОЧНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Показатель надежности – количественная характеристика одного или нескольких свойств (безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости), составляющих надежность объектов.

В соответствии с ГОСТ 27.002 показатели надежности подразделяются на единичные и комплексные, расчетные, экспериментальные, эксплированные, а также групповые и индивидуальные.

Единичный показатель надежности – показатель, характеризующий одно из свойств (например, долговечность или безотказность), составляющих надежность объекта.

Комплексный показатель надежности – показатель, характеризующий одновременно несколько свойств (два и более), составляющих надежность объекта.

Для сельскохозяйственной техники важны все четыре упомянутых свойства надежности (безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость), которые оценивают в

отдельности единичными и в совокупности комплексными показателями надежности. Для такого же объекта, как, например, электролампа, важен показатель долговечности (единичный показатель) и не представляет интереса показатель ремонтпригодности. Поэтому надежность электролампы оценивают только единичным показателем надежности.

Расчетный показатель надежности – это показатель надежности, значения которого определяют расчетным методом.

Экспериментальный показатель надежности – показатель надежности, точечную или интервальную оценку которого определяют по данным эксплуатации.

Экстраполированный показатель надежности – показатель надежности, точечную или интервальную оценку которого определяют на основании результатов расчетов, испытаний и (или) эксплуатационных данных путем экстраполирования на другую продолжительность эксплуатации и другие условия эксплуатации.

Групповой показатель надежности служит для оценки надежности совокупности изделий данного типа (вида, марки, модели).

Индивидуальный показатель предназначен для оценки надежности каждого изделия данного типа.

3.1. Единичные показатели надежности машин

Показатели безотказности. Номенклатура показателей безотказности включает в себя шесть групповых показателей (вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, параметр потока отказов, средняя наработка до отказа, средняя наработка на отказ, гамма-процентная наработка до отказа).

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

Вероятность безотказной работы за наработку (время) определяется по выражению:

$$P(t) = \frac{n - r}{n}, \quad (6)$$

где n – число отказавших объектов за наработку (время),
 r – число объектов совокупности в начале наблюдений.

Пример, $P(5) = 1 - 5/50 = 0,9$

Вероятность безотказной работы определяется в предположении, что в начальный момент времени (момент начала исчисления наработки) объект находился в работоспособном состоянии. Обозначим через t время или суммарную наработку объекта (в дальнейшем для краткости называем просто наработкой). Возникновение первого отказа – случайное событие, а наработка от начального момента до возникновения этого события – случайная величина. Вероятность безотказной работы объекта в интервале от 0 до включительно определяют как:

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (7)$$

где λ – вероятность события, заключенного в скобках.

Вероятность безотказной работы является функцией наработки. Обычно эту функцию предполагают непрерывной и дифференцируемой.

Если способность объекта выполнять заданные функции характеризуется одним параметром V , то вместо (7) имеем формулу:

$$P(t) = e^{-Vt}, \quad (8)$$

где V – предельные по условиям работоспособности значения параметров (эти значения, вообще, могут изменяться во времени).

Аналогично вводят вероятность безотказной работы в более общем случае, когда состояние объекта характеризуется набором параметров с допустимой по условиям работоспособности областью значений этих параметров.

Вероятность безотказной работы связана с функцией распределения и плотностью распределения наработки до отказа:

$$P(t) = \int_t^\infty f(x) dx, \quad (9)$$

Наряду с понятием «вероятность безотказной работы» часто используют понятие «вероятность отказа», которое определяется следующим образом: это вероятность того, что объект откажет хотя бы один раз в течение заданной наработки, будучи работоспособным в начальный момент времени. Вероятность отказа на отрезке от 0 до t определяют по формуле:

(10)
Графики функций $P(t)$ и $Q(t)$ показаны на рисунке 6 и 7.

Рисунок 6 – Функция вероятности безотказной работы в зависимости от наработки
Рисунок 7 – Графики функций

Средняя наработка до отказа – математическое ожидание (среднее значение) наработки до первого отказа. Для невосстанавливаемых объектов средняя наработка до первого отказа равнозначна средней наработке до отказа.

Среднюю наработку до отказа вычисляют по формуле:

(11)
где $f(t)$ – функция распределения наработки до отказа;
 $f(t)$ – плотность распределения наработки до отказа.

(12)
Статистическая оценка для средней наработки до отказа дается формулой

(13)
Здесь n – число работоспособных объектов при $t=0$;
 t_i – наработка до первого отказа каждого из объектов.

Эта формула соответствует плану испытаний, при котором все объекты испытываются до отказа.

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

Другой способ точного определения этой величины – определение закона распределения наработки до отказа объектов от величины наработки.

Наиболее распространенные законы распределения наработки до отказа восстанавливаемых изделий: экспоненциальный, Вейбулла-Гнеденко, нормальный и логарифмический нормальный.

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

Интенсивность отказов, (отказов/ед) наработки (времени):

(14)
где n – число отказов объектов наблюдений до наработки t и ;
 n_0 – число исправных объектов при наработке;
(Δt – заданный интервал наработки).

Физический смысл плотности вероятности отказа – это вероятность отказа в достаточно малую единицу времени.

Интенсивности отказов может быть определена по формуле:

(15)
где $P(t)$ – вероятность безотказной работы за время;
 $f(t)$ – плотность распределения наработки до отказа.

Эта формула для аналитического определения по известному закону распределения наработки до отказа.

Интенсивность отказов может определяться по приближенной статистической формуле как отношение числа отказавших изделий в единицу времени к среднему числу изделий, работоспособных в данный момент времени. После небольших преобразований можно получить:

(16)
Между вероятностью безотказной работы и интенсивностью отказов установлена зависимость:

(17)
Интенсивность отказов невосстанавливаемых объектов имеет во времени (характерный вид, показанный на рис. 8). В первый период эксплуатации объекта (участок I) интенсивность отказов велика.

Рисунок 8 – Зависимость интенсивности отказов от времени

Многие элементы изделий отказывают из-за скрытых дефектов, которые не были обнаружены в процессе производства объектов. Этот период называют периодом приработки (тренировки). Если на заводе-изготовителе выполнена полноценная тренировка объекта, то этот период может отсутствовать.

Второй период (участок II) называют периодом нормальной эксплуатации. В этот период интенсивность отказов объекта постоянна или медленно возрастает по мере увеличения наработки. В третьем периоде (участок III) интенсивность отказов резко возрастает из-за ухудшения технического состояния элементов объекта в результате износа и старения (предельные износы, коррозия, усталость, коробление и др.).

Для восстанавливаемых объектов, у которых вероятно многократное появление отказа, наработка на отказ – случайное событие. В этом случае отказавшие элементы заменяют на исправные и работоспособность объекта восстанавливается, т. е. наблюдается поток отказов и поток восстановлений. Поток отказов характеризуется двумя величинами: средним числом отказов и параметром потока отказов.

Среднее число отказов до наработки, приближенно характеризующее поток отказов (безотказность), определяют по формуле:

$$\lambda = \frac{r}{T} \quad (18)$$

где r – число восстанавливаемых (ремонтируемых) объектов, за испытаниями или эксплуатацией которых в заданных условиях проводят наблюдения;

T – число отказов каждого из этих объектов до наработки.

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

Для определения параметра потока отказов на основании экспериментальных данных пользуются приближенной формулой

$$\lambda = \frac{r}{T} \quad (19)$$

где T – средняя наработка на отказ.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. Долговечность оценивается с помощью двух групп показателей: ресурса как показателя, связанного с наработкой объекта, и срока службы. Каждая из них имеет много разновидностей, позволяющих конкретизировать этапы или характер эксплуатации.

Ресурс – наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после капитального ремонта до наступления предельного состояния.

Средний ресурс (срок службы) – математическое ожидание ресурса (срока службы).

Средний ресурс определяется по формуле:

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (20)$$

где R_i – ресурс i -го объекта.

Назначенный ресурс – суммарная наработка объекта, по достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от его состояния. Этот ресурс чаще всего назначают из соображений безопасности или экономичности, например для авиационных двигателей с целью обеспечения безопасности полетов. После отработки назначенного ресурса авиационные двигатели снимают с самолетов и могут использовать их в наземных условиях (например, для сушки зерна, защиты садов от заморозков и др.).

Средний ресурс (срок службы) до ремонта – доремонтный ресурс (срок службы) от начала эксплуатации объекта до его первого ремонта.

Средний ресурс (срок службы) между ремонтами – межремонтный ресурс (срок службы) между смежными ремонтами объекта.

Средний ресурс (срок службы) до списания – полный ресурс (срок службы) объекта от начала эксплуатации до его списания, обусловленного предельным состоянием.

Гамма-процентный ресурс – наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью /процентов.

Гамма-процентный ресурс имеет большое практическое значение, так как в результате неизбежного рассеивания долговечности сельскохозяйственной техники при изменяющихся нагрузках и переменных условиях эксплуатации их долговечность – величина статистическая. Определяется она экспериментально по данным о долговечности большой группы объектов.

Гамма-процентный ресурс – ресурс, который имеет и превышает в среднем обусловленное число y процентов изделий данного типа.

Заданный процент объектов y – регламентированная вероятность. Например, при $y = 90\%$ соответствующий ресурс называют 90%-ный ресурс. На рисунке 9 90%-ный ресурс соответствует .

Рисунок 9 – Гамма-процентный ресурс при работе объекта

На рисунке 9 по оси абсцисс кривой распределения показан гамма-процентный ресурс .

Если ресурс изделий имеет распределение с плотностью вероятности то гамма-процентный ресурс находят из уравнения

$$\int_0^y f(x) dx = \gamma \quad (21)$$

Из рисунка 9 видно, что доля объектов, которые исчерпали свой ресурс до определенной наработки, определяется заштрихованной долей площади под кривой до ординаты данной наработки (при этом вся ресурс (y при работе объектов площадь под кривой принимается за 100 %)

Если наблюдения или испытания вести до тех пор, пока все 100 % объектов исчерпают свой ресурс (достигнут предельного состояния), т. е. до наработки $=0$, то по их результатам легко определить средний ресурс. Продолжительность испытаний (наблюдений) при этом будет максимальной.

Например, средний доремонтный ресурс сельскохозяйственных тракторов и их агрегатов должен достигать 6...8 тыс. моточасов. При этом долговечность отдельных тракторов определенной марки может значительно превышать средний доремонтный ресурс. Это требует для завершения испытаний (наблюдений) в хозяйственных условиях с исчерпанием ресурса у всех наблюдаемых машин пять лет и более.

Гамма-процентный ресурс как оценочный показатель долговечности позволяет значительно сократить время испытаний (наблюдений) тракторов или их агрегатов, так как испытания (наблюдения) ведут до исчерпания ресурса у сравнительно небольшого количества (10... 20 %) машин. При этом величина y ресурса будет соответственно равна $=90\%$, $=80\%$ ($=90\%$, $=80\%$).

Чем больше установленная , тем меньше длительность испытаний (наблюдений). Однако для получения оценок ресурса с определенной регламентированной точностью при уменьшении длительности испытаний потребуется увеличить количество испытываемых объектов.

На основании гамма-процентного ресурса оценивают качество новых и отремонтированных машин и их агрегатов.

Сроком службы называется календарная продолжительность эксплуатации объекта от её начала или возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние.

Средний ресурс определяется по формуле:

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad (22)$$

где T_i – срок службы i -го объекта

Гамма-процентный срок службы – календарная продолжительность эксплуатации, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью y процентов.

В какой-то мере долговечность характеризуется и такими показателями, как гарантийная наработка (ресурс) и срок гарантии.

Конкретные значения количественных показателей долговечности задают в зависимости от назначения, особенностей применения объектов и влияния отказов на безопасность работы. Для установления проводят специальные расчеты на прочность и ресурсные испытания, а также используют результаты испытания прототипов и опытных образцов объектов.

Ремонтопригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов. Ремонтопригодность оценивается вероятностью восстановления, гамма-процентным и средним временем восстановления работоспособного состояния, интенсивностью восстановления и средним временем восстановления.

Вероятность восстановления в заданное время, или вероятность своевременного восстановления, т. е. вероятность того, что время восстановления (время, затрачиваемое на обнаружение, поиск причины отказа и устранение последствий отказа) не превысит заданного.

Вероятность восстановления:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (23)$$

где λ – среднее время восстановления,

t – заданное время устранения отказа.

Для большинства изделий машиностроения вероятность восстановления подчиняется экспоненциальному закону распределения:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (24)$$

Время, в течение которого восстановление работоспособности объекта будет осуществлено с вероятностью P , выраженной в процентах, называется гамма-процентным временем восстановления. Этот показатель определяют как корни уравнения

$$P = e^{-\lambda t} \quad (25)$$

где $f(t)$ – функция распределения ресурса, срока службы.

Статистические оценки для гамма-процентных показателей могут быть получены на основе статистических оценок либо непосредственно, либо после аппроксимации эмпирических функций подходящими аналитическими распределениями. Необходимо иметь в виду, что экстраполирование эмпирических результатов за пределы продолжительности испытаний (наблюдений) без привлечения дополнительной информации о физической природе отказов может привести к значительным ошибкам.

Среднее время восстановления – это математическое ожидание времени восстановления работоспособности. При наличии статистических данных о длительностях восстановления для восстанавливаемых (ремонтируемых) объектов среднее время восстановления определяют по формуле:

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (26)$$

где n – число обнаруженных и устраненных отказов объектов;

t_i – время восстановления отказа.

Если рассматривать подряд все промежутки (в порядке возрастания индекса i), то эти величины можно рассматривать как поток восстановления, имеющий чаще всего логарифмически нормальное распределение. В качестве характеристики рассеивания времени восстановления, как и для других случайных величин, используется также дисперсия и среднеквадратическое отклонение.

Интенсивность восстановления – это условная плотность вероятности восстановления работоспособного состояния объекта, определенная для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента восстановление не было завершено.

Средняя трудоемкость восстановления – это математическое ожидание трудоемкости восстановления объекта после отказа.

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (27)$$

t_i – трудоемкость восстановления i -го объекта за некоторый период эксплуатации.

Затраты времени и труда на проведение технического обслуживания и ремонта с учетом конструктивных особенностей объекта, его технического состояния и условий эксплуатации характеризуются оперативными показателями ремонтпригодности.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять исправное и работоспособное состояние в течение и после хранения и транспортирования.

Срок сохраняемости – календарная продолжительность хранения и (или) транспортировки объекта, в течение и после которой сохраняются значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в установленных пределах.

Сохраняемость количественно оценивается с помощью следующих показателей, измеряемых в годах, месяцах и других единицах.

Средний срок сохраняемости, т. е. математическое ожидание срока сохраняемости.

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (28)$$

где t_i – срок сохраняемости i -го объекта.

Гамма-процентный срок сохраняемости, т. е. срок сохраняемости, который будет достигнут объектом с заданной вероятностью P процентов.

Эти показатели при необходимости включаются в нормативно-техническую документацию, но не заменяют срок хранения, который также указывают в технических требованиях на объект.

Показатели безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости являются единичными показателями надежности, так как они характеризуют только одно свойство

надежности объекта.

3.2. Комплексные показатели надежности машин

Комплексный показатель количественно характеризует одновременно два или несколько различных свойств надежности технического объекта. К комплексным показателям надежности относятся коэффициенты готовности, технического использования, оперативной готовности объекта.

Коэффициент готовности K_g показывает вероятность того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых использование объекта по назначению не предусматривается.

Этот коэффициент статистически определяется как отношение суммарного времени пребывания наблюдаемых объектов в работоспособном состоянии к произведению числа этих объектов () на продолжительность эксплуатации (за исключением простоев при проведении плановых ремонтов и технического обслуживания):

$$K_g = \frac{\sum_{i=1}^N T_{\text{раб}}}{\sum_{i=1}^N T_{\text{эксп}}} \quad (29)$$

где $T_{\text{раб}}$ – суммарное время пребывания i -го объекта в работоспособном состоянии ($i=1,2, N$);

$T_{\text{эксп}}$ – продолжительность эксплуатации, состоящей из последовательно чередующихся интервалов времени работы и восстановления (устранения отказов).

При порядке обслуживания, предусматривающем немедленное начало восстановления отказавшего объекта, т. е. при установившемся режиме эксплуатации, коэффициент готовности вычисляют по формуле:

$$K_g = \frac{T_{\text{раб}}}{T_{\text{раб}} + T_{\text{вос}}} \quad (30)$$

где $T_{\text{раб}}$ – наработка на отказ, характеризующая безотказность;

$T_{\text{вос}}$ – среднее время восстановления, характеризующее ремонтпригодность.

Таким образом, из формулы (30) видно, что коэффициент готовности показывает долю, которую составляет время работы от суммарного времени, расходуемого на работу и восстановление. Коэффициент готовности характеризует готовность объекта в функционировании, т.е. применению по назначению. Под планируемым периодом, в течение которого применение объекта по назначению не предусматривается, имеют в виду простои машины на плановых ТО, ремонте, хранении. При расчете коэффициента учитывают только основное время, простои по организационным причинам не учитывают.

Он характеризует одновременно два различных свойства объекта: его безотказность и ремонтпригодность, а поэтому является комплексным показателем.

Коэффициент технического использования – отношение математического ожидания 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 тот же период.

Этот коэффициент статистически определяется как отношение суммарного времени пребывания наблюдаемых объектов в работоспособном состоянии к произведению числа наблюдаемых объектов () на заданное время эксплуатации:

$$K_{\text{т.и.}} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{\text{раб}}}{\sum_{i=1}^N T_{\text{эксп}}} \quad (31)$$

где $T_{\text{раб}}$ – время пребывания машины в работоспособном состоянии;

$T_{\text{эксп}}$ – продолжительность эксплуатации, состоящей из интервалов времени работы, технического обслуживания и ремонта.

Если заданное время эксплуатации различно для каждого объекта, то для подсчета величины применяется формула:

$$K_{\text{т.и.}} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{\text{раб}}}{\sum_{i=1}^N T_{\text{эксп}}} \quad (32)$$

где $T_{\text{раб}}$ – суммарное время работы всех объектов;

$T_{\text{пр.пл.}}^{\text{сум}}$ – суммарное время простоев из-за планового и внепланового ремонта всех объектов;

$T_{\text{пр.тех.}}^{\text{сум}}$ – суммарное время простоев из-за планового и внепланового технического обслуживания всех объектов (время простоев по организационным причинам здесь не учитывается).

Если разделить числитель и знаменатель выражения (32) на общее количество отказов, наблюдавшихся в рассматриваемый период времени, то:

$$K_{\text{т.и.}} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{\text{раб}}}{\sum_{i=1}^N T_{\text{пр.тех.}}^{\text{сум}}} \quad (33)$$

где $T_{\text{пр.тех.}}^{\text{сум}}$ – среднее время, затрачиваемое при техническом обслуживании (профилактике) на

один отказ;

– среднее время, затрачиваемое при простое машины.

Кроме указанных комплексных показателей существуют групповые и индивидуальные показатели надежности машин, характеризующие общее техническое совершенство конструкции машины, приспособленность к проведению профилактических и восстановительных работ, эксплуатационную и ремонтную технологичность, учитывающие суммарную и удельную трудоемкость технического обслуживания и ремонта.

Таким образом, значение коэффициента находится в обратной зависимости от отношений K_r или в прямой зависимости от значения коэффициента K_g .

Коэффициент использования – обобщенный комплексный показатель надежности и более полной характеристики ремонтпригодности, чем коэффициент готовности, так как учитывает все простои, связанные с техническим обслуживанием и ремонтом объекта.

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.

Если вероятность безотказной работы объекта в течение времени не зависит от момента начала работы, то величину коэффициента оперативной готовности определяют по формуле

$$K_{op} = \frac{K_g}{1 - K_r} \quad (34)$$

Коэффициент оперативной готовности может характеризовать надежность техники для уборки урожая, пожарных машин, кормоприготовительных машин животноводческих комплексов и др.

Коэффициент сохранения эффективности – отношение значения показателя эффективности использования объекта по назначению за определенную продолжительность эксплуатации к номинальному значению этого показателя, вычисленному при условии, что отказы объекта в течение того же периода не возникают.

Коэффициент сохранения эффективности характеризует степень влияния отказов на эффективность его применения по назначению. Для каждого конкретного типа объектов содержание понятия эффективности и точный смысл показателя (показателей) эффективности задаются техническим заданием и вводятся в нормативно-техническую и (или) конструкторскую (проектную) документацию.

Надежность изделия – один из основных показателей его качества. Применительно к сельскохозяйственной технике качество – это неотъемлемая от изделия совокупность признаков, выражающая его специфику и отличие от других изделий. Эта совокупность определяет обычно степень пригодности изделия для использования его по назначению.

Надежность современных машин несоизмеримо выше надежности тех, что были полвека назад. И все же надежность сельскохозяйственной техники в меру требований сегодняшнего дня нельзя признать достаточной. Средний ресурс наработки новых тракторов до капитального ремонта пока не превышает 5...6 тысяч мотто-час, вероятность безотказной работы большинства сложных машин не превышает 0,7... 0,8, коэффициент технической готовности автомобилей колеблется в пределах 0,70-0,90, уборочных машин – в пределах 0,7...0,75.

Несмотря на то, что надежность сельскохозяйственной техники еще очень низка, требования к её качеству с каждым годом повышаются. Это вызвано тем, что проведение полевых работ строго регламентируется календарными сроками, метеорологическими условиями регионов и передовыми технологиями возделывания сельскохозяйственных культур. Потери, вызванные простоями техники по техническим причинам, иногда приводят к невозможным затратам вследствие гибели части урожая. Поэтому надежность сельскохозяйственной техники должна быть такой, чтобы она могла обеспечивать выполнение сельскохозяйственных работ в сжатые сроки и с высоким качеством.

4. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ МАШИН

4.1. Факторы, снижающие надежность машин

В процессе эксплуатации любая машина подвергается различным внутренним и внешним воздействиям, в результате чего происходит отклонение ее основных параметров и характеристик от номинала. Надежность снижается от многочисленных факторов, которые действуют комплексно, находясь в сложной зависимости друг от друга.

Детали сельскохозяйственной техники выходят из строя под действием несущих нагрузок и скоростей, от воздействия кислотной или щелочной сред. Большинство из них утрачивают свою работоспособность постепенно и главным образом под действием переменных напряжений и под влиянием износа от трения, которое приводит к появлению недопустимо больших зазоров в сопряжениях или к недопустимому нарушению геометрической формы деталей.

Такая постепенная утрата работоспособности машин и их деталей происходит до достижения некоторого предельного состояния, после чего машина в целом или ее отдельные детали не могут быть дальше использованы и либо заменяются новыми, либо подвергаются ремонту, восстанавливающему их ресурс полностью или частично. Для успешного решения вопросов надежности машины и ее деталей нужно уметь правильно определять предельные состояния как машины в целом, так и ее деталей.

Наиболее важными предельными состояниями деталей выше-указанных машин являются следующие: потеря прочности; усталостное разрушение; разрушение рабочих поверхностей, которые вызывают нарушение нормальной работы машины, изменение геометрической формы деталей, влекущее за собой потерю работоспособности машины. Способность деталей сопротивляться единичным перегрузкам называется прочностью; усталостным разрушениям – выносливостью; а противостоять изнашиванию их поверхности – износостойкостью.

4.2. Причины, снижающие работоспособность и надежность машин

В сельском хозяйственной технике причиной отказов могут быть как внешние, так и внутренние факторы. К внешним факторам относим действия на детали различных полей: силового (механического), теплового, электрического, магнитного, звукового, светового и др. Под действием силового поля происходит:

- пластическое деформирование деталей в виде изгиба, кручения, растяжения, сжатия и др.;
- хрупкое и вязкое разрушение в виде трещин;
- усталостное разрушение.

Под действие теплового поля возникают трещины, изменяется структура металла. Под действием электрического поля происходит плавление и разрушение контактирующих поверхностей. Под действием магнитного поля, размагничивание; звукового поля – вибрация и усталостное разрушение; светового поля - потеря пластичности резинотехнических изделий.

Теперь рассмотрим каждую из перечисленных причин.

1. Усталостные разрушения.

Усталость – процесс постепенного накопления повреждений материала под действием переменных напряжений, приводящих к изменению свойств, образованию трещин, их развитию и разрушениям.

Накопление повреждений, приводящее к образованию субмикроскопической трещины, объясняется неоднородностью строения металлов.

Кристаллы, составляющие структуру металла, обладают различными упругими свойствами в зависимости от ориентировки их кристаллографических осей механические свойства материала деталей (предел прочности, текучести и др.) являются средними статистическими значениями свойств отдельных кристаллов. Вследствие этого даже при средних напряжениях, значительно меньших, чем предел текучести, возникают пластические деформации отдельных кристаллов, которые создают нарушения упругости массы металла, проявляющиеся в явлении гистерезиса (рис. 10). Площадь петли гистерезиса представляет собой необратимую часть энергии, израсходованную на деформацию.

- напряжение; - деформация

Рисунок 10 – Петля гистерезиса

Пластические деформации вызывают структурные превращения, и в сталях происходит выпадение карбидов. В кристаллах появляются линии скольжения. Пластические деформации вызывают наклеп – упрочнение металла, блокирующее развитие линий скольжения. Процессу упрочнения металла противодействует другой процесс – разупрочнения, в конечном итоге приводящий к образованию невидимой субмикроскопической трещины, которая перерастает в микроскопическую, образующую фокус излома.

От очага начинается распространение усталостной трещины по сечению.

Часто в деталях машин зарождается несколько усталостных трещин из разных фокусов. Обычно зарождение происходит на участках с большой концентрацией напряжений или в местах рисок и царапин от механической обработки.

Усталостные разрушения по сечению наблюдаются в деталях, подвергающихся действию растяжения – сжатия, изгиба и кручения валы, оси, зубья зубчатых колес, тяги, рычаги, балки, сварные соединения и др.

Они возникают также в поверхностных слоях деталей при трении скольжения и качения под действием контактных напряжений тела качения и дорожки подшипников качения, ходовые колеса, катящиеся по рельсам, ролики, зубья зубчатых колес и др.

До настоящего времени нет исчерпывающих объяснений сущности процессов, вызывающих усталостные разрушения. Одной из теорий, наилучшим образом объясняющей ряд явлений, происходящих в металлах, в том числе разрушения от усталости, является теория дислокаций.

2. Изнашивание (истирание) трущихся поверхностей.

Этот процесс заключается в разрушении и отделении материала с поверхности тела при трении, проявляющийся в постоянном изменении размеров и формы тела. Этот процесс происходит особенно интенсивно в первоначальный период работы изделия. Не даром заводы изготовители рекомендуют менять масла через определенный пробег автомобиля, так как в маслах появляются продукты износа, что соответственно повлечет за собой ускоренное изнашивание.

3. Деформация деталей.

Деформация деталей в процессе эксплуатации происходит из-за естественного старения массивных чугунных деталей (блоки и головки двигателей). А так же в результате нагрева и охлаждения происходит коробление деталей. Это приводит к изгибу, нарушению соосности и др.

4. Механические повреждения деталей.

Механические повреждения деталей: внутренние и внешние трещины, раковины при литье, пробоины, риски, задиры и др. Данная причина это результат высоких динамических нагрузок, попадания в объект посторонних предметов, некачественная термообработка или неправильный выбор материала деталей.

5. Коррозионное разрушение деталей и изолирующих покрытий.

Это результат воздействия на объект внешних факторов (окислительной или химической среды). Эта причина относится к внешним факторам воздействия. Коррозионное разрушение металлов и сплавов происходит в три стадии:

1. Доставка к поверхности металла коррозионно-активных частиц (ионов, молекул) вследствие диффузии и конвекции.

2. Многостадийное взаимодействие частиц металла.

3. Отвод продуктов коррозии с поверхности металла за счет диффузии и силового поля.

Существуют различные виды коррозии, которые классифицируются по следующим признакам:

а) по геометрии распространения: сплошная, местная, подповерхностная, межкристаллическая, избирательная и др.;

б) по характеру взаимодействия металла со средой: химическая, электрохимическая, солевая, щелочная, кислотная и др.;

в) по типу коррозионной среды: атмосферная, газовая, морская, подземная;

г) по характеру дополнительных воздействий: коррозия под напряжением, при трении, контактная, фреттинг-коррозия, радиохимическая, биологическая и др.;

д) по степени коррозии.

Для оценки степени коррозии различают прямые и косвенные показатели. К прямым показателям относятся:

- изменение массы изделия, г/м²;
- глубина коррозии, мкм;
- доля поверхности изделия, занятая коррозией;
- число коррозионных точек на м²;
- объем водорода, выделенного с единицы площади, мл/м;
- время до появления коррозионной трещины или полного разрушения, час;
- значение тока коррозии, мА.

К косвенным показателям степени коррозии относится изменение физико-механических свойств металла и его токопроводящих свойств.

6. Нарушение регулировок механизмов машин.

Это происходит вследствие истирания рабочих поверхностей деталей, ослабление резьбовых соединений регулировочных устройств.

7. Потеря упругости, намагниченности.

8. Нарушение теплового режима (накипь, нагар).

4.3. Физическое и моральное старение машин

Какой бы совершенной не была машина через определенное время нарушается ее работоспособность или же дальнейшая ее эксплуатация становится экономически не целесообразна, т.е. машина в процессе эксплуатации машина стареет. Например, станция «МИР» является трудом инженерной и конструкторской мысли, однако по истечении 15 лет эксплуатации дальнейшее ее использование стало не экономично и не целесообразно.

В процессе эксплуатации под воздействием внешних и внутренних факторов машина стареет. Различают физическое и моральное старение.

Физическое старение происходит вследствие физического износа машины, который является результатом постепенного или внезапного разрушения материала различных элементов, в связи с чем, машина перестает удовлетворять предъявляемым требованиям. Физический износ может происходить при эксплуатации (износ первого вида) и при ее бездействии (износ второго вида).

Количественно физический износ определяется в процентах, принимая за 0% износ новых деталей и за 100% износ выбракованных деталей, не подлежащих дальнейшему использованию в машине данного вида.

Количественными измерениями износа элементов машин может воспользоваться при определении сроков остановки машины для ремонта, для планирования закупки запасных частей по количеству и срокам. Дать количественную оценку физического износа машины в целом сложнее, но методы оценки этого износа существуют.

Экономической мерой физического износа машины могут служить затраты на ремонт, необходимые для устранения этого износа. Экономический измеритель (показатель) физического износа машины определяют по следующей формуле:

$$I = \frac{C_{\text{рем}}}{C_{\text{пол}}} \cdot 100\% \quad (35)$$

где I - экономическая мера физического износа машины в процентах от стоимости ее воспроизводства;

- сметная стоимость ремонта машины, руб;
- стоимость полного воспроизводства машины на момент определения физического износа с учетом обесценивания в связи с появлением новых более совершенных конструкций, руб.;
- относительная величина статочного износа, устанавливаемая опытным путем, %.

Если $I > 100\%$, то целесообразность ремонта машины может быть обоснована только конструктивными соображениями не экономического порядка.

Моральным старением машины называется уменьшение стоимости действующей техники под влиянием технического прогресса.

Различают две формы морального старения машины.

Моральным износом первой формы являются утрата действующей стоимости по мере того, как машины такой же конструкции начинают производить дешевле.

Моральным износом второй формы являются обесценивание действующей техники вследствие появления более совершенных конструкций машин.

Моральный износ машины есть экономическая категория, характеризующая степень обесценивания действующей техники в результате технического старения и уменьшения стоимости

воспроизводства машин прежних типов.

Критерием морального износа машины служит коэффициент понижения ее стоимости вследствие технического прогресса:

$$K_{\text{м}} = \frac{C_{\text{п}}}{C_{\text{н}}} \quad (36)$$

где $C_{\text{п}}$ – первоначальная стоимость машины, руб.;

$C_{\text{н}}$ – стоимость полного воспроизводства машины с учетом обесценивания ее первоначальной стоимости, вследствие появления более совершенных машин, а так же из-за снижения стоимости воспроизводства аналогичных машин, руб.

Тогда общий износ машины будет равен:

$$I_{\text{м}} = 1 - K_{\text{м}} \quad (37)$$

где $I_{\text{м}}$ – измеритель общего износа в долях от первоначальной стоимости;

$K_{\text{м}}$ – критерий физического морального износа в долях ее первоначальной стоимости.

Показатели физического и морального износа имеют большое значение для правильного решения вопросов машиноиспользования: планирования ремонтов, определения экономической эффективности и целесообразности ремонта машин.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ МАШИН

5.1. Методы расчета показателей надежности машин

В процессе работы сельскохозяйственная техника работает в различных климатических, дорожных и других условиях, в результате она подвергается не только переменным, но и случайным воздействиям, в связи с этим для анализа и контроля надежности используется теория вероятности и математической статистики.

Оценка надежности объектов при помощи математических методов на основании обобщения накоплено статистической информации об их работе в реальных условиях эксплуатации позволяет выявлять вероятностные закономерности и соотношения между случайными факторами, в различной мере влияющими на работоспособность, безотказность и долговечность объектов. Надежность работы с.х. техники зависит от объективных и субъективных факторов.

Объективные факторы – действие окружающей среды, механические и другие воздействия (износ, старение, нагрузка).

Субъективные факторы – зависят от действия человека (выбор схемы, конструкции, режимов работы, ТО и ремонтов).

Результат действия этих факторов на машину – отказ. Методы исследований надежности основаны на том, что отказ – случайное событие и для предупреждения необходимо знать физические причины и закономерности возникновения и развития его.

Случайным называют событие, которое при рассматриваемом сочетании условий может произойти, а может и не произойти.

При проведении большого числа испытаний обнаруживают определенные закономерности в наступлении случайных событий. Изучение этих закономерностей составляет одну из задач теории

веро-ятностей.

Изучение закономерностей появления отказов как случайных со-бытий является центральным вопросом всей проблемы надежности.

Испытание (опыт) – это практическое создание некоторых усло-вий, правил, влияющих на некоторое физическое явление, с регистра-цией результатов. В результате испытаний происходит явления: еди-ничные или массовые.

Единичные – явления, которые возникла однократно и при многократном воспроизведение того же испытания не повторяется.

Массовые – явление, повторяющееся при многократном воспро-изведении опыта.

Событие – это качественный результат испытаний, проводимого при выполнении определенных условий.

Достоверным – называется событие, которое произойдет неиз-бежно при заданных условиях.

Невозможным называет событие, которое при тех же условиях заведомо произойти не может.

Не совместимыми называют два события, при испытании появле-ние одного исключает возможность появления другого (отказ-работоспособность).

Совместимыми называют два события, при испытании появление одного не исключает возможность появления другого.

Единственно возможными называется событие хотя бы раз за-фиксированное при испытаниях.

Равновозможными называются несколько возможных событий, появившихся в процессе испытаний и при этом нет оснований предпо-лагать, что появление одних возможно появления других.

Независимыми называют событие, появление которых не зависит от того, какое событие происходит перед этим (независимый отказ).

Все случайные величины можно разделить на две группы непре-рывные и дискретные.

Непрерывными случайными величинами, называют такие, которые в некотором интервале могут принимать любое значение.

Дискретными случайными величинами называют такие, которые могут принимать лишь определенное значение Число бракованных де-талей в партии изношенных – дискретная случайная величина, а вели-чина износа этих деталей – непрерывная случайная величина.

Случайное событие при неоднократном воспроизведении одного и того же опыта или испытания в одних и тех же условиях протекает всякий раз несколько по-иному в различные моменты времени

Ввиду этого для количественной оценки случайного события ис-пользуют вероятность того, что случайная величина окажется в ука-занном интервале ее возможных значений.

Вероятность – это объективная математическая оценка возмож-ности реализации случайного события или случайной величины Веро-ятность события A – это отношение числа случаев, благоприятствую-щих наступлению данного события, ко всему числу несовместных, единственно возможных и равновозможных событий:

$$P(A) = \frac{n_A}{n}, \quad (38)$$

где n_A – число случаев, благоприятствующих наступлению собы-тия,

n – число несовместных, единственно возможных и равновоз-можных собы-тий. $P(A)=1$ – событие достоверно, $P(A)=0$ – событие невозможно.

Основные характеристики надежности имеют значительный раз-брос, то есть они случайные величины, а поэтому при многократном повторении они подчиняются определенным статистически устойчивым законам распределения слу-чайной величины.

Распределение случайных величин – это совокупность значений случайных величин расположенных в возрастающем порядке с указа-нием их частот для эмпирических распределений или вероятностей для теоретических распределений.

Эмпирическое распределение случайных величин строится в виде гис-тограммы 1, где по горизонтальной оси откладывают показатель надежности (рис. 11), а по вертикальной – опытную вероятность или опытную частоту

распределения (3) и закона распределения Вейбулла (4)

Гистограмма, полигон и кривая опытных вероятностей дает наглядное представление об опытном распределении и позволяет решить ряд инженерных задач графическими способами.

Плотность распределения непрерывной случайной величины - дифференциальная функция распределения случайной величины, является производной от интегральной функции распределения непрерывной случайной величины:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx}, \quad (39)$$

где $F(x)$ - интегральная функция распределения случайной величины (рис. 12).

Рисунок 12 – Кривая накопленных опытных вероятностей и интегральной функции закона нормального распределения

5.2. Теоретические законы распределения показателей надежности машин

Показатели надежности тракторов, сельскохозяйственных машин и их элементов определяют в результате испытания или наблюдения группы однотипных машин или однотипных элементов в условиях их нормальной эксплуатации.

Полученные значения отдельных показателей надежности обычно в дальнейшем переносят на все машины, то есть на полную совокупность машин, в результате чего оценивают надежность машин данной марки и разрабатывают мероприятия по повышению качества их изготовления и ремонта. Полученный показатель надежности может быть перенесен на отдельные частные совокупности машин для разработки и планирования режимов их технического обслуживания и ремонта в конкретном хозяйстве.

Такой перенос показателей надежности от одной группы машин на другую правомочен только в случае достаточной массовости и достоверности первичной информации. Результаты испытания машин на надежность (количественные оценки показателей надежности) зависят от многих факторов: квалификации машинистов и наблюдателей, почвенных и климатических особенностей, сорта и чистоты горюче-смазочных материалов, качества запасных частей и др.

Все это вызывает необходимость внесения коррективов: определения по данным первичной информации для данной совокупности машин, общего теоретического закона распределения показателя надежности для полной совокупности машин.

Теоретический закон распределения выражает общий характер изменения показателя надежности машин и исключает частные отклонения, связанные с недостатками первичной информации. Такой процесс замены опытных закономерностей теоретическими называется в теории вероятностей процессом выравнивания (сглаживания) статистической информации.

В теории надежности для выравнивания опытной информации используют большое количество различных законов распределения. К таким законам, например, относятся: нормальный (Гаусса), логарифмически-нормальный, экспоненциальный, биномиальный, гамма-распределение, Пуассона, Вейбулла, Релея, Стюдента и др.

У каждого закона своя область применения, свои параметры и расчетные уравнения, свои заранее подготовленные таблицы, упрощающие проведение расчетов.

Применительно к показателям надежности машин, эксплуатируемых в сельском хозяйстве, в подавляющем большинстве случаев используют закон нормального распределения (ЗНР) и закон распределения Вейбулла (ЗРВ). Экспоненциальный закон распределения и закон распределения Релея представляют собой частные случаи закона распределения Вейбулла.

Закон распределения случайной величины – это всякое соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями случайных величин и соответствующими этим значениям вероятностями или частотами. Закон распределения случайных величин позволяет определить вероятность (частоту) проявления случайной величины в любом интервале её возможных значений.

Закон нормального распределения (ЗНР) получил наибольшее применение в технических приложениях. Этому закону подчиняются многие случайные величины массовых явлений, на которые оказывает влияние большое количество факторов, равнозначных по своим значениям.

Плотность нормального распределения непрерывной случайной величины определяют по

уравнению:

(40)

- где среднее значение показателя надежности;
- основание натурального логарифма ($e=2,718$);
- среднеквадратическое отклонение;
- случайное значение показателя надежности ($- < > +$).

Величины принято называть параметрами ЗНР.

Интегральную функцию определяют интегрированием дифференциальной функции:

$$, \quad (41)$$

Отличительной особенностью данного закона распределения является симметричное рассеивание частных значений показателей надежности относительно среднего значения.

При условии $=0$ и $=1$ получим центрированную и нормированную интегральную функцию, значение которой приведено в табличных данных:

$$, \quad (42)$$

$$, \quad (43)$$

Значение интегральной функции связано с табулированным уравнением:

$$, \quad (44)$$

$$, \quad (45)$$

Отличительная особенность закона распределения Вейбулла-Гнеденко (ЗРВ) - правосторонняя асимметрия дифференциальной функции. Вследствие асимметрии в отличие от нормального закона среднее (μ), модальное (m) и медианное (med) значение показателя надежности при законе распределения Вейбулла-Гнеденко не равны между собой (рис. 13).

Рисунок 13 – Дифференциальная функция

Дифференциальную функцию для этого закона определяют уравнением:

$$, \quad (46)$$

где - параметры закона распределения Вейбулл-Гнеденко.

Экспоненциальное (показательное) распределение характеризуется тем, что плотность распределения вероятности при $x=0$ имеет вид:

$$, \quad (47)$$

$$, \quad (48)$$

где - постоянная величина.

$$, \quad (49)$$

У показательного распределения математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение одинаковы:

$$, \quad (50)$$

При решении практических задач надежности часто приходится иметь дело с распределением дискретных случайных величин по закону распределения Пуассона. Вероятности частот событий, встречающихся при некотором числе испытаний, для распределения Пуассона находят по формуле:

$$, \quad (51)$$

- где - частота данного события;
- вероятность событий при одном испытании;
- число испытаний;
- математическое ожидание случайной величины.

Числовые характеристики распределения случайной величины:

- Среднее значение случайной величины.

При отсутствии статистического ряда ($n < 25$):

$$, \quad (52)$$

При наличии статистического ряда:

где $\bar{x}_i$ – значение середины i -го интервала;

- количество интервалов статистического ряда;

- опытная вероятность i -того интервала.

- Дисперсия – характеристика рассеивания показателей надежности.

При отсутствии статистического ряда ($n < 25$):

(54)

При наличии статистического ряда

(55)

- Среднеквадратическое отклонение.

При отсутствии статистического ряда ($n < 25$):

(56)

При наличии статистического ряда:

(57)

Коэффициент вариации опытных данных:

(58)

5.3. Система сбора и обработки информации о надежности машин

Система сбора и обработки информации о надежности серийно выпускаемых новых и отремонтированных изделий машиностроения представляет собой совокупность организационно-технических мероприятий по получению необходимых и достоверных сведений о надежности объектов.

Сбор и обработку информации о надежности объектов выполняют с целью усовершенствования конструкции, технологии изготовления, сборки и испытаний объектов, обеспечивающих повышение надежности; разработки мероприятий по совершенствованию диагностики, технического обслуживания и текущих ремонтов; повышения качества капитальных ремонтов и снижения затрат на их проведение; оптимизации норм расхода запасных частей.

Основные задачи системы сбора и обработки информации:

- ☐ определение показателей надежности объектов;
- ☐ выявление конструктивных и технологических недостатков объектов, приводящих к снижению их надежности;
- ☐ выявление деталей и сборочных единиц, лимитирующих надежность машины в целом;
- ☐ изучение закономерностей возникновения неисправностей и отказов;
- ☐ установление влияния условий и режимов эксплуатации на надежность объекта;
- ☐ корректировка нормируемых показателей надежности; определение эффективности мероприятий по повышению надежности объектов.

В ходе разработки конструкции информация о надежности объектов поступает из лабораторий, проводящих стендовые испытания опытных образцов, а также с заводов, полигонов, машиноиспытательных станций, хозяйств, где машины проходят опытную эксплуатацию.

Важным источником информации о надежности в гарантийный период эксплуатации объекта служат рекламации от потребителей техники.

Основной источник информации о надежности объекта – подконтрольная эксплуатация, в ходе которой фиксируют данные об отказах. Полученную информацию направляют на завод-изготовитель или ремонтный завод в виде донесений об отказе изделия. Донесение содержит информацию об изделии, условиях его эксплуатации, характере и причинах отказа, трудоемкости восстановления.

На основе донесений составляют сводные перечни видов отказов изделий, оценки показателей надежности, сводную ведомость расхода запасных частей и другие документы.

Информация о надежности объекта должна быть:

- ☐ достоверной (истинной, правильной, отражающей объективные факторы без домыслов и догадок);
- ☐ полной (исчерпывающей, содержащей все существенные сведения, которые

учитывают во время принятия решений);

- ☐ однородной (относящейся к одинаковым объектам, эксплуатирующимся примерно в одинаковых условиях);
- ☐ дискретной (разделена по отдельным признакам);
- ☐ своевременной (могла использоваться для изменения конструкций, корректировки технологического процесса изготовления, ремонта машины и технического обслуживания).

Сбор, обработка и анализ информации о надежности объектов связаны с необходимостью исследования случайных событий и величин. Все показатели надежности сельскохозяйственной техники относят к категории случайных величин, которые рассчитывают методами теории вероятностей и математической статистики.

Статистическую оценку показателей надежности дают совокупности объектов, объединенных единым признаком или свойством. Например, детали можно группировать в совокупности по различным признакам: размерам, отклонениям формы, износам; машины – по долговечности и др. Различают статистическую, генеральную и выборочную совокупности.

Статистическая совокупность – это совокупность, состоящая из однородных объектов, обладающих качественной общностью.

Генеральная совокупность – это совокупность объектов, подлежащих исследованию. Однако исследовать все объекты генеральной совокупности обычно не представляется возможным. Поэтому для исследования из генеральной совокупности выбирают определенное число объектов, которое называют выборочной совокупностью или выборкой.

Выборочная совокупность (выборка) – определенное число объектов, отработанных из генеральной совокупности для получения объективных сведений о генеральной совокупности.

Выборка должна быть подобна генеральной совокупности, чтобы на основании ее можно было достаточно уверенно судить об интересующем признаке генеральной совокупности. Выборка должна быть представительной, каждый объект – отобран случайно и все объекты – иметь одинаковую вероятность попасть в выборку.

Для объективной оценки генеральной совокупности очень важен объем выборки, то есть число объектов наблюдений, составляющих выборку.

В случае же изучения менее однородного материала метод получения выборки и ее объем приобретают решающее значение.

Так, при испытаниях машин объем выборки оценивают числом одновременно испытываемых машин с учетом полученных от каждой из них точек информации. Малый объем выборки в этом случае может привести к значительным ошибкам и сделать полученные результаты непригодными для практического использования. Слишком большое число одновременно испытываемых машин, хотя и приведет к более высокой точности расчетов, но будет неприемлемым из-за экономических соображений ввиду высокой стоимости испытаний каждой машины. Поэтому в данном случае необходимо искать оптимальное решение, при котором объем выборки, обеспечивая достаточную точность конечных результатов, не будет слишком большим, а сами испытания – слишком дорогими.

Если во время испытаний у каждого объекта выборочной совокупности будет зафиксирован интересующий исследователя показатель надежности, то полученную таким образом информацию называют полной. Если же испытания ограничивают по времени или наработке объектов и за это время или наработку не у всех объектов выборочной совокупности зафиксирован показатель надежности, то такую информацию называют усеченной. При этом возможны также случаи преждевременного снятия с испытаний объектов, у которых не зафиксирован показатель надежности и время или наработка которых не достигли заранее оговоренных условиями испытаний значений. Досрочное снятие машин с испытаний возможно при хозяйственной необходимости, авариях, пожарах и других непредвиденных обстоятельствах. Полученную по такой методике испытаний информацию называют многократно усеченной, а преждевременно снятые с испытаний машины – приостановленными.

Собранную информацию обрабатывают в следующей последовательности:

1. Построение статистического ряда исходной информации и определения величины смещения начала рассеивания.
2. Определение среднего значения и среднеквадратического отклонения показателя надежности.

3. Проверка информации на выпадающие точки.
4. Построение гистограммы, полигона и кривой накопленных опытных вероятностей.
5. Определение коэффициента вариации и выбор теоретического закона распределения, определение его параметров и графическое построение интегральной и дифференциальной.
6. Проверка совпадения опытных и теоретических законов распределения по критериям согласия.
7. Определение доверительных границ рассеивания одиночных и средних значений показателей надежности и возможных наибольших ошибок переноса.

Определение критериев согласия.

В теории вероятности применяют несколько критериев согласия. Применительно к надежности тракторов и сельскохозяйственных машин чаще всего используют критерии А.Н. Колмогорова или Пирсона.

Критерий Колмогорова определяется по формуле:

$$(59)$$

где .

Далее по таблице находим значения . Если вероятность меньше 0,05, то опытное распределение не соответствует предполагаемому теоретическому распределению. В случае если больше 0,05, теоретический закон распределения может быть принят в качестве характеристики исследуемого показателя надежности.

Критерий Пирсона - квадрат представляет собой сумму квадратов отклонений опытных и теоретических частот в каждом интервале статистического ряда информации:

$$(60)$$

где - число интервалов укрупненного статистического ряда;

- опытная частота в i-ом интервале статистического ряда;

- теоретическая частота в этом же интервале.

Укрупнение статистического ряда проводят тогда, когда значение теоретической частоты в интервале меньше пяти.

По таблице определяют табличные значения критерия Пирсона. Для входа в эту таблицу необходимо определить число степеней свободы:

$$(61)$$

Для ЗНР и ЗРВ обязательных связей $\nu = 3$. Критической вероятностью совпадения теоретического и опытного распределения вероятностей является $\alpha = 10\%$.

В том случае, если табличные значения критерия Пирсона при $\alpha = 10\%$ будет больше расчетного, гипотеза о соответствии принятого теоретического закона распределения опытному принимается, в противном случае – отбрасывается и надо принимать другие теоретические законы распределения или увеличивать объем выборки.

Доверительные границы рассеивания одиночного и среднего значений показателя надежности.

В результате испытания группы машин и обработки собранной информации определяют количественные характеристики показателей надежности. В дальнейшем значения этих характеристик должны быть перенесены на другие группы машин, работающие в других условиях. Хотя эти изменения носят случайный характер, они происходят в определенных границах и в определенном интервале, величина которого зависит от многих факторов, в том числе и от количества машин в группе. Определение границ рассеивания характеристик показателей надежности, а, следовательно, и определение возможной ошибки их переноса из одних условий в другие является одной из основных задач теории надежности.

Точность оценки показателя надежности оценивается величиной доверительной вероятности α . Обычно она задается, причем величина ее принимается близкой к единице.

Границы, в которых может колебаться значение одиночного показателя надежности при заданной доверительной вероятности, называются нижней доверительной границей и верхней доверительной границей. Доверительным интервалом называется такой интервал значений показателя, в который при заданной доверительной вероятности α попадает 100% значений от общего числа наблюдений N .

Так одиночное значение показателя надежности конкретной машины может отличаться в 997 случаев из 1000 от среднего значения на величину $\pm$ при ЗНР и на величину 0,1 до 2,5 при ЗРВ – это высокая степень доверия расчета, она охватывает 99,7% всех случаев, задают меньше – тем

самым сближают границы рассеивания оди-ночного показателя надежности.

Степень доверия расчета оценивают площадью под дифференци-альной кривой ограниченной осью абсцисс и доверительными грани-цами и .

Площадь характеризует степень доверия расчета и гарантиру-ет заданную вероятность попадания показателя надежности в соответ-ствующий интервал его значений, поэтому – доверительный интер-вал (=0,8;0,9;0,95;0,99).

Интервал, в который при заданной доверительной вероятности попадают 100 % от общего числа объектов совокупности , называется доверительным интервалом .

Границы, в которых может колебаться значение единичного по-казателя надежности при заданной , называют нижней доверитель-ной границей и верхней .

Положение доверительных границ и доверительный интервал за-висит от доверительной вероятности , закона распределения единич-ного и среднего значения показателя надежности.

Расчетными уравнениями для определения доверительных гра-ниц и интервала при различных теоретических законах распределения будут при законе нормального распределения ЗНР (рис.14).

Для определения доверительных границ рассеивания единичного значения показателя надежности определим абсолютную ошибку:

$$\Delta = t_{\alpha} \cdot \sigma_{\bar{x}} \quad (62)$$

где t_{α} – коэффициент Стьюдента.

а) нижняя доверительная граница;

- одиночного показателя надежности:

$$L_{\alpha} = \bar{x} - \Delta \quad (63)$$

- среднего значения показателя надежности:

$$L_{\alpha} = \bar{x} - \Delta \quad (64)$$

б) верхняя доверительная граница;

- одиночного показателя надежности:

$$U_{\alpha} = \bar{x} + \Delta \quad (65)$$

- среднего значения показателя надежности

$$U_{\alpha} = \bar{x} + \Delta \quad (66)$$

в) доверительный интервал.

- одиночного показателя надежности

$$I_{\alpha} = U_{\alpha} - L_{\alpha} \quad (67)$$

- среднего значения показателя надежности

$$I_{\alpha} = U_{\alpha} - L_{\alpha} \quad (68)$$

Рисунок 14 – Дифференциальная и интегральная кривые распределе-ния случайной величины при нормальном законе распределения

При законе распределения Вейбулла.

а) нижняя доверительная граница;

- одиночного показателя надежности:

$$L_{\alpha} = \bar{x} - \Delta \quad (69)$$

- среднего значения показателя надежности:

$$L_{\alpha} = \bar{x} - \Delta \quad (70)$$

б) верхняя доверительная граница;

- одиночного показателя надежности:

$$U_{\alpha} = \bar{x} + \Delta \quad (71)$$

- среднего значения показателя надежности:

$$U_{\alpha} = \bar{x} + \Delta \quad (72)$$

где t_{α} – коэффициенты распределения Вейбулла принимаются по табли-це в зависимости от величины доверительной вероятности и чис-ла наблюдений N (при =0,95 и =50 =1,35, =0,77).

Абсолютная и относительная предельные ошибки переноса ха-рактеристик показателя

надежности.

Числовые значения характеристики показателя надежности изменяются в зависимости от количества наблюдаемых машин и условий их эксплуатации. Оценивают их изменения доверительными границами и доверительным интервалом.

При расчетах характеристик показателя надежности и переносе их на другие группы машин той же марки необходимо оценивать наибольшую возможную ошибку этого переноса.

Наибольшая абсолютная ошибка переноса опытных характеристик показателя надежности при заданной будет равна величине в обе стороны от среднего значения показателя надежности ().

Относительная ошибка переноса независимо от принятого теоретического закона распределения случайных величин определяется в % от среднего значения показателя надежности по следующей зависимости:

$$\sigma_{\text{перенос}} = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot 100\% \quad (73)$$

Следует иметь в виду, что применительно к условиям сельского хозяйства относительная ошибка переноса, определяемая при односторонней доверительной вероятности, не должна превышать 20%. В противном случае необходимо увеличивать объем информации (выборки).

Определение количества наблюдаемых машин и их элементов при оценке показателя надежности.

Приведенные выше зависимости показывают, что точность полученных оценок показателей надежности зависит от числа объектов наблюдений (измерений). С увеличением количества объектов наблюдений точность повышается. Так как испытание на надежность требует значительных затрат времени и средств, которые возрастают с увеличением количества испытываемых объектов, возникает необходимость определения количества машин, необходимых для испытаний при условии получения результатов с заданной точностью.

В теории вероятностей получены уравнения, связывающие величину относительной ошибки и количество объектов в выборке:

а) для нормального закона распределения

$$n = \left(\frac{z_{\alpha} \cdot \sigma}{\Delta} \right)^2 \quad (74)$$

б) для закона распределения Вейбулла

$$n = \left(\frac{z_{\alpha} \cdot \sigma}{\Delta} \right)^2 \cdot \frac{1}{k} \quad (75)$$

Для упрощения расчетов по этим формулам составлена статистическая таблица. Определение необходимого числа испытываемых машин выполняется в следующей последовательности:

□ задаются величиной доверительной вероятности (обычно 0,8 или 0,9) и величиной относительной ошибки не более 20%;

□ по коэффициенту вариации или параметру определяют значение левой части уравнений (3.39) или (3.40);

□ по таблице определяют количество объектов наблюдений, необходимых для расчета показателей надежности или коэффициента годности изношенных деталей.

С целью сокращения объема испытаний применяются ускоренные испытания машин на стендах, полигонах и машиноиспытательных станциях.

5.4. Испытание сельскохозяйственной техники на надежность

Оценку надежности проводят на каждой стадии жизненного цикла объектов: проектирования, производства и эксплуатации.

Надежность во многом зависит от качества отработки конструкции машин при проектировании. По данным машиноиспытательных станций, примерно 8...20% отказов происходит из-за конструктивных недоработок. На этом этапе показатели надежности определяют расчетным путем на основе априорной информации о надежности комплектующих изделий, отдельных сборочных единиц или машин-аналогов. Для получения необходимой информации часто проводят специальные исследовательские испытания.

Важный этап в повышении надежности сельскохозяйственной техники – технологическая подготовка производства. Для разных групп машин 20...60% дефектов, обнаруженных при испытании, связаны с нарушениями технологии производства. К основным причинам возникновения дефектов относятся: отступление от чертежей – 17,3...17,8%; низкое качество

сварки – 11,3...12,8%; низкое качество сборки, регулировки и подтяжки креплений – 14,1...17,9%.

Приняты законодательные акты по защите прав потребителей. В связи с этим заводы проводят работу по обеспечению стабильности показателей качества в соответствии с заявленным. Проверка и контроль систем обеспечения качества выпускаемой продукции – обязательное условие для выдачи сертификата качества.

Составной элемент систем контроля качества – контрольные испытания, сбор и анализ рекламаций по реализованной в продукции, данные по отказам, поступающим от пунктов гарантийного ремонта и официальных дилеров, наблюдение и обследование работы сельскохозяйственной техники в условиях эксплуатации. Наиболее полная и достоверная информация о надежности изделий может быть получена только в ходе испытаний.

Испытания сельскохозяйственной техники на надежность проводят заводы-изготовители, научно-исследовательские организации и специализированные машиноиспытательные станции (МИС), расположенные в различных почвенно-климатических зонах России. Испытания проводят для опытных, модернизированных, серийных или отремонтированных объектов. В соответствии с программой в качестве объектов испытаний могут быть и отдельные сборочные единицы машин или комплектующие изделия (рис. 15).

Объект испытаний:

1. Образцы – при испытании свойств материала, определяющих надежность изделия (на износостойкость, усталостную прочность, коррозионную стойкость).
2. Сопряжения и кинематические пары – когда изучается влияние конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов на срок службы сопряжений (подшипники, зубчатые колеса, муфты сцепления).
3. Узлы и машины, когда надо изучить взаимодействие отдельных механизмов и элементов конструкции на показатели надежности (КПП, задний мост, двигатель).
4. Машина в целом, когда учитываются все взаимодействия механизмов и узлов в машине, условия ее эксплуатации (стендовые и эксплуатационные испытания автомобилей).

Система машин, когда показатели надежности учитывают взаимодействие отдельных машин, связанных в единый производственный комплекс.

В зависимости от назначения испытания могут быть исследовательскими, контрольными или сравнительными.

В ходе исследовательских испытаний оценивают влияние различных факторов (условий работы, материалов, режимов работы, смазок, технологий изготовления и др.) на процессы изнашивания, трения, прочностные характеристики, интенсивность отказов или ресурс изделия.

Контрольные испытания проводят для подтверждения стабильности заявленных показателей надежности.

Сравнительные испытания служат основным видом приемочных испытаний. В качестве базы для сравнения принимают: реально существующие изделия (аналоги), государственные или отраслевые стандарты или другие нормативные документы или условное изделие, которое представляет собой совокупность лучших на момент оценки показателей технического уровня.

Рисунок 15 – Классификация испытаний сельскохозяйственной техники на надежность

При создании новых машин доводочные испытания проводят для отработки конструкции и доведения показателей надежности до нормативного уровня. Широко используют специальные стенды для испытаний, как отдельных сборочных единиц, так и полнокомплектных изделий.

Создание новых или модернизированных образцов завершается предварительными испытаниями для оценки соответствия показателей технического уровня заданным требованиям.

Решение о постановке на производство созданной машины принимают по результатам приемочных испытаний, проводимых машиноиспытательными станциями. Показатели качества и технического уровня, полученные в ходе испытаний, сравнивают с результатами испытаний машины-аналога, агротехническими требованиями и показателями, заявленными заводом-изготовителем.

Изделия единичного заказа или отремонтированную технику передают заказчику по

результатам приемо-сдаточных испытаний.

Периодические испытания проводят для контроля стабильности качества производимой продукции через установленные промежутки времени.

Контрольные периодические испытания изделий установочной серии (первого или второго года производства) считают как квалификационные испытания. Они необходимы для определения готовности предприятий к серийному производству на основе отработанного производственного процесса.

Сертификат качества выдают специально аккредитованные испытательные лаборатории после сертификационных испытаний.

Испытания на надежность проводят в лабораторных условиях на специальных стендах, на специальных полигонах или при эксплуатации. В зависимости от продолжительности и нагрузочных режимов различают нормальные, ускоренные, форсированные или сокращенные испытания.

6. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ МАШИН

6.1. Обеспечение исходного первоначального уровня надежности при конструировании машин

Повышение надежности машин при их конструировании ведется по следующим основным направлениям.

Выбор долговечных материалов деталей и рациональных их сочетаний в парах трения. Детали современных машин в зависимости от назначения изготавливают из конструкционных, износостойких, антифрикционных, антикоррозийных и других материалов. В современных машинах наиболее широко используются: качественная конструкционная сталь (19... 51%), низколегированная сталь (29... 63%), серый чугун (18 .. 29%), а также сплавы на основе алюминия, ковкий чугун и др.

Из качественных конструкционных сталей широкое распространение получила сталь 45; из низколегированных – стали 12ХНЗА, 18ХГТ, 20ХНЗА, 25ХГТ, 30ХГТ, 40Хи др.; из серых чугунов – СЧ 15-32, СЧ 18-36 и СЧ 21-40.

Материалы деталей и рациональные их сочетания подбирают на основе двух главных требований: получения нужной долговечности и невысокой их стоимости.

Для каждой конкретной детали (сопряжения) учитывают условия работы, вид изнашивания, применение термической, химико-термической и других видов упрочняющей обработки, требования точности изготовления и т. д. Долговечность большинства деталей (сопряжений) сельскохозяйственной техники определяют сопротивляемостью их изнашиванию и, главным образом, в сочетании с воздействием абразивных частиц. Большая группа деталей (коленчатые валы, коленчатые оси, поворотные цапфы и др.) в работе подвергается воздействию циклических и динамических нагрузок. Поэтому к материалам этих деталей наряду с износостойкостью предъявляются дополнительные требования – высокая усталостная прочность и ударная вязкость. К материалам таких деталей, как шестерни, подшипники скольжения и качения, кулачковые валы, крестовины карданных валов и дифференциалов и другие, предъявляются еще и требования высокой контактной усталостной прочности.

Перспективными материалами для деталей сельскохозяйственной техники считаются:

- ☐ низколегированные (для гильз и блоков цилиндров) и модифицированные (для коленчатых валов) чугуны;

- ☐ низколегированные цементированные стали 25ХГТ, 20ХСНТ, 18ХНТФ (для шестерен и шлицевых валов), среднеуглеродистые низколегированные закаливаемые стали 39ХГСА, 45ХНМФА, 45ХМФА, 50ГСШ, 50ХФАШ (для подшипников скольжения);

- ☐ сплавы на основе алюминия (для головок и блоков цилиндров, кожухов сцепления, корпусов гидронасосов);

- ☐ полимерные материалы (для втулок, подшипников скольжения, сальников, шестерен, крышек, ручек, деталей тормозных устройств и др.) и материалы из резины (для уплотнений).

Обеспечение нормальных условий работы деталей при наименьших потерях на трение. Для

длительной и надежной работы деталей, прежде всего, расчетами определяют рациональные размеры трущихся (контактирующих) поверхностей, их геометрическую форму и другие параметры. На-пример, поверхности подшипников скольжения рассчитывают на удельные нагрузки; поверхности шлицев и опор валов – на смятие: фрикционные пары – на нагрев, рессоры – на усталость и др.

Во многих случаях конструктор стремится вместо подшипников скольжения применить наиболее долговечные и дешевые подшипники качения, обеспечить минимальные потери на трение в трущихся парах. Переход на подшипники качения повышает их надежность, уменьшает расход цветных металлов, значительно снижает пусковые моменты, упрощает обслуживание. Вместе с тем необходимо помнить, что подшипники качения выдерживают меньшие скорости и нагрузки, требуют увеличения размеров деталей, обеспечивают меньшую точность работы механизмов, вызывают шум в передачах и снижают сопротивляемость их вибрациям.

Снижение концентрации напряжений при выборе формы и размеров деталей. Особое внимание необходимо обратить на это в местах галтелей, надрезов, канавок и других поверхностей, особенно деталей, подверженных динамическим и циклическим нагрузкам.

Создание оптимальных температурных режимов работы сопряжений деталей, сборочных единиц и агрегатов в современных форсированных машинах играет весьма важную роль в повышении их долговечности. Ранее отмечено, что температурные условия процесса, прежде всего, оказывают влияние на износ деталей и форму проявления. Регулировать температуру в узлах трения и нагрев деталей вообще в двигателях можно за счет охлаждения воды (воздуха) и картерного масла, а также применением таких конструкторских решений, как создание теплоизолирующих прорезей (в головках блока и на поршнях), установка в бобышках поршней пластинок из инвара и др.

Обеспечение хороших условий смазывания трущихся поверхностей деталей. Качество смазочных материалов, применяемых для сельскохозяйственной техники, может быть повышено за счет использования различных присадок к маслам. У современных двигателей все основные сопряжения, как правило, смазывают под давлением. Подачу смазки под давлением и ее фильтрацию все шире применяют в узлах трения деталей трансмиссии. Ряд сборочных единиц ходовой части гусеничных тракторов переведен с консистентной смазки на жидкостную (втулки цапф рам, подшипники опорных катков и др.).

Создание эффективных устройств очистки воздуха, топлива, смазки. Эффективными мероприятиями по улучшению очистки воздуха, топлива и смазки в современных двигателях стали следующие по очистке воздуха применение новых конструкций циклонных комбинированных воздухоочистителей; по двойной очистке топлива – использование фильтров грубой и тонкой очистки с новыми фильтрующими бумажными элементами БФДТ; по очистке масла – создание полнопоточных масляных центрифуг, применение центробежной очистки масла в полостях шатунных шеек коленчатых валов, установка в картерах магнитных пробок, применение фильтров для фильтрации масла в трансмиссиях, использование подшипников с одноразовой смазкой (полуоси задних колес и шарниры рулевых трактора МТЗ-80 и др.).

Улучшение конструкции и материалов уплотнительных устройств и герметизация сборочных единиц и агрегатов для сельскохозяйственной техники имеют большое значение в деле повышения ее долговечности, поскольку тракторы и другие машины длительный период времени работают в атмосфере, насыщенной абразивными частицами. Наиболее широко распространены резиновые радиальные самоподжимные каркасные уплотнения типа АСК. Для улучшения герметизации сборочных единиц и агрегатов заводы-изготовители используют специальные прокладочные материалы и герметизирующие пасты.

Обеспечение достаточной жесткости базовых деталей машин и устойчивости их к вибрациям. Базовые детали (рамы, блоки цилиндров, корпуса коробок перемены передач и задних мостов) определяют работоспособность других деталей и обеспечивают для них достаточную жесткость, устойчивость и стабильность размеров, особенно взаимного расположения рабочих поверхностей.

Примером положительного решения в рассматриваемом плане может быть конструкция блоков цилиндров двигателей ЯМЗ, Д-50, а также изготовление в одном блоке корпуса коробки перемены передач и заднего моста трактора ДТ-75.

Недостаточную жесткость имеют блоки цилиндров двигателя СМД-14, что вызвало необходимость изменения их конструкции и установки гильзы цилиндров на трех (вместо двух)

опорах.

Другие мероприятия. Применение двойных силовых пружин для сцепления (двигатели типа СМД), использование распределительных валов с безударным профилем кулачков (двигатель Д-240), гидравлическое натяжение гусениц и защитных устройств для них (тракторы Т-150, Т-130); повышение качества крепежа; увеличение жесткости трансмиссий тракторов, использование поддерживающих роликов с резиновыми бандажами; повышение надежности пружин подвески; применение двухслойных пальцев гусениц (со слоем из стали Х12Ф1) и измененной конструкции звеньев гусениц, обеспечивающих безударную работу опорных катков и лучший контакт со звездочкой в зацеплении (трактор Т-150); введение гидротрансмиссии (трактора МТЗ-80, Т-150 и др.); использование новой конструкции тормозных лент с легкообъемными элементами их фрикционных материалов высокой долговечности (трактор ДТ-75С); введение торцовых металлических уплотнений на цапфах (трактор ДТ-75С); ужесточение допусков на подбор деталей цилиндропоршневой группы по массе (двигатель Д-240); динамическая балансировка деталей двигателя, сцепления, карданных валов; применение сенных стаканов под подшипники качения в корпусных деталях трансмиссий.

6.2. Технологические методы обеспечения доремонтного уровня надежности машин

Производства высококачественных деталей для сельскохозяйственной техники конструкторы добиваются в тесном контакте с технологами путем выполнения следующих основных технологических (чаще конструктивно-технологических) мероприятий.

Обеспечение необходимой точности и качества изготовления деталей, применяемых в тракторах, автомобилях и других сельскохозяйственных машинах, зависит от уровня используемого обрабатывающего оборудования и точности размеров рабочих поверхностей деталей, а также от точности взаимного расположения этих поверхностей.

С повышением точности изготовления деталей уменьшаются начальные зазоры в подвижных сопряжениях и более жестко регламентируются натяги в неподвижных соединениях, что значительно повышает долговечность машин, их доремонтный ресурс.

Машиностроительное производство постоянно стремится к повышению качества рабочих поверхностей деталей (уменьшению их шероховатости и искажений макрогеометрии). В зависимости от условий эксплуатации машин в трущихся парах устанавливается определенная шероховатость, которую и необходимо соблюдать при производстве техники. Эта оптимальная шероховатость должна задаваться и для поверхностей деталей с неподвижными посадками. Чем меньше шероховатость, тем больше сопротивляемость поверхностей деталей к коррозионным износам. Существенное влияние оказывает шероховатость поверхности на циклическую, а также на динамическую прочность деталей машин.

Достижение высоких геометрических характеристик качества поверхности возможно при использовании ряда принципиально различных методов и оснастки, а именно:

- срезание неровностей поверхности путем тонкого шлифования, хонингования, суперфиниша (сверхдоводки) и полирования, особенно с применением синтетических алмазов (паст, брусков, лент);

- смятия поверхностей за счет поверхностного пластического деформирования - обкатывания, раскатывания, дорнования, алмазного выглаживания и виброобкатывания алмазными или твердосплавными наконечниками;

- создания нового микропрофиля поверхности применением электрических методов обработки: электрохимической, электромеханической, обработкой в магнитном поле и др.

Отклонения геометрической формы (макрогеометрия) оказывают определенное влияние на значение и равномерность зазора (натяга) в сопряжении, условия контактирования, смазки и, таким образом, в значительной мере определяют эксплуатационную надежность узлов машин.

Учитывая, что геометрические параметры качества поверхности и особенно шероховатость существенно влияют на долговечность деталей, значительное внимание уделяют вопросам оценки качества поверхностей деталей и разработке средств и методов его улучшения.

За критерий оценки качества поверхности принимают следующие, не регламентированные ГОСТом параметры:

- ☐ величины опорной поверхности;
- ☐ поверхность фактического контакта;
- ☐ радиусы закругления вершин и впадин микронеровностей;
- ☐ углы наклона образующих неровностей при основании;
- ☐ отношение радиуса закругления вершин микронеровностей к их максимальной высоте;
- ☐ среднее квадратическое отклонение высот микронеровностей, то есть критерии, определяющие форму микронеровностей, их направление, и другие показатели.

Выбор наиболее рационального вида обработки для различных групп деталей и их рабочих поверхностей требует научно-производственной проверки. Особенно перспективно вибронакатывание. Износ деталей при этом значительно снижается (рис. 16).

Отделочные операции необходимы не только для улучшения шероховатости, но и для удаления тонкого дефектного поверхностного слоя со сниженными обычно физико-механическими свойствами.

Рисунок 16 – Профиллограммы и кривые опорных поверхностей при различных способах обработки: а - точение; б - обкатывание; в - вибрационное обкатывание

Применение упрочнения деталей и их рабочих поверхностей термической и химико-термической обработками основной метод, используемый в автотракторостроении для значительного повышения износостойкости, статистической и циклической прочности наиболее ответственных деталей.

Используются следующие виды термической обработки улучшение +объемная закалка + высокий отпуск, объемная закалка +средний отпуск, поверхностная закалка с нагревом ТВЧ +низкий отпуск, изотермическая закалка. Для стабилизации свойств и структуры деталей в автотракторостроении широко применяется нормализация и высокий отпуск деталей.

Улучшению, часто с предварительной нормализацией, подвергают стальные коленчатые валы тракторных двигателей, коленчатые оси тракторов, шатуны автотракторных двигателей и другие детали.

Поверхностной закалкой с нагревом, т. е. в ч. упрочняются детали, предварительно подвергнутые нормализации, улучшению, цементации и нитроцементации. Закаленные с нагревом т. в. ч. детали имеют твердость HRC 54...62 и отличаются высокой износостойкостью. Закалка с нагревом т. в. ч. оказывает положительное влияние на усталостную прочность, которая для стали 45 повышается в 2 раза.

Из всех видов химико-термической обработки для упрочнения автотракторных деталей наибольшее применение получили цементация, нитроцементация и цианирование.

Упрочнение деталей поверхностным пластическим деформированием – простой, доступный и эффективный способ повышения их несущей способности и долговечности. Наиболее эффективно применение поверхностного пластического деформирования для деталей, работающих при переменных нагрузках, так как во многих случаях их запасы прочности повышаются в 1,5... 2 раза и более, увеличивая тем самым сроки службы деталей. Повышение сопротивления усталости в этом случае обусловлено возникновением благоприятных остаточных напряжений.

Вместе с тем в результате наклепа повышается твердость рабочих поверхностей и сопротивляемость их износу и коррозии, уменьшается шероховатость поверхностей. Величина упрочнения и степень повышения твердости при обработке поверхностным пластическим деформированием для различных материалов и их структурных состояний различны. Стальные детали больше всего упрочняются, если содержат феррито-перлитные и троостито-мартенситные структуры.

В различных формах выполнения поверхностное пластическое деформирование успешно применяется для повышения долговечности автотракторных деталей. Пружины, рессоры, шатуны и другие детали подвергаются дробеструйной обработке. Коленчатые валы тракторных двигателей и поворотные цапфы (по галтелям), другие ваты, оси и полуоси эффективно упрочняют обкаткой шариками и роликами. Схема устройства для упрочнения галтелей коленчатых валов показан на рис.

-сунке 17.

Рабочие поверхности втулок верхних головок шатунов, гильз, цилиндров, отверстий в корпусах коробок передач и задних мостов, балансиров обрабатываются раскаткой и доводкой.

Рисунок 17 – Схема устройства для упрочнения галтелей коленчатых валов:

1 - деформирующие конические ролики; 2 - сепаратор; 3 - опорный конус;

4 - корпус; 5 - поддерживающие ролики; 6 - роликоподшипники;

7 - нижняя головка

Повышение долговечности деталей нанесением на их поверхности износостойких и коррозионностойких покрытий различными способами весьма эффективно. Так, пористое хромирование успешно используется для упрочнения верхних поршневых колец двигателей, которые хорошо работают в паре с чугунными гильзами. Срок службы указанной пары в результате этого повышен более чем в 1,5... 2 раза. Если хромирование использовать для упрочнения рабочих поверхностей гильз цилиндров и шеек коленчатых валов, то стоимость двигателя повышается на 4 %, а ресурс может быть увеличен в 2...3 раза.

Автотракторные детали различных наименований (вилки, кольца, крепежные детали и др.) подвергаются нанесению различных коррозионностойких электролитических и химических покрытий: цинкованию, никелированию, оксидированию; фосфатированию, лужению и др., а также применению комбинированных процессов цинкованию с хромированием, кадмирование с хромированием и др. Чтобы повысить коррозионную стойкость цинковых покрытий в 5...7 раз, их подвергают дополнительной обработке хромированием – погружением оцинкованных деталей в раствор хромовой кислоты или ее солей на несколько секунд.

Повышение долговечности деталей нанесением на их рабочие поверхности износостойких наплавленных слоев находит определенное, хотя и ограниченное применение. Индукционная наплавка твердыми сплавами успешно используется для повышения износостойкости рабочих органов сельскохозяйственных машин (лемехов, лап культиваторов), срок службы которых повышается в 2...3 раза.

Наплавка плазменной дугой тарелок клапанов автомобильных двигателей значительно (в 4...10 раз) увеличивает срок их службы. Твердыми сплавами, легированными сталями и специальными чугунами упрочняют при наплавке торцы стержней клапанов, толкателей, клапанных гнезд. Особенно эффективно использование самофлюсующихся сплавов с высоким содержанием никеля ПГ-ХН80СРЧ и другие, сплавов ЭП-616 и ЭП-616А. Наплавку широко применяют при восстановлении и упрочнении изношенных деталей.

Другие мероприятия конструктивно-технологического характера, направленные на повышение надежности, следующие:

- ☐ термомеханические упрочнения;
- ☐ применение при изготовлении деталей кованных заготовок и профилей;
- ☐ изготовление шестерен, шлицевых валов, других деталей методом обкатывания (вместо нарезания заготовок в нагретом и холодном состоянии);
- ☐ армирование деталей и упрочнение их быстроизнашивающихся поверхностей постановкой втулок, колец, вставок из высоколегированных и износостойких материалов и сплавов;
- ☐ введение шлицевых соединений повышенной твердости;
- ☐ проведение статической и динамической балансировки деталей (особенно в связи с форсированием машин);
- ☐ обеспечение стабильности свойств материалов деталей применением искусственного старения для деталей из чугуна (блоки цилиндров, головки цилиндров, картеров трансмиссий и др.) и дополнительной обработки холодом закаленных сталей;
- ☐ повышение точности и качества сборки и окраски узлов, агрегатов и машин в целом, введение новых методов соединения деталей, особенно комбинированных, а также применение многих других мероприятий и повышение технологической дисциплины в целом.

Этот комплекс мероприятий позволит машиностроителям добиться значительного

повышения доремонтного технического ресурса машин.

Традиционные конструктивные материалы и способы их упрочнения по поверхностям трения в большинстве своем себя исчерпали. Надежность современных машин в смысле повышения поверхностной прочности деталей и пар трения в настоящее время может быть решена только применением принципиально новых материалов и принципиально новой технологии упрочнения поверхностей трения.

История создания практически безизносных деталей и пар трения берет свое начало в СССР. Сюда следует отнести, прежде всего, открытие явления избирательного переноса в закрытых парах трения Д. Н. Гаркуновым и И. В. Крагельским, затем открытие эффекта аномально низкого трения для случая космического пространства группой советских ученых (Е. А. Духовский, В. С. Онищенко, А. Н. Пономарев, А. А. Си-лин, В. Л. Тальрозе). Этот эффект заключается в снижении коэффициента сухого трения в вакууме до величины 10^{-3} при бомбардировке одного из элементов пары трения (например, молибдена или полиэтилена) потоком частиц (электронов, атомов гелия и др.), разогнанных до энергии порядка 1КэВ. Эффект наступает по достижении чрезвычайно высокой (порядка 10^{12} эрг/г) интегральной дозы облучения и сохраняется в дальнейшем в течение всего времени облучения в широком диапазоне нагрузок и скоростей. Изучение этого эффекта показало, что имеет место сильная ориентация кристаллитов молибденита на его поверхности.

Исследования, проведенные во ВНИИ оптико-физических измерений и в Институте химической физики АН СССР, позволили не только выявить условия формирования таких поверхностей трения, но и разработать технологию их стабилизации в широком диапазоне скоростей и температур. Коэффициент трения скольжения таких поверхностей находится в пределах $(1...5) \cdot 10^{-3}$, что достижимо лишь при жидкостном трении.

Возможность управления поверхностной активностью твердых тел в вакууме путем радиационного воздействия позволяет не только повысить эффективность твердых смазок путем их радиационной модификации, но и разработать новые способы управления поверхностными свойствами твердых тел, что может быть применимо и для обычного машиностроения.

Несомненный интерес представляет разработанная профессором Б.И. Костецким и его школой структурная приспособляемость материалов пар трения на стадии их приработки и изнашивания, когда в поверхностных слоях толщиной 10^{-9} – 10^{-8} м, имеющих аморфное строение, добиваются теоретической прочности и в ряде случаев обеспечивают безизносность узла трения.

Прекрасные результаты дает применение так называемых «вечных подшипников», разработанных лабораторией ферромагнитных жидкостей Ивановского энергетического института, в которых металлические тела вращения заменены жидкими кристаллами.

Для создания практически безизносных деталей трения необходимо исключить всякую деформацию поверхностного слоя (для определенных значений параметров физического поля с определенным коэффициентом запаса износостойкости). Этого можно достичь обработкой материала (например, шеек коленчатых валов) мощным лучом лазера, обеспечивая нагрев детали до жидкого состояния и перевод слоя толщиной $10...15$ мкм в аморфное за счет резкого охлаждения ($T_{охл} = 1000000$ К/с), вследствие чего атомы не успевают перестроиться в кристаллические решетки. Такой слой, обладая прочностью, близкой к теоретической, не подвержен разрушению от действующий не только физического, но и химического поля (агрессивной среды).

Весьма перспективны такие виды упрочнения, как плазменное напыление порошков, детонационное напыление, термообработка лучом лазера и др.

Износа практически можно избежать, если подвижное механическое сопряжение заменить электронными устройствами, но это возможно в весьма и весьма ограниченных случаях. Надо полагать, что в ближайшее время для борьбы с износом деталей машин будет предложен огромный арсенал способов создания практически безизносных деталей и пар трения современных машин и механизмов.

Связь параметров технологического процесса с показателями надежности изделия. Технологический процесс изготовления, сборки и контроля изделия должен с наименьшими затратами времени и средств обеспечить требуемый уровень качества продукции, включая и надежность. Однако связь параметров технологического процесса с надежностью готового изделия весьма сложна и, кроме того, требования надежности, как правило, вступают в противоречие с такими основными требованиями к технологическому процессу, как его производительность и экономичность.

Технологу обычно трудно представить веское обоснование того или иного мероприятия, связанного с повышением надежности изделия, так как его результаты скажутся лишь через длительный промежуток времени и не в сфере деятельности данного предприятия. Например, наплавка боковых граней ножей вторичного резания измельчителя кормов «Волгарь-5А» удорожает стоимость их изготовления и не снижает энергоемкость резания кормов, но повышает износостойкость и ресурс ножей в 2-3 раза против ненаплавленных ножей, что приносит прибыль потребителю данного изделия.

Все компоненты технологического процесса – метод обработки и применяемое оборудование, последовательность операций, режимы обработки, – методы контроля – определяют его выходные параметры и, в первую очередь, показатели качества изделия, указанные конструктором в ТУ – его точность, качество поверхности, механические свойства и др.

Показатели надежности связаны не с выходными параметрами технологического процесса, а с эксплуатационными свойствами изделия, его износостойкостью, усталостной прочностью, коррозионной стойкостью, теплоустойчивостью и др.

Совершенство технологического процесса во многом определяет и достигнутый уровень надежности изделия, так как именно в процессе изготовления обеспечивается заложенная конструктором надежность.

Технологические методы обеспечения надежности имеют такое же решающее значение, как конструктивные и эксплуатационные. Однако до настоящего времени роль технологии в проблеме надежности еще полностью не определена. Анализ исследований и практических разработок, которые ведутся в области повышения надежности за счет технологии, показывает, что не всегда имеется четкое представление о том круге вопросов, которые должна решать технология.

Влияние параметров технологического процесса на износостойкость поверхностей. Показатели качества изготовления, изделий, как следствия принятого технологического процесса, оказывают непосредственное влияние на такое основное эксплуатационное свойство, как износостойкость поверхности. Во-первых, на износостойкость влияют химический состав, структура и механические характеристики материалов, которые зависят от металлургических или других процессов получения материалов, от термических и термохимических видов обработки поверхностей. Во-вторых, износостойкость зависит от геометрических и физико-химических параметров поверхностного слоя. При этом отклонение формы деталей увеличивает период макроприработки, а шероховатость поверхности влияет на период микроприработки, поскольку в процессе нормального изнашивания устанавливается оптимальная шероховатость, соответствующая данным условиям работы сопряжения. Например, для многих видов износа поверхностей параметром изделия, влияющим на скорость изнашивания, будет твердость и коррозионная стойкость материала.

Рассеивание значений твердости материала приводит к соответствующему рассеиванию скоростей изнашивания, а при возможности получения изделий с низкими значениями твердости изделие будет иметь недопустимо высокую скорость изнашивания, что может привести к преждевременному отказу.

Естественно, что повышение стабильности технологического процесса и недопустимость изготовления изделий с минимальной твердостью обеспечит выпуск надежных изделий.

Влияние параметров технологического процесса на усталостную прочность деталей. На усталостную прочность оказывают влияние, как характеристика материала, так и состояние его поверхностных слоев, а также наличие дефектов. Например, возникающие в поверхностном слое при механической обработке растягивающие остаточные напряжения обычно снижают предел выносливости, сжимающие, наоборот, могут улучшить прочностные характеристики. Это влияние особенно сказывается на деталях, работающих при знакопеременных нагрузках и высоких температурах. Поэтому для них важно выбрать оптимальный технологический процесс обработки, обеспечивающий необходимые физические параметры поверхностного слоя.

Известно, что параметры шероховатости поверхности оказывают существенное влияние на сопротивление усталости. В общем случае предел усталости повышается с улучшением качества поверхностного слоя. Кроме того, на них влияет направление следов обработки: при их совпадении с действием главного напряжения предел усталости выше. Финишная обработка поверхности, которая в основном определяет конфигурацию микроскопических рисок и механические свойства поверхностного слоя, существенно влияет на предел выносливости даже при одинаковом классе шероховатости.

Влияние параметров технологического процесса на коррозионную стойкость изделий. Для защиты металлов от коррозии широко применяются различные виды покрытий – электролитические, химические, полимерные.

Коррозионная стойкость этих покрытий, как эксплуатационное свойство изделий, находящихся под воздействием агрессивных сред, зависит не только от вида покрытия, но и от режимов их нанесения, условий в которых осуществляется технологический процесс, возможности регулировать и контролировать его протекание.

Коррозионная стойкость связана с такими показателями, как сплошность, однородность покрытия по составу, стабильность по толщине.

При нанесении полимерных покрытий их часто делают много-слойными. В этом случае технологический процесс может обладать большим диапазоном условий обработки, что приводит к рассеиванию начальных параметров изделий и их существенной зависимости от режимов обработки.

Более сложные технологические задачи возникают при применении покрытий, которые помимо коррозионной стойкости должны так-же быть износостойкими или обеспечивать сопротивляемость усталостному разрушению.

Последовательность технологических операций, применяемые методы и режимы обработки оказывают непосредственное влияние на износостойкость, прочность, коррозионную стойкость, теплостойкость, стабильность механических и физических свойств и другие эксплуатационные показатели изделий.

Упрочняющие технологии. Повышение надежности можно обеспечить за счет введения специальных видов обработки, повышающих износостойкость, усталостную прочность, коррозионную стойкость изделий. Для этих целей применяются технологические процессы, упрочняющие поверхностный слой, придающие ему особые свойства. Сюда относятся как процессы химико-термической обработки (закалка, цементация, азотирование, цианирование и др.), так и упрочняющая технология, основанная на пластическом деформировании поверхностей, а также различные специальные методы (создание самозатачивающих лезвий рабочих органов сельскохозяйственных машин).

При применении методов поверхностной пластической деформации в результате наклепа в поверхностных слоях видоизменяются форма и размеры кристаллических зерен, повышается твердость, и образуются сжимающие напряжения, способствующие повышению износостойкости и сопротивляемости усталостным разрушениям. Эффективность наклепа таких деталей, как листовые рессоры, повышается при обработке их в напряженном состоянии, совпадающего с тем, которое имеет место при эксплуатации.

Сравнительно недавно предложен новый метод поверхностного упрочнения – алмазное выглаживание. Для выглаживания используется инструмент из алмаза, сапфира или корунда со сферической или цилиндрической рабочей частью радиусом от 0,5 до 3 мм. Высокая твердость, износостойкость, теплопроводность инструмента, а также сравнительно низкий коэффициент трения пары алмаз – металл обеспечивают высокую эффективность использования этого метода обработки.

Наиболее целесообразно применять выглаживание для достижения шероховатости поверхности 10-го класса и выше. Рекомендуемая исходная шероховатость – 7-8-й классы. При выглаживании происходит упрочнение поверхностного слоя на глубину 0,5-1,5 мм со степенью наклепа 15-20%.

6.3. Обеспечение надежности при эксплуатации сельскохозяйственной техники

Традиционные методы повышения надежности. Условия эксплуатации машин оказывают наибольшее влияние на показатели и надежности и могут свести на нет любые достижения конструкторов и технологов.

Надежность машин в эксплуатации зависит от целого ряда мероприятий, которые необходимо соблюдать всем работникам, связанным с эксплуатацией техники.

Обкатка новых (отремонтированных) машин в хозяйствах фактически закладывает основы длительной и безотказной работы машин и должна проводиться при постепенном повышении нагрузки в соответствии с рекомендациями заводов-изготовителей или ремонтных предприятий.

Обкатка тракторов и автомобилей включает в себя опробование работы двигателя без нагрузки и обкатку с постепенным повышением нагрузки при выполнении полезных сельскохозяйственных и транспортных работ, не требующих значительных тяговых усилий. Во время обкатки постоянно ведут контроль за работой двигателя и всех агрегатов с целью выявления повышенного нагрева, шумов и стуков, утечки масла и др. Тщательно выполняют все операции ежедневного ТО. По завершении обкатки проводится плановое ТО-1 с заменой смазки в двигателе и во всех агрегатах и сборочных единицах трансмиссии и ходовой части. За период производственной обкатки тракторов рекомендуется трижды менять смазку, а ограничение мощности снимать через 120 ч работы двигателя. Это позволит лучше прирабатывать трущиеся поверхности и подготовить их к нормальному нагружению.

При обкатке трактора в зимнее время рекомендуется применять смесь определенных для данной машины картерных масел с дизельным топливом. На трактор, прошедший обкатку, составляют акт, делают отметку об этом в техническом паспорте и сдают машину в эксплуатацию. Первые 50...60 ч эксплуатации после обкатки трактор должен находиться под особым наблюдением механика (помощника бригадира по технике).

Организация технического обслуживания и создание для его проведения необходимой базы – основные условия обеспечения надежной и экономичной работы машинно-тракторного парка.

Система технического обслуживания сельскохозяйственной техники предусматривает проведение ежесменных (через 8...10ч), сезонных (2 раза в год) и плановых технических обслуживания.

Периодичность проведения технических обслуживания машин необходимо строго соблюдать независимо от загрузки и различными работами. Работа на машинах без проведения установленных технических обслуживания запрещается.

Уровень проведения технических обслуживаний машин в значительной мере зависит от средств и места их проведения и квалификации обслуживающего персонала. Наиболее высокой эффективности использования машинно-тракторного парка и обеспечения его надежной работы добились хозяйства, в которых организованы стационарные пункты технического обслуживания. Созданы звенья обслуживания и широко используются необходимое моечное, смазочное, регулировочное, диагностическое оборудование, приборы и оснастка, средства механизации работ. Хозяйства, не имеющие необходимой технической базы, принимаются на комплексное техническое обслуживание предприятиями технического сервиса в АПК, на которые также возложено и проведение периодического технического обслуживания автомобилей, оборудования ферм и комплексов.

Проведение периодических технических осмотров и технического диагностирования состояния машин, сборочных единиц и агрегатов. Периодические технические осмотры – составная часть общей системы технического обслуживания машин. Их проводят один-два раза в год представители Госсельтехнадзора и автомобильной инспекции с целью контроля за качеством эксплуатации и хранением машин, выборочной проверки их технического состояния (особенно с применением средств технической диагностики), организации и деятельности инженерной службы в хозяйстве, ведения технической документации и др.

Проведение технических осмотров машин в значительной мере улучшает деятельность технических служб хозяйств и повышает надежность используемой ими техники.

Обеспечение нормального режима работы машин, особенно в зимнее время, повышает их долговечность. Перегрузка машин (по нагрузке и скорости), неправильные регулировки зазоров в подшипниках, шестернях и других соединениях вызывают нарушения температурного режима работы трущихся поверхностей деталей, условий смазывания, что приводит к форсированному их износу.

Наиболее высокие удельные нагрузки на детали машин и крайне ухудшенные условия их смазывания наблюдаются при начальных запусках двигателей и включении агрегатов трансмиссий в холодное время года при температуре ниже 5 °С). Несколько минут такой работы вызывают износы (которые могли бы появиться за десятки и даже сотни часов нормальной эксплуатации) и часто приводят к авариям.

Мероприятиями, обеспечивающими установленный тепловой режим работы двигателей (температура воды и масла 75... 95 °С) и нормальные условия зимней эксплуатации машин, являются:

- ☐ организация теплых стоянок;
- ☐ использование электрических подогревателей масла;
- ☐ применение системы воздушного подогрева машин, хранящихся на открытых площадках, с помощью теплогенераторов, газовых горелок;
- ☐ подача подогретой воды непосредственно к машинам;
- ☐ использование антифризов и др.

На работу машин отрицательно влияет перегрев двигателей, который наблюдается в жаркие месяцы при ухудшении работы сборочных единиц системы охлаждения и образовании в ней накипи, вследствие перегрузок. Нарушения работы топливной системы, неправильных регулировок и других причин, перегрев двигателей вызывает (так же как и осаждение при низких температурах) форсированный износ деталей, особенно цилиндропоршневой группы, газораспределительного и кривошипно-шатунного механизмов, а в ряде случаев может привести к аварийным дефектам (обрыву клапанов, трещинам в головках и блоках цилиндров и др.). Ряд заводов-изготовителей запрещает при перегреве масла останавливать двигатель до установления в нем нормальной температуры. Чтобы предотвратить перегрев масла, необходимо устранить причины, вызывающие этот дефект.

При низких температурах поверхности цилиндров могут также подвергаться ускоренному износу из-за ухудшения условий их смазывания и коррозионного изнашивания.

Совпадении установленных правил хранения машин. Основные эксплуатационные мероприятия, обеспечивающие высокую сохранность сельскохозяйственной техники, особенно в периоды, свободные от работы, и в осенне-зимнее время, следующие:

- ☐ создание специальных помещений и площадок с твердым покрытием;
- ☐ использование различных подставок и подкладок;
- ☐ очистка деталей от технологических загрязнений и почвы;
- ☐ нанесение на неокрашиваемые рабочие и другие поверхности защитных смазок (НГ-203, НГ-204, ЦИАТИМ-202 и др.);
- ☐ своевременное восстановление нарушенных лакокрасочных покрытий;
- ☐ хранение в закрытых помещениях электрооборудования, резины, приборов, рабочих органов машин и др.

Строгое соблюдение рекомендаций заводов-изготовителей по применению топлива, картерных масел и других смазок. Не нарушать за период эксплуатации установленные для машины сроки смены масел и смазок.

Контроль и постоянное соблюдение требуемой герметизации агрегатов, сборочных единиц и систем машин в целях предупреждения попадания в них абразива для сельскохозяйственной техники – важный фактор повышения долговечности. Герметичность в большинстве случаев нарушается вследствие ослабления креплений крышек под действием вибраций, из-за низкого качества прокладочного материала, износа, несвоевременной замены сальниковых уплотнителей, короблении корпусных деталей и их плоскостей разъемов и по другим причинам.

В процессе эксплуатации машин внутри их агрегатов температура повышается до 70... 90°С. В результате температурного перепада из окружающей атмосферы во внутренние полости агрегатов засасывается воздух, обильно содержащий абразивные частицы (особенно на таких работах, как культивация, боронование и др). поэтому герметизации узлов и агрегатов следует уделять особое внимание. При эксплуатации машин в тяжелых условиях (повышенная запыленность воздуха, высокая температура окружающего воздуха и др.) рекомендуется воздухоочистители промывать через 25...30 ч, а центрифуг – через 120 ч работы.

6.4. Технологические методы обеспечения послеремонтного уровня надежности машин

Ремонт машин представляет собой весьма важное звено в общей системе поддержания машин в работоспособном состоянии. При ремонте машин одновременно возможны их модернизация и проведение мероприятий по повышению долговечности. Основные пути решения этой задачи следующие.

Обеспечение сохранности ремонтного фонда, поступающего на ремонтные предприятия.

Достигается организацией соответствующих складов и площадок, применением различных подставок и подкладок, антикоррозионных смазок и других средств. Особое внимание следует уделять защите от коррозии ремонтного фонда деталей машин, поступающих для восстановления, которые при неудовлетворительном хранении могут быть превращены в металлолом.

Выполнение разборочных работ при условиях, исключаящих повреждение деталей и разукладку пар. При разборочных работах рекомендуется уделять внимание использованию средств механизации (особенно гидравлических станций, прессов и др.), обеспечивающих небольшой процент повреждения деталей, а также различных контейнеров для сохранения комплектов деталей соответствующих узлов и агрегатов. Запрещается раскомплектовывать блоки цилиндров, крышки подшипников коленчатого вала, шатуны и их крышки, пары шестерен конечных и других передач и т.п.

Внедрение на ремонтных предприятиях эффективной мойки и очистки деталей от различных загрязнений – одно из наиболее решающих условий обеспечения высокого послеремонтного ресурса машин. Удаление нагара, смолистых отложений, накали и других загрязнений – специфический ремонтный процесс, отличающийся определенными трудностями и требующий большого внимания, а также использования современных моечных машин и установок, новых комплексных моечных препаратов, содержащих поверхностно-активные компоненты, и обеспечения заданных режимов мойки, особенно поддержания температуры моечных ванн (75...90 °С).

Контроль и дефектация изношенных деталей машин в значительной мере определяют сроки их службы. Принимая во внимание высокую точность изготовления автотракторных деталей (1,2,3-го класса) и новые (ужесточенные) технические условия на ремонт машин с повышенным ресурсом, на ремонтных предприятиях следует расширить номенклатуру деталей, подвергаемых сплошному контролю. Рекомендуется применение предельных (пробки, калибры, скобы), универсальных (индикаторы, микрометры, миниметры) измерительных инструментов и средств пневматического контроля, обеспечивающих повышение точности измерений размеров (геометрии) до 0,01...0,001мм. Такие детали машин, как коленчатые ваты, шатуны, коленчатые оси и поворотные цапфы, блоки и гильзы цилиндров и другие в целях повышения надежности отремонтированных машин должны обязательно быть проверены на отсутствие скрытых дефектов (особенно трещин) методами, широко используемыми в машиностроении и на передовых ремонтных предприятиях (магнитная, люминесцентная, ультразвуковая и рентгеновская дефектоскопия, гидравлическая опрессовка и др.)

Сплошной контроль размеров и геометрии рабочих поверхностей базовых деталей машин, поступающих в ремонт, а также точности их взаимного расположения. За время эксплуатации на машинах в этих деталях в результате старения материала, износов, а также воздействия различных нагрузок и перераспределения внутренних напряжений происходят изменения размеров, геометрии и взаимного расположения рабочих поверхностей, которые должны быть устранены. Это обеспечивает высокую работоспособность не только самой базовой детали, но и всего агрегата. Восстановлением и стабилизацией размеров базовой детали ремонтные предприятия имеют возможность повышать ресурс отремонтированных машин даже по сравнению с новыми, детали которых не подвергались искусственному старению.

Восстановление изношенных деталей с применением прогрессивных способов нанесения покрытий и упрочнения поверхностей. Подготовка и выполнение восстановительных процессов, используемых для «возрождения» изношенных деталей машин, оказывают решающее влияние на их послеремонтный ресурс в целом. Это происходит потому, что восстановлению подвергаются обычно быстроизнашивающиеся детали, и работоспособность любой машины, в первую очередь, зависит от качества деталей, устанавливаемых на нее при ремонте.

Учитывая конструктивно-технологические характеристики и условия работы деталей, выбирают соответствующие способы восстановления деталей, обеспечивающие достаточную долговечность и безотказность.

Качество и долговечность восстанавливаемых деталей зависят главным образом от выбора рационального способа восстановления применения упрочняющей технологии и получения заданного качества поверхности, особенно на стадии финишных операций обработки и упрочнения восстанавливаемых деталей.

Применяя различные технологические процессы восстановления, особенно металлопокрытиями, и упрочняющую технологию, можно не только восстанавливать потерянные

размеры деталей и первоначальные служебные свойства, но и значительно их повышать.

Примером этому может служить создание биметаллических по-верхностей у новых деталей и значительное повышение их долговечности (хромированные поршневые кольца, наплавленные клапаны двигателей, рабочие органы сельскохозяйственных машин и др.).

Внедрение на ремонтных предприятиях входного контроля, особенно новых деталей, диктуется необходимостью в связи с тем, что многочисленными проверками установлены значительные отклонения их размеров и геометрии от заданных значений по рабочим чертежам.

Тщательный весовой и размерный подбор деталей цилиндрической группы. В связи с форсированием современных двигателей по оборотам и нагрузке необходим тщательный подбор по массе деталей ЦПГ. Особенно это важно для ремонтных предприятий, так как в результате износов ослабляется прочность, и жесткость ряда деталей наблюдаются и раскомтековка и замена, а также другие отклонения. В качестве примера можно указать, что для отремонтированных двигателей СМД-14 разность в массе комплекта поршней не должна превышать 7г, а шатунов – 12 г.

Динамическая балансировка коленчатых и карданных валов маховиков муфт сцепления и других узлов и деталей. Для динамической балансировки деталей ремонтные предприятия оснащаются специальными машинами БМ-У4.

Обеспечение регламентированных посадок усилия затяжки и сборки, резьбовых соединений и других требований при сборке агрегатов машин, особенно автотракторных двигателей – ответственное мероприятие, границы которого для каждой машины определены типовой технологией сборки.

Обеспечение хорошей герметизации агрегатов и сборочных единиц при их ремонте определяется не только заменой сальниковых уплотнений, но и устранением постоянно возникающих короблении плоскостей разъемов деталей, а также восстановлением изношенных резьбовых креплений применением специального прокладочного материала ЛАСП, прокладок из паронита и герметизирующих паст У-20А, УН-25, УН-01. Необходима проверка качества сборки и герметизации сборочных единиц (агрегатов).

Стендовая обкатка и испытания – ответственный начальный период работы смонтированных сборочных единиц и агрегатов машин. Поэтому в условиях ремонтных предприятий они должны выполняться и совершенствоваться введением обкатки под нагрузкой (не только двигателей, но и агрегатов трансмиссий машин), применением осерненных и новых обкаточных масел (ОМ-2) и присадок (АЛП-2) к топливу, тщательной очисткой, охлаждением и централизованной подачей масла, а также топлива и воды.

В процессе стендовой обкатки и испытания необходим тщательный их контроль с целью выявления посторонних шумов и стуков, повышенного нагрева, течи масла, воды и топлива, нарушения регулировок и др. После обкатки проводится контрольный осмотр двигателей и агрегатов, повторное испытание (при необходимости), замена смазки и промывка агрегатов дизельным топливом, а также очистка и замена фильтрующих элементов. Особое внимание при этом обращают на состояние, герметичность и нормальную работу воздухоочистителей.

Повышение качества окраски ремонтируемых машин, а, следовательно, их сопротивляемости коррозии в условиях ремонтных предприятий выполняется следующими приемами:

- ☐ снятием старой окраски в горячих щелочных ваннах;
- ☐ применением эффективных грунтов и эмалей;
- ☐ окраской отдельно агрегатов (до общей сборки машин) и машин в целом (после обкатки и испытаний) с применением новых методов окраски.

6.5. Повышение качества ремонта гильз цилиндров

автотракторных двигателей

Одним из характерных дефектов гильз цилиндров двигателей является износ внутренней поверхности гильз. Поэтому разработать рациональный технологический процесс ремонта гильз цилиндров автотракторных двигателей невозможно без четкого представления о закономерностях их износа, без определения максимального износа гильз, поступающих на участки восстановления ремонтно-технических предприятий АПК Ставропольского края.

Нами были проведены измерения величин износов гильз цилиндров автотракторных двигателей, а том числе и КамАЗ – 740, поступающих в капитальный ремонт в АООТ «Ремонтник» Ипатовского района. По результатам измерений были определены среднеарифметические значения

величин износа.

Максимальная величина овальности гильзы цилиндра наблюдается в верхнем сечении в плоскости качания шатуна и равна 0,026 мм. При-чем, до нижнего сечения, величина овальности снижается весьма незна-чительно с 0,026 до 0,022 мм, при более значительном снижении вели-чины износа. Максимальная величина износа наблюдается в верхней ча-сти зеркала цилиндра и равна 0,135мм.

Для разработки технологии восстановления гильз цилиндров пред-ставляет интерес лишь величина максимального износа. Дальнейший анализ закономерностей износа проводим для величины равной 0,135 мм.

Для выявления закономерностей рассеивания величин износов гильз строим полигон рассеивания. Данный полигон рассеивания под-чиняется закону распределения Вейбулла, что подтвердила проверка графически с помощью вероятностной бумаги Вейбулла-Гнеденко.

Таким образом, величина износа гильз цилиндров имеет распреде-ление Вейбулла со следующими параметрами:

$$, \quad (76)$$

В данном случае, для плотности вероятности будет верно уравне-ние:

$$, \quad (77)$$

Далее построим на полигоне рассеивания износов гильз кривую плотности вероятности (рис.18).

Рисунок 18 - Плотность вероятности и гистограмма распределения износов гильз цилиндров

Для определения максимально возможной величины износа гильз цилиндров двигателей, идущих на восстановление, принимаем, что восстановлению подвергается 90% деталей, поступающих в ремонт.

Из уравнения (76) при , получим мм. Макси-мально возможный действительный диаметр гильз, поступающих в ре-монт, будет складываться из максимального износа и наибольшего начального размера:

мм

В дальнейшем, при разработке технологического процесса восста-новления гильз принимаем за максимальную величину износа мм.

На основании проведенных исследований разрабатывается техно-логия восстановления гильз цилиндров двигателей КамАЗ-740, с уче-том современных достижений в области технологии ремонта машин.

На кафедре «Технический сервис и ремонт машин» в свое время (Под руководством к.т.н., доцента Сушкевича М.В.) была разработана технология и оснастка для вибрационного хонингования гильз цилин-дров автотракторных двигателей.

Особенность процесса заключается в том, что на хонинговальном станке (3М83) устанавливается дополнительное устройство, позволяю-щее к возвратно-поступательному и вращательному движению хонин-говальной головки добавить осциллирующее движение с большой ча-стотой (200-500 двойных ходов в минуту) и малым размахом колеба-ний (5-6 мм). Устройство крепится к шпиндельной головке станка меж-ду шпинделем и хоной хонинговального станка.

Вибрационное движение хонинговальной головки улучшает кон-такт рабочего инструмента с обрабатываемой поверхностью, повышает производительность труда при предварительном и окончательном хо-нинговании гильз цилиндров двигателей СМД.

В результате снижается шероховатость обработанной рабочей по-верхности гильз и улучшаются условия смазки сопряжения гильза – поршневое кольцо ШПГ автотракторных двигателей после ремонта.

В дальнейшем технологический процесс хонингования гильз ци-линдров совершенствовался

с целью снижения времени на обработку внутренней поверхности, а также улучшения их технологических параметров.

Предлагаемая технология обработки включает две операции: пред-варительное хонингование для получения исходной шероховатости по-верхности и чистовое хонингование для формирования конечной мик-рогеометрии поверхности.

Окончательное хонингование внутренней поверхности гильз цилин-дров осуществляется методом плосковершинного хонингования с гра-фитным насыщением внутренней поверхности гильз.

После предварительного хонингования микрорельеф поверхности представляет сочетание вершин гребней и впадин. При окончательном хонинговании гребни срезаются хонинговальными брусками, а обра-зовавшиеся впадины заполняются графитной смазкой.

При этом, нанесенный слой увеличивает площадь контакта и дает возможность влияния на микрорельеф обрабатываемой поверхности.

Последнее имеет особое значение для поверхностей сопряжений, работающих в условиях трения. Нанесенный слой графита повышает противозадирную стойкость зеркала цилиндра и уменьшает механиче-ские потери в период приработки.

Для осуществления предлагаемого технологического процесса на хонинговальном станке (ЗК833) устанавливается хонинговальная го-ловка, оснащенная абразивонаполненными полиамидными нитями.

Применение предлагаемой хонинговальной головки позволяет улучшить процесс приработки и увеличить ресурс сопряжения гильза – поршень двигателей КамАЗ – 740 после ремонта.

Для повышения износостойкости гильз цилиндров двигателей в процессе ремонта дополнительно проводится латунирование внутрен-ней поверхности.

Сущность технологического процесса заключается в том, что на обрабатываемую поверхность гильзы наносится антифрикционный со-став меди с помощью технической среды и механического воздействия (скольжения и давления). Нанесенный слой имеет 100% противозадир-ную стойкость с контрдеталью сопряжения (поршневым кольцом).

Для осуществления предлагаемого технологического процесса раз-работана специальная хонинговальная головка к станку модели ЗК833. В качестве рабочего инструмента в головке закреплены ролики. Таким образом, латунирование обеспечивает снижение механических потерь в сопряжении, улучшение приработки и увеличение ресурса поршневой группы двигателей.

Испытания при обкатке и эксплуатации двигателей Д – 240 показа-ли высокую (в 1,2 – 1,4 раза) износостойкость гильз цилиндров после латунирования в сравнении с гильзами, восстановленными по типовой технологии.

Контроль шероховатости внутренней поверхности гильз цилиндров двигателей после ремонта проводился в лабораторных условиях. По-сле хонингования внутренней поверхности гильз цилиндров по предла-гаемой технологии в сравнении с типовой технологией хонингования (рис. 19,20) наблюдается снижение шероховатости поверхности (с до).

Рисунок 19 -Высота микронеровностей внутренней поверхности гильзы цилиндров после плосковершинного хонингования методом графитного насыщения

Рисунок 20 - Высота микронеровностей внутренней поверхности гильзы цилиндров после обычного хонингования

Данные результаты исследования свидетельствуют о целесообраз-ности применения разработанных рекомендаций по совершенствова-нию технологии и оснастки при ремонте гильз цилиндров автотрактор-ных двигателей на ремонтно-технических предприятиях АПК.

Предложенные рекомендации использованы при организации рабо-ты участка по ремонту гильз цилиндров двигателей КамАЗ -740 в АООТ «Ремонтник» г. Ипатово.

Для выполнения технологического процесса ремонта гильз на участке предусмотрены следующие рабочие посты: очистки поверхно-сти гильз от загрязнения; дефектации; рассортировки по маршрутам; термопластической деформации; закалки внутренней поверхности гильз; металлизации посадочных поверхностей; точения посадочных поверхностей; точения торцов, канавок и фаски; расточки внутренней поверхности; окончательного хонингования внутренней

поверхности; латунирование внутренней поверхности; очистки гильз в водно-щелочном растворе; контроля геометрических параметров; сортировке по размерным группам; консервации и упаковки гильз.

На участке устанавливается следующее основное технологическое оборудование: машины моечные ОМ-5288 ГОСНИТИ и МИД, установка ТВЧ ВЧГ1-60/0,066, установка для плазменной наплавки УПС-3ОД, станки токарно-фрезерные 16К20, станки алмазно-расточные 2Е-78П, станки хонинговальные 3К833, а также вспомогательное оборудование – тележки, верстаки, рабочий и мерительный инструмент, раз-личная технологическая оснастка. На участке работают 5 производ-ственных рабочих. Расчет экономической эффективности совершен-ствования технологии восстановления гильз цилиндров двигателей на участке в АООТ «Ремонтник» показал целесообразность повышения их износостойкости.

Экономическая эффективность внедрения новой технологии ремон-та гильз цилиндров составляет 331,6 тыс. руб.

Совершенствование технологии ремонта отдельных деталей и узлов в конечном счете ведет к повышению затрат на ремонт двигателей, но компенсируется увеличением их послеремонтного ресурса.

В заключение, нами проведен контроль качества ремонта двигате-лей СМД-60 на поточно-механизированной линии сборки РЗ «Ставро-польский». Контролировался внутренний диаметр гильз цилиндров до и после запрессовки в блок-картер.

Геометрические параметры гильз цилиндров двигателей СМД-60, поступающих на линию сборки по кооперации отвечали требованиям ТУ. Внутренний диаметр лежал в пределах допуска. Однако, после за-прессовки гильз цилиндров в блок-картер наблюдались отклонения их размеров от номинальных значений. Величина овальности превышала допустимую величину, особенно в верхнем сечении плоскости качания шатуна, то есть наблюдались деформации гильз цилиндров после за-прессовки.

Деформации гильз цилиндров после запрессовки – есть результат деформации блок-картера в целом после затяжки крышек коренных опор перед расточкой постелей блока, и в частности посадочных пояс-ков под гильзу. Для снижения деформаций блок-картера при ремонте, необходимо увеличить его жесткость путем установки гильз цилин-дров с последующей затяжкой крышек коренных опор перед расточ-кой постелей.

В результате снижаются отклонения формы посадочных поясков блока и соответственно гильз цилиндров после их установки в 1,5-2 ра-за.

Таким образом, для повышения качества отремонтированных дви-гателей СМД-60 на ПМЛ ремонта блок-картера необходимо устано-вить стенд для запрессовки гильз цилиндров перед расточкой постелей блока.

6.6. Повышение качества ремонта автотракторных двигателей.

Для повышения качества выполнения технологических процессов восстановления деталей автотракторных двигателей нами проведен микрометраж геометрических параметров рабочих поверхностей, та-кой базово детали дизелей, как блок-картер двигателя СМД-60 на ли-нии сборки ремонтного завода “Ремсельмаш”. Средства измерения - универсальные и выбирались согласно техническим условиям (ТУ).

Контролировались следующие параметры: верхние и нижние поса-дочные места под гильзу цилиндров, внутренний диаметр гильз цилин-дров до и после запрессовки в блок-картер, гнезда под вкладыши ко-ренных подшипников коленчатого вала, отверстия под опорные шейки распределительного вала и под толкатели.

Геометрические параметры гильз цилиндров двигателей СМД-60. поступающие на линию сборки по кооперации, отвечали требованиям ТУ. Внутренний диаметр гильз лежал в пределах допуска. Но после запрессовки гильз цилиндров в блок- картер наблюдались отклонения их размеров от номинальных значений. Величина овальности превы-шала допустимую величину, особенно в верхней части плоскости кача-ния шатуна. То есть наблюдались деформации гильзы цилиндров после запрессовки.

Контроль посадочных мест блок-картера под гильзу показал, что диаметр нижнего посадочного пояска незначительно превышал допу-стимую величину (6%), а верхнего - у 31% блок-картеров был больше допустимого. Овальность поверхностей значительно отличалась от до-пуска.

Размеры гнезд под вкладыши коренных подшипников имели отклонения от номинальных значений и допустимых погрешностей формы. Надо отметить, что полученные результаты микрометража отверстий коренных опор блок-картера без запрессованных гильз с запрессованными гильзами отличались.

Таким образом для повышения точности формы рабочих поверхностей блок-картера после расточки постелей, необходимо увеличить жесткость блоков путем установки гильз цилиндров и последующей затяжки крышек постелей перед расточкой. Это приводит к снижению деформаций блока и его посадочных мест при механической обработке. Далее производится расточка постелей по соответствующей технологии. Затем блок-картер подается на дальнейшую сборку. В результате, снижаются отклонения формы постелей, посадочных мест по гильзу, внутренних диаметров гильз от неравномерной деформации блок-картеров двигателей СМД-60 при ремонте.

Для повышения точности формы гнезд под вкладыши коренных подшипников механическую обработку (расточку) необходимо производить с установленными в блок-картер гильзами цилиндров (технологические), что позволит снизить уровень дефектности постелей блока, более, чем в 2 раза.

Для этого необходимо установить на поточно-механизированную линию ремонта блок-картеров двигателей СМД-60 стенд для запрессовки гильз перед расточкой постелей, что позволит снизить неравномерность деформации блок-картера при затяжке крышек опор и уменьшить искажение формы посадочных поясков блока и гильз цилиндров после их установки в 1,5...2 раза.

Для повышения качества капитального ремонта автотракторных двигателей в условиях специализированных ремонтных предприятий необходимо совершенствовать методы организации ремонта. Сущность необезличенного метода ремонта двигателей заключается в том, что на восстановленный блок-картер устанавливают отремонтированные узлы и агрегаты с тем же порядковым ремонтным номером, что и номер контейнера (куда укладывают снятые с двигателя при разборке узлы).

Подсобранные блок-картеры и контейнеры с отремонтированными узлами направляются в комплектовочное отделение для доукомплектовки и группировки по ремонтным номерам. Комплект (блок-картер и контейнер с узлами и деталями) устанавливают на двухъярусный механизированный рольганг, соединяющий комплектовочное отделение и поточно-механизированную линию сборки двигателей СМД.

На участке общей сборки подсобранный блок-картер устанавливается на универсальный стенд-подставку, закрепленную на платформе кольцевого конвейера, который осуществляет транспортировку последовательно к сборочным постам.

Параллельно сборочному конвейеру располагается движущийся синхронно с ним двухъярусный механизированный рольганг, по которому так же от поста к посту передвигается контейнер с узлами и комплектующими деталями.

Синхронное движение сборочного конвейера и комплектовочного рольганга обеспечивают ритмичное поступление на сборочные посты узлов и деталей. Освободившиеся контейнеры из-под узлов и деталей, перегружаются на пути нижнего яруса механизированного рольганга и транспортируются в комплектовочное отделение для дальнейшего использования.

Применение данного метода ремонта позволяет значительно повысить качество отремонтированных двигателей и соответственно ресурс, снизить затраты на ремонт за счет расходов на новые запасные части. Предлагаемый метод организации ремонта двигателей можно использовать для совершенствования взаиморасчетов ремонтного предприятия с заказчиком.

Для повышения ресурса отремонтированных автотракторных двигателей необходимо, в первую очередь, определить состояние ремонтного производства и оценить качество продукции.

Состояние ремонтного производства оценивают комплексным показателем организационно-технического уровня (КО.Т.), учитывающим следующие факторы (по методике оценки качества капитально отремонтированных тракторных и комбайновых дизелей ГОСНИТИ): наличие и использование нормативно-технической документации на ремонт (K1), прогрессивного ремонтно-технологического оборудования и оснастки (K2), уровень технического контроля (K3), уровень научной организации труда и культуры производства (K4). В свою очередь, каждый из четырех факторов определяют с учетом коэффициентов значимости единичных показателей.

Комплексный показатель организационно-технического уровня ремонтного производства определяют как среднегеометрическое четырех факторов:

Комплексный показатель должен быть не менее 0,85 (КО.Т.).

Качество отремонтированной продукции оценивают с помощью показателя дефектности (Кд) на основании микрометража основных де-талей после восстановления и контроля качества сборки двигателей.

Коэффициент дефектности (Кд) определяют как сумму произведений дефектов каждого вида на норматив дефекта данного вида, назначенный в баллах (по методике оценки качества ремонта двигателей).

Согласно методике определено качество ремонта двигателей СМД-60 на основании анализа технологических процессов на участках и от-делениях ремонтного завода «Ремсельмаш», разборки, мойки, дефектации, восстановления деталей, комплектации, сборки, обкатки и испытания, окраски, приемки готовой продукции.

Найден комплексный показатель организационно-технического уровня (КО.Т.), равный 0,67, что ниже базового значения 0,85 (КО.Т.). Соответственно, $K_1=0,87$, $K_2=0,625$, $K_3=0,520$, $K_4=0,70$.

Определен также показатель дефектности на основании разработан-ного перечня контролируемых параметров с коэффициентом значимо-сти при ремонте двигателей СМД-60. Дефектность (Кд) составляет 597 баллов. Для отремонтированных двигателей с ресурсом 80% от новых коэффициент дефектности должен быть не более 280 баллов.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что для по-вышения комплексного показателя организационно-технического уровня (КО.Т.) надо, в первую очередь, обратить внимание на система-тический контроль и качество ремонта двигателей СМД-60, а также обеспечить рабочие места контрольно-измерительной оснасткой.

Для снижения уровня дефектности отремонтированных двигателей необходимо организовать входной контроль новых и восстановлен-ных деталей и узлов на участке комплектации РЗ «Ремсельмаш».

Повышение надежности отремонтированных двигателей приводит к сокращению затрат на техническое обслуживание и снижению издержек сельскохозяйственного производства.

При повышении качества отремонтированных двигателей СМД-60 увеличение ресурса до 80% от новых (4800 мото-часов) удельные за-траты составили 182 руб./ мото-час, то есть снижены против 253 руб./ мото-час.

Предложенные мероприятия по повышению качества ремонта авто-тракторных двигателей внедрены на поточно-механизированной ли-нии ремонта двигателей СМД-60 на ремонтном заводе "Ремсельмаш".

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства и информационных справочных систем (при необходимости).

11.1 Перечень лицензионного программного обеспечения

1. Kaspersky Endpoint Security 12.11 - Антивирус
2. Microsoft Windows Server STDCORE AllLngLicense/Software AssurancePack Academic OLV 16Licenses LevelE AdditionalProduct CoreLic 1Year - Серверная операционная система

11.3 Перечень программного обеспечения отечественного производства

1. Kaspersky Endpoint Security 12.11 - Антивирус

При осуществлении образовательного процесса студентами и преподавателем используются следующие информационно справочные системы: СПС «Консультант плюс», СПС «Гарант».

12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

№ п/п	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Номер аудитор ии	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
-------	---	------------------	---

1	Учебная аудитория для проведения занятий всех типов (в т.ч. лекционного, семинарского, практической подготовки обучающихся), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	189/ИТ Ф	Оснащение: столы -22 шт., стулья -66 шт., персональный компьютер KraftwayCredoKC36, 65 - 1 шт., телевизор "LG" - 1 шт., стол лектора – 1шт., трибуна лектора – 1 шт., микрофон – 1 шт., учебно-наглядные пособия в виде презентаций, информационные плакаты, подключение к сети «Интернет», выход в корпоративную сеть университета
		195/ИТ Ф	"Лаборатория входного контроля и качества деталей" Оснащение: столы – 2 шт.; стулья – 14 шт. Прибор для определения твердости по Бринелю и Роквеллу - 1 шт.; Муфельная печь - 1 шт.; Станок токарный настольный с компьютерным имитатором - 1 шт.; Выпрямитель сварочный - 1 шт.; Машины для контактной сварки станок -3 шт.; Преобразователь сварочный - 1 шт.; Трансформатор сварочный - 2 шт.; Установка для точечной электроконтактной сварки - 1 шт.; Точило ТШ - 1 шт.; Оборудование для формовки в разовые формы; Печи плавильные с нагревом до температуры 1200 оС; Шлифовальные и алмазные круги, хонинговальные бруски и др., Настольно-сверлильные станки - 2 шт., тиски слесарные - 1шт., нутромер - 1шт.
2	Помещение для самостоятельной работы обучающихся, подтверждающее наличие материально-технического обеспечения, с перечнем основного оборудования		

13. Особенности реализации дисциплины лиц с ограниченными возможностями здоровья

Обучающимся с ограниченными возможностями здоровья предоставляются специальные учебники и учебные пособия, иная учебная литература, специальные технические средства обучения коллективного и индивидуального пользования, предоставление услуг ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь, а также услуги сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

а) для слабовидящих:

- на промежуточной аттестации присутствует ассистент, оказывающий студенту необходимую техническую помощь с учетом индивидуальных особенностей (он помогает занять рабочее место, передвигаться, прочитать и оформить задание, в том числе записывая под диктовку);

- задания для выполнения, а также инструкция о порядке проведения промежуточной аттестации оформляются увеличенным шрифтом;

- задания для выполнения на промежуточной аттестации зачитываются ассистентом;

- письменные задания выполняются на бумаге, надиктовываются ассистенту;

- обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс;

- студенту для выполнения задания при необходимости предоставляется увеличивающее устройство;

в) для глухих и слабослышащих:

- на промежуточной аттестации присутствует ассистент, оказывающий студенту необходимую техническую помощь с учетом индивидуальных особенностей (он помогает занять рабочее место, передвигаться, прочитать и оформить задание, в том числе записывая под диктовку);

- промежуточная аттестация проводится в письменной форме;

- обеспечивается наличие звукоусиливающей аппаратуры коллективного пользования, при необходимости поступающим предоставляется звукоусиливающая аппаратура индивидуального пользования;

- по желанию студента промежуточная аттестация может проводиться в письменной форме;

д) для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата (тяжелыми нарушениями двигательных функций верхних конечностей или отсутствием верхних конечностей):

- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением или надиктовываются ассистенту;

- по желанию студента промежуточная аттестация проводится в устной форме.

Рабочая программа дисциплины «Оценка качества и надежности машин» составлена на основе Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования - магистратура по направлению подготовки 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов (приказ Минобрнауки России от 07.08.2020 г. № 906).

Автор (ы)

_____ доц. , к.т.н. Марьин Николай Александрович

Рецензенты

_____ доц. , к.т.н. Данилов Михаил Владимирович

_____ доцент КМиТС, к.т.н. Грицай Дмитрий Иванович

Рабочая программа дисциплины «Оценка качества и надежности машин» рассмотрена на заседании Кафедра механики и технического сервиса протокол № 16 от 04.03.2025 г. и признана соответствующей требованиям ФГОС ВО и учебного плана по направлению подготовки 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Заведующий кафедрой _____ Баганов Николай Анатольевич

Рабочая программа дисциплины «Оценка качества и надежности машин» рассмотрена на заседании учебно-методической комиссии Институт механики и энергетики протокол № 7 от 17.03.2025 г. и признана соответствующей требованиям ФГОС ВО и учебного плана по направлению подготовки 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Руководитель ОП _____