

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,  
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ  
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

С. И. Козлов

# **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ**

*Курс лекций  
для студентов, обучающихся по специальности  
углубленного высшего образования  
7-06-0812-01 Техническое обеспечение производства  
сельскохозяйственной продукции*

Горки  
БГСХА  
2025

УДК 631.3:636(075.8)

ББК 40.72я73

К59

*Рекомендовано методической комиссией  
факультета механизации сельского хозяйства  
27.11.2023 (протокол № 3)  
и Научно-методическим советом БГСХА  
27.12.2023 (протокол № 4)*

Автор

кандидат технических наук, доцент *С. И. Козлов*

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент *А. И. Филиппов*;

кандидат технических наук, доцент *И. В. Дубень*

**Козлов, С. И.**

К59 Прогнозирование остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве : курс лекций / С. И. Козлов. – Горки : БГСХА, 2025. – 64 с.

ISBN 978-985-882-599-7.

В учебном издании изложены общие положения, основные понятия и определения в области прогнозирования остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве. Приведены методы диагностирования машин и оборудования в животноводстве, а также даны расчеты по оценке остаточного ресурса машин и оборудования, применяемых в животноводстве.

Для студентов, обучающихся по специальности углубленного образования 7-06-0812-01 Техническое обеспечение производства сельскохозяйственной продукции.

УДК 631.3:636(075.8)

ББК 40.72я73

**ISBN 978-985-882-599-7**

© УО «Белорусская государственная  
сельскохозяйственная академия», 2025

## ВВЕДЕНИЕ

Животноводство является одной из основных отраслей сельского хозяйства Республики Беларусь, которая обеспечивает население страны биологически полноценными продуктами питания, снабжает промышленность кожей, шерстью и другим сырьем. Освоение магистрантами материала учебной дисциплины «Прогнозирование остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве» позволит получить необходимые знания и навыки в инновационной оценке остаточного ресурса сельскохозяйственной техники.

Цель учебной дисциплины – формирование у магистрантов системы теоретических знаний, навыков и профессиональных (специальных) компетенций в области инновационных оценок остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве.

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: дать понятие о современных методах организационно-экономической оценки остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве; ознакомить с инновационными направлениями развития и сформировать практические навыки оценки остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве; подготовить магистранта к самостоятельной работе в учреждениях образования при преподавании учебных дисциплин, предусматривающих освоение обучающимися инновационных оценок остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Швед, И. М. Прогнозирование остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве: учеб. пособие / И. М. Швед, Д. Ф. Кольга. – Минск: БГАТУ, 2020. – 120 с.
2. Карташевич, А. Н. Техническое диагностирование машин: лекция / А. Н. Карташевич, Г. Н. Сапьяник, А. Ф. Скадорва; Белорус. гос. с.-х. акад. – Горки, 2009. – 31 с.
3. Диагностика и техническое обслуживание машин: учебник / А. В. Новиков [и др.]; под ред. А. В. Новикова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 340 с.
4. Рекомендации по техническому сервису доильного оборудования / М-во сел. хоз-ва и прод. Респ. Беларусь, РУП «НПЦ Беларуси по механизации сельского хозяйства» / С. К. Карпович [и др.]; под общ. ред. С. К. Карповича. – Минск: БГАТУ, 2015. – 124 с.
5. Передня, В. И. Технические средства для приготовления и раздачи кормов на фермах крупного рогатого скота / В. И. Передня, А. В. Китун; Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по механизации сельского хозяйства. – Минск: Беларус. навука, 2014. – 140 с.
6. Техническое обеспечение процессов в животноводстве: учеб. пособие / Д. Ф. Кольга [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 575 с.
7. Трубилов, А. К. Графические методы обработки информации по надежности машин: метод. указания / А. К. Трубилов. – Горки, 2014. – 28 с.

## **Лекция 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ**

1.1. Общие положения, основные понятия и определения.

1.2. Параметры технического состояния машин и оборудования в животноводстве.

### **1.1. Общие положения, основные понятия и определения**

Даже при соблюдении технологической дисциплины при эксплуатации машин и оборудования, применяемого в животноводстве, неизбежны попадания в среду, с которой взаимодействуют рабочие органы, агрессивных компонентов. Также на сокращение срока эксплуатации оборудования в ходе выполнения рабочего процесса влияют колебания таких регулируемых параметров, как температура, давление, расход и пр., обусловленные запаздыванием регулирования. Воздействие указанных факторов в течение длительного времени вызывает повреждение металла.

В предельные моменты эксплуатации оборудования могут возникать такие сочетания параметров, которые нарушают его работоспособность, т. е. вызывают отказы. Отказы машин и оборудования, применяемого в животноводстве, можно разделить на три вида: механические, технологические, ошибки (нарушения) при эксплуатации, изготовлении или разработке оборудования.

К первому виду относят отказы, вызванные нарушением механической работоспособности оборудования вследствие изнашивания, коррозии, поломок деталей, нарушения формы элементов оборудования, возникновения недопустимых сопутствующих процессов – вибрации, стука, утечки смазывающей жидкости, перегрева подшипников и др.

К технологическим относят отказы, обусловленные нарушением хода технологического процесса, выполняемого на данном оборудовании, приводящего к травмированию животных или получению кормов низкого качества, а также приводящего к нарушению функционирования оборудования. Примерами таких отказов в сельском хозяйстве является перегрев смесителей-запарников кормов, приводящий к налипанию на его поверхностях мелких частиц кормовых компонентов, что приводит к ухудшению санитарного состояния эксплуатируемого оборудования; загрязнение фильтров и разделительных элемен-

тов в оборудовании для первичной обработки молока, приводящее к снижению его производительности, и т. п.

Отказы третьего вида определяются в основном уровнем технологической дисциплины и культурой производства на предприятии.

Механические и технологические отказы проявляются постепенно в изменении одного или нескольких выходных параметров, поэтому такие отказы называют параметрическими. Контролируемыми параметрами могут быть как величины повреждений (глубина коррозии стенок, износ детали), так и выходные параметры оборудования (производительность, коэффициент полезного действия, степень разделения, однородность, очистка), а также и другие количественные показатели качества продукта, параметры вибрации, шума, величина утечки смазывающей жидкости через уплотнения и т. д. Параметры технического состояния машин и оборудования – это мониторинг контролируемых параметров, позволяющих прогнозировать моменты наступления отказов оборудования.

В соответствии с ГОСТ 27.002-89, ГОСТ 12.2.042-2013 ССБТ, ГОСТ 7751-2009 отказом оборудования считается нарушение его работоспособного состояния.

Предельное состояние оборудования – состояние оборудования после отказа или технического освидетельствования, не подлежащего восстановлению. Нецелесообразность восстановления оборудования, имеющего повреждения, может быть обусловлена как технико-экономическими показателями, так и нарушениями установленных требований безопасности (экологии).

Критерии предельного состояния – признаки предельного состояния оборудования, установленные в нормативно-технической документации. Остаточным ресурсом называют запас возможной наработки машин и оборудования после момента контроля его технического состояния (или ремонта), в течение которого обеспечивается соответствие требованиям нормативно-технической документации всех его основных технико-эксплуатационных показателей и показателей безопасности.

Термин «диагностика» происходит от греческого слова «диагнозис», что означает распознавание, определение. В процессе диагностики устанавливается диагноз, т. е. определяется состояние больного (медицинская диагностика) или состояние технической системы (техническая диагностика).

Техническая диагностика – это отрасль науки, которая изучает и устанавливает признаки неисправностей машин, механизмов и узлов; разрабатывает методы и средства, обеспечивающие заключение о характере и сущности неисправностей; на основе изучения динамики изменения параметров технического состояния агрегатов и узлов машины обеспечивает прогнозирование ресурса их безотказной работы.

Диагностирование – это процесс определения технического состояния безразборными методами с целью установления заключения о машине. Заключение о техническом состоянии машины (узла, агрегата), в целом осуществляемое на основе анализа параметров технического состояния объектов диагностирования, называется техническим диагнозом. Техническое состояние – это совокупность подверженных изменению в процессе эксплуатации свойств объекта, характеризующая его пригодность к использованию по назначению и определяемая в заданный момент времени значениями параметров и качественными признаками, состав которых установлен технической документацией.

Различают следующие виды технического состояния:

- исправное и неисправное;
- работоспособное и неработоспособное.

Исправность – это состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и конструкторской документации.

Работоспособность – это состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и конструкторской документации.

Объект может быть работоспособен, но неисправен (например, у раздатчика кормов может быть вмятина в бункере, что не мешает ему выполнять процесс смешивания или раздачи кормов).

## **1.2. Параметры технического состояния машин и оборудования в животноводстве**

Техническое состояние машины (узла, агрегата) оценивается параметрами, которые подразделяют на структурные и диагностические.

Структурный параметр – это физическая величина, непосредственно характеризующая техническое состояние (работоспособность) машины (например, размеры сопряженных деталей и зазоры между ними и пр.; определяют их непосредственно замерами).

Диагностический параметр – это также физическая величина, но она косвенно характеризует состояние машины (например, мощность, затрачиваемая на рабочий процесс, угар масла, стуки и т. д.; контролируют их при помощи средств диагностики). Диагностические параметры отражают изменение структурных.

Количественной мерой параметров состояния, структурных и диагностических, являются их значения, которые могут быть номинальными, допустимыми, предельными и текущими.

Номинальное значение параметра – это значение параметра, определенное его функциональным значением и служащее началом отсчета отклонений. Номинальное значение наблюдается у новых и капитально отремонтированных составных частей.

Допустимое значение (отклонение) параметра характеризуется граничным его значением, при котором составную часть машины после контроля допускают к эксплуатации без операций технического обслуживания или ремонта. Это значение приводят в технической документации на обслуживание и ремонт машин. При допускаемом значении параметра составная часть надежно работает до следующего планового контроля.

Предельные параметры – это параметры, при которых дальнейшее использование машины (узла, агрегата) недопустимо по техническим условиям или нецелесообразно по технико-экономическим данным (резко уменьшается производительность, увеличивается интенсивность износа деталей и т. д.).

Предельное значение параметра – это наибольшее или наименьшее значение параметра, которое может иметь работоспособная составная часть. При этом дальнейшая эксплуатация узла, агрегата или машины в целом без проведения ремонта недопустима ввиду резкого увеличения интенсивности изнашивания сопряжений, чрезмерного снижения экономичности машины или нарушения требований безопасности.

Предельные значения параметров состояния устанавливают на основании соответствующих критериев (признаков):

1. Технические критерии.
2. Технико-экономические критерии.
3. Технологические критерии (качественные).

Технические критерии (признаки) характеризуют предельное состояние составных частей, когда они не могут больше выполнять свои функции по техническим причинам (например, предельное увеличение шага приводной цепи (свыше 4 % номинального значения) приводит к

ее проскальзыванию на звездочках и спаданию) или когда дальнейшая эксплуатация объекта приводит к аварийному отказу (предельный износ пластин ротора вакуумного насоса приводит к выходу его из строя).

Технико-экономические критерии, характеризующие предельное состояние, указывают на снижение эффективности использования объекта вследствие изменения технического состояния.

Технологические критерии характеризуют резкое ухудшение качества выполнения работ по причине предельного состояния рабочих органов машин. Объем работ (наработка), выполняемый машиной до предельных значений основных параметров, называют ресурсом.

Среди **структурных параметров** различают ресурсные и функциональные.

*Ресурсный параметр* – это такой параметр, изменение которого сверх предельного значения приводит к потере работоспособности узла, агрегата, машины в результате исчерпания ресурса или возникновения критического дефекта. Восстановить работоспособность можно только ремонтом или заменой вышедшего из строя узла.

*Функциональный параметр* – это параметр, изменение которого сверх допустимого значения приводит к потере работоспособности в результате изменения показателей технической характеристики оборудования. Восстановление работоспособности в этом случае возможно посредством регулировки механизмов и систем при ТО или другими воздействиями.

**Диагностические параметры** бывают обобщенные и локальные.

*Обобщенный параметр*, или комплексный диагностический параметр, характеризует состояние нескольких составных частей машины или машину в целом.

*Локальный параметр*, или частный диагностический параметр, характеризует состояние одного отдельного элемента. Отсюда возникают и следующие термины: комплексная диагностика и поэлементная диагностика.

Диагностирование машин и оборудования, эксплуатируемых на фермах и комплексах, проводят в соответствии с планами ТО или ремонта, а также при отказах или заявках механизатора о неудовлетворительной работе оборудования, кроме того, проводят и ресурсное диагностирование, предшествующее текущему или капитальному ремонту. Для оборудования, эксплуатируемого на фермах и комплексах, установ-



лено ежедневное (ежесменное) техническое обслуживание (ЕТО) и два вида номерных технических обслуживаний: ТО-1 и ТО-2.

Среди параметров технического состояния различают прямые и косвенные параметры.

*Прямой параметр технического состояния* – это параметр технического состояния машины, непосредственно характеризующий конкретное свойство объема или его составной части и определяющий его предельное состояние.

*Косвенный параметр технического состояния* – это параметр технического состояния, связанный с прямым параметром технического состояния детерминированной или стохастической зависимостью, изменяющийся в результате изменения прямых параметров технического состояния.

Прогнозирование остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве по косвенным параметрам основано на одновременном выполнении условий:

- известны физические процессы, приводящие к ресурсным отказам, а также математические модели изменения прямых (структурных) и косвенных (диагностических) параметров;
- для каждого прямого параметра технического состояния установлены предельные значения, достижение которых определяет величину ресурса по данному параметру;
- в процессе наблюдения за изменением технического состояния изделия имеется возможность фиксации параметров, отражающих индивидуальные особенности изделия;
- имеется информация о функциональных или регрессионных соотношениях между прямыми и косвенными параметрами технического состояния;
- зависимость между математическими ожиданиями прямых и косвенных параметров технического состояния является монотонной и непрерывной.

Определение остаточного ресурса по косвенным параметрам технического состояния сопровождается в общем случае тремя видами погрешностей:

- погрешностями измерения косвенных параметров;
- погрешностями, связанными со случайной природой физических процессов развития отказов;
- методическими погрешностями определения прямых параметров технического состояния по значениям косвенных параметров.

## **Лекция 2. СТРУКТУРНЫЕ И ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ**

2.1. Диагностирование оборудования, находящегося в эксплуатации. Структурные и диагностические параметры.

2.2. Методы прогнозирования остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве.

### **2.1. Диагностирование оборудования, находящегося в эксплуатации. Структурные и диагностические параметры**

Техническое диагностирование является составной частью технического обслуживания оборудования с учетом функционального его воздействия на животное. В процессе эксплуатации машин, применяемых на животноводческих фермах и комплексах, устанавливают следующие задачи диагностирования оборудования в целом и его составных частей:

- разработка логической модели и порядка диагностирования, лимитирующих работоспособность оборудования;
- проверка исправности оборудования в процессе приемки при изготовлении, выпуске после ремонта и хранения;
- проверка работоспособности и правильности функционирования оборудования с целью определения объема работ при техническом обслуживании: поиск дефектов с установленной глубиной для технического обслуживания;
- сбор исходных данных для прогнозирования безотказной работы в пределах межконтрольного периода и остаточного ресурса;
- контроль при необходимости качества работ, выполненных при техническом обслуживании.

Порядок разработки системы диагностирования, а также требования к объектам и средствам диагностирования выполняют по ГОСТ 20417-76, требования к контролепригодности оборудования выполняют по ГОСТ 23569-79 и ГОСТ 24029-80.

Требования к выбору и обоснованию диагностических параметров следует задавать на стадии разработки технического задания на проектируемое оборудование с указанием технических, зоотехнических и санитарных характеристик условий диагностирования.

Диагностирование оборудования, находящегося в эксплуатации, организывают на основе конструкторской и технологической доку-

ментации с периодичностью, указанной в эксплуатационной документации. Планирование, учет и отчетность по диагностированию проводят по формам, установленным в республике. По результатам диагностирования составляют заключение о возможности дальнейшей эксплуатации оборудования с назначенным ресурсом или необходимости проведения технического обслуживания.

Фактические объемы работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования устанавливают с учетом результатов диагностирования.

Техническое диагностирование представляет собой общую процедуру проверки функционирования машины. Оно связано с систематизацией и анализом информации, с помощью которой можно оценить техническое состояние машины без ее разборки. Диагностирование, выполняемое при проведении технического обслуживания, позволяет сделать вывод о необходимости направления техники на ремонт и приемки ее после ремонта. В соответствии с этим можно ввести такие понятия, как пред- и послеремонтное техническое диагностирование. В задачи диагностирования входит также прогнозирование отказов.

Независимо от назначения технического диагностирования его содержание и алгоритм (от предварительного изучения – к детальному анализу) неизменны.

Первый этап диагностирования – контроль технического состояния – представляет собой проверку обобщенных показателей. Если зафиксировано отклонение какого-либо показателя от номинального значения, то определяют уточняющие показатели. Одним из видов технического диагностирования является ежедневный технический контроль. И хотя такой контроль распространяется на весьма широкий круг объектов, можно ограничиться кратким перечнем общих показателей, оцениваемых объективно и субъективно.

*Объективные показатели* – это измеренные с помощью приборов утечки молока, воды и жидкого масла, давление консистентной смазки в корпусах подшипников, зоотехнические показатели и др.

*Субъективные показатели* – это состояние наружных креплений, узлов машин и оборудования, степень их нагрева по окончании работы, реакция животных и др. Для проведения технического диагностирования и обслуживания машин в животноводстве применяют специальные автопередвижные лаборатории и мастерские с соответствующим набором инструментов и оборудования.

Для оценки технического состояния машины необходимо определить текущее значение структурного параметра и сравнить его значе-

ние с нормативным. Однако структурные параметры в большинстве случаев нельзя определить без разборки узла. Разборка связана с трудозатратами и нарушением взаимного расположения приработавшихся деталей, что приводит к сокращению ресурса узла (после сборки детали должны снова приработаться друг к другу).

По этим причинам при диагностировании о значениях структурных параметров судят по косвенным диагностическим параметрам. Например, состояние двигателя в самоходном раздатчике кормов можно оценить по развиваемому машиной тяговому усилию и расходу топлива, герметичность холодильного контура в молокоохладительной установке можно оценить по времени падения давления и т. д.

*Диагностические параметры* – это физические величины, которые могут быть измерены и связаны с параметрами технического состояния определенной зависимостью.

По объему и характеру передаваемой информации диагностические параметры разделяют на частные, общие и взаимосвязанные.

Частные (единичные) диагностические параметры независимо от других указывают на вполне конкретную неисправность (засорение фильтра-осушителя приводит к снижению пропускной способности хладагента в холодильном контуре холодильного агрегата).

Общие (множественные) диагностические параметры характеризуют техническое состояние машины в целом (снижение компрессии в компрессоре холодильного агрегата может произойти из-за износа колец, цилиндра и поршня, поломки клапанов).

Взаимозависимые (неопределенные, или комбинированные) диагностические параметры оценивают неисправность только по совокупности нескольких измеренных параметров (падение давления в вакуумпроводе доильной установки может произойти из-за износа вакуумного насоса или отсутствия герметичности в вакуумметрической линии).

По способу дальнейшего восстановления объекта диагностические параметры делят на ресурсные и функциональные.

Ресурсные диагностические параметры обуславливают утрату работоспособности механизмом по причине превышения ими предельных значений (повышенный расход масла из-за износа пластин ротора пластинчатого вакуумного насоса). Восстанавливают путем ремонта.

Функциональные диагностические параметры при достижении предельных значений также обуславливают потерю работоспособности (увеличение зазора между ножом и противорезом в измельчителях кормов приводит к снижению эффективности измельчения кормовой массы). Такие параметры восстанавливают путем регулировок при ТО.

## **2.2. Методы прогнозирования остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве**

Для прогнозирования остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве, отказы которых вызывают процессы накопления повреждений, рекомендуется использовать РД 50-490-84 «Методические указания. Техническая диагностика. Методика прогнозирования остаточного ресурса машин и деталей по косвенным параметрам».

Среди параметров технического состояния различают прямые и косвенные параметры.

Прямой параметр технического состояния – это параметр технического состояния машины, непосредственно характеризующий конкретное свойство объема или его составной части и определяющий его предельное состояние.

Косвенный параметр технического состояния – это параметр технического состояния, связанный с прямым параметром технического состояния детерминированной или стохастической зависимостью, изменяющийся в результате изменения прямых параметров технического состояния.

Прогнозирование остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве по косвенным параметрам основано на одновременном выполнении условий:

- известны физические процессы, приводящие к ресурсным отказам, а также математические модели изменения прямых (структурных) и косвенных (диагностических) параметров;

- для каждого прямого параметра технического состояния установлены предельные значения, достижение которых определяет величину ресурса по данному параметру;

- в процессе наблюдения за изменением технического состояния изделия имеется возможность фиксации параметров, отражающих индивидуальные особенности изделия;

- имеется информация о функциональных или регрессионных соотношениях между прямыми и косвенными параметрами технического состояния;

- зависимость между математическими ожиданиями прямых и косвенных параметров технического состояния является монотонной и непрерывной.

Определение остаточного ресурса по косвенным параметрам технического состояния сопровождается в общем случае тремя видами погрешностей:

- погрешностями измерения косвенных параметров;

- погрешностями, связанными со случайной природой физических процессов развития отказов;

- методическими погрешностями определения прямых параметров технического состояния по значениям косвенных параметров.

Математическое описание процесса изменения параметра технического состояния  $Y(t)$  (после приработки) основано на аппроксимации каждой реализации данного процесса случайной функцией следующего вида:

$$Y(t) = Kt^\alpha + z(t), \quad (2.1)$$

где  $K$  – случайное для группы одноименных составных частей, но неизменное для каждой реализации случайного процесса значение показателя скорости изменения параметра;

$\alpha$  – показатель степени аппроксимирующей функции, характеризующий конструктивные особенности составной части;

$z(t)$  – нормальный стационарный случайный процесс отклонений фактических значений параметра от аппроксимирующей степенной функции каждой реализации процесса  $Y(t)$ .

Статистические характеристики случайного процесса  $z(t)$  при  $t > 0,3 T_{\text{ср}}$  следующие:

$$M[z(t)] = 0; D[z(t)] = \sigma^2; R[z(t), (t + \Delta t)] = R(\Delta t); \quad (2.2)$$

$$f[z(t_k)] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{z^2(t_k)}{2\sigma^2}\right].$$

Средний остаточный ресурс составных узлов вычисляют на основе информации об изменении параметра ее технического состояния  $Y_K$  и о наработке  $t_k$  к моменту контроля по приближенной формуле

$$t_{\text{ост}}^{\text{ср}} = t_k \left[ \left( \frac{Y_{\Pi}}{Y_K} \right)^{1/2} - 1 \right] K_t. \quad (2.3)$$

При  $\sigma < 0,03 Y_{\Pi}$  можно не учитывать поправочный коэффициент  $K_t$ .

Точно условный средний остаточный ресурс определяют по формуле

$$t_{\text{ост}}^{\text{ср}} = \int t_{\text{ост}} dQ \left[ \left( \frac{t_{\text{ост}}}{Y_K(t_k)} \right) = Y_K \right]. \quad (2.4)$$

где  $Q \left[ \left( \frac{t_{\text{ост}}}{Y_K(t_k)} \right) = Y_K \right]$  – условная вероятность отказа (условие состоит

в том, что в момент  $t_k$  значение отклонения параметра составляет  $Y_K$ ).

Для определения остаточного ресурса с заданной вероятностью безотказной работы и оптимального остаточного ресурса используют уравнения, куда входит условная вероятность отказа  $Q \left[ \frac{t_{\text{ост}}}{Y_K(t_k)} \right]$ , яв-

ляющаяся функцией условного распределения остаточного ресурса.

Необходимую точность оценки рекомендуемый метод обеспечивает в том случае, если изменение параметра технического состояния к моменту контроля составляет не менее половины предельного отклонения параметра  $Y_n$  и при соблюдении условия  $t_{\text{ост}} < 0,5t_k$ . При выполнении всех приведенных условий погрешность рекомендуемого метода прогнозирования не превышает 8–9 %.

### **Лекция 3. РОЛЬ И МЕСТО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МАШИН ПРИ ИХ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

3.1. Определение наиболее рациональной схемы обслуживания машин и оборудования в животноводстве.

3.2. Особенности характерных повреждений животноводческого оборудования, закономерности их развития.

3.3. Предельные состояния оборудования: критерии и методы выявления повреждений.

#### **3.1. Определение наиболее рациональной схемы обслуживания машин и оборудования в животноводстве**

Основной движущей силой интенсификации народного хозяйства Республики Беларусь является кардинальное ускорение научно-технического прогресса на основе перехода к принципиально новым технологическим процессам и к технике нового поколения, позволяющей достичь высшего уровня производительности труда и максимальной эффективности.

В области технического перевооружения народного хозяйства предстоит решить задачу освоения принципиально новых систем машин, оснащенных системами АСУТП, роботизированными системами (доения, кормления, навозоудаления, приготовления кормов и др.), обеспечивающих комплексную механизацию производственных процессов и их высокоэффективную эксплуатацию в разнообразных формах промышленного и сельскохозяйственного производства.

Сельскохозяйственные предприятия в настоящее время получают новую или отремонтированную технику, которая может находиться в различном техническом состоянии. Состояние новой техники зависит от качества изготовления, сборки, приработки, условий хранения и транспортирования. Последние четыре фактора способствуют увеличению первоначальных различий у формально одинаковых, сошедших с одного конвейера, машин.

При эксплуатации различия, присущие каждому экземпляру, усиливаются. Основными причинами изменения технического состояния элементов являются: конструктивные, технологические, эксплуатационные.

Исходная неравномерность рабочих процессов, обусловленная конструктивными и технологическими факторами, усиливается эксплуатационными факторами. Состояние отремонтированной техники характеризуется этими же факторами. Однако они проявляются в большей степени, что определяется использованием в процессе ремонта деталей с уже накопленными различиями. Из этого следует, что для машин с различным исходным состоянием во время эксплуатации потребуется разное восстановительно-профилактическое вмешательство через неодинаковое время. Оптимальным будет являться индивидуальное обслуживание каждого экземпляра с целью восстановления как функциональных, так и ресурсных параметров. На практике восстановительно-профилактическое вмешательство считается оптимальным в том случае, если оно проведено в такие сроки и в таком объеме, которые требуются для поддержания нормальной работы машины при условии использования ресурсов всех эксплуатационных материалов, деталей и регулировок.

Наиболее рациональным является обслуживание машины по следующей схеме: определение потребности в техническом вмешательстве → проведение необходимых работ → контроль качества проведенных работ → исправление выявленных отклонений → испытание машины. Однако обслуживание машины по такой рациональной схеме



требует решения ряда организационно-технических задач, а именно: определение времени, места и объема работ по выявлению потребности в техническом вмешательстве и проведению его.

В связи с усложнением многих технических систем и необходимостью обеспечения их надежной работы возникла специальная отрасль знаний – техническая диагностика. В рамках этой науки изучают показатели (признаки) неисправностей машин и их частей, разрабатывают методы и средства, позволяющие определить техническое состояние машины. Диагностирование машин, проводимое с использованием внешних и встроенных средств контроля, позволяет определять техническое состояние агрегатов, механизмов и систем машины без их разборки, прогнозировать сроки службы узлов, фактически управлять их техническим состоянием, назначая соответствующие предупредительные работы и выполняя их в процессе технического обслуживания и ремонта. Это снижает время простоя машины, обеспечивает значительную экономию средств на ее обслуживание и ремонт.

Техническое диагностирование оказывает большое влияние на интенсивность использования техники через ее коэффициент готовности. Предупреждение отказов, оперативное их устранение резко снижают простои машин по техническим причинам, увеличивает их производительность и качество выполнения сельскохозяйственных операций, что положительно сказывается на сроках выполнения работ, способствует получению дополнительной прибыли сельхозпроизводителями.

Диагностирование машин и оборудования применяют практически при всех видах ТО и ремонта техники. В связи с повышением конструктивной сложности машин область применения диагностирования также значительно расширилась за счет их контроля при технологическом регулировании (настройке), а также при автоматизации различных технологических процессов, в том числе сельскохозяйственных. Основными задачами технического диагностирования являются:

- 1) установление вида и объема работ по ТО машины после выполнения ею определенной наработки;
- 2) определение остаточного ресурса машины и степени готовности к выполнению механизированных работ;
- 3) осуществление контроля качества профилактических операций при проведении ТО;
- 4) выявление причин и характера неисправностей в процессе их использования.

Внедрение технической диагностики позволяет:

- 1) сохранить оптимальные рабочие характеристики в течение всего срока службы машины;
- 2) в 2,0–2,5 раза снизить простои машин и оборудования по причине технических неисправностей, за счет предупреждения отказов; в 1,3–1,5 раза увеличить межремонтную наработку сборочных единиц и агрегатов машин;
- 3) ликвидировать преждевременные разборки агрегатов и узлов, что уменьшает интенсивность изнашивания деталей, сопряжений;
- 4) полностью использовать межремонтный ресурс машин, их узлов и агрегатов, что обеспечивает резкое сокращение расхода запасных частей;
- 5) определить без разборки качество ТО и ремонта машин;
- 6) уменьшить расход топлива и средств на содержание техники.

Увеличивающаяся потребность в методах и средствах технической диагностики является результатом современного способа достижения качества машин и реализации их потенциала в условиях эксплуатации. Бесспорным импульсом для роста потребностей в методах и средствах технической диагностики было начало оживления хозяйства в стране, где требования со стороны качества, логистики и маркетинга радикально изменили критерии эффективности использования машин и оборудования, применяемого в животноводстве. Растущая потребность в диагностике совпадает также с появлением новых достижений в микроэлектронике, компьютерной технике, нейронных сетей и искусственного интеллекта, эффективно облегчающих возможности технической диагностики.

В отличие от характера работы машин в полеводстве машины и оборудование, эксплуатируемое на фермах и комплексах, работают круглый год, поэтому условия и характер их работы больше подходят к промышленному оборудованию. Временная остановка машин в животноводстве нарушает весь режим определенной производственной линии, что влияет на физиологические функции животных, нарушение которых приводит к снижению продуктивности. Почти все животноводческие машины работают внутри помещений и подвергаются воздействию агрессивной среды, отличающейся повышенным содержанием аммиака, углекислого газа и влаги. Поэтому одним из важнейших условий безотказной эффективной работы машин и оборудования животноводческих ферм является высокая техническая надежность их

работы, которая предусматривает проведение диагностики машин при их технической эксплуатации с целью предупреждения отказов и увеличения эксплуатационного ресурса машин и оборудования.

### **3.2. Особенности характерных повреждений животноводческого оборудования, закономерности их развития**

Текущие ремонтные работы и техническое обслуживание машин и оборудования ферм осуществляется частично в хозяйствах и частично – на станциях технического обслуживания (СТОЖ). Интенсивному износу в машинах и оборудовании для приготовления кормов подвержены следующие рабочие органы: режущие (противорежущие) пластины, ножи, деки, дробильные молотки, решета и пр. Характерными дефектами режущего аппарата измельчителей кормов являются: затупление и повреждение ножей и противорежущих пластинок вследствие абразивного износа рабочей поверхности ножа; ослабление крепления фланцев на диске; прогиб вала, что в дальнейшем при эксплуатации машины может привести к износу подшипников. У ножей барабанных режущих аппаратов измельчителей кормов износу подвергаются боковые грани и торец ножа. Для увеличения износостойкости ножей машин, измельчающих корма, рекомендовано провести их наплавку твердыми сплавами (марка ПГС-27, ПГ-С1 и пр.). В процессе работы наплавленные ножи самозатачиваются, и их износостойкость выше серийных в 2,0–2,5 раза.

При применении данных ножей повышается качество измельчения кормов, уменьшаются затраты энергии. В разбрасывателе-выдувателе соломы РВС-1500 износу и деформации подвержены ножи фрезерного барабана, лопасти вентилятора и ножи измельчающего аппарата, вследствие чего нарушается балансировка вентилятора и фрезерного барабана. Поврежденные лопасти следует рихтовать либо заменить. Допустимое биение диска – не более 1,5 мм, дисбаланс ротора – не более 60 МН · м. К наиболее распространенным дефектам деталей передаточных и подающих механизмов относятся: неисправности транспортеров, выкрашивание и поломка продольных рифов или зубьев вальцов, износ валов, шестерен, подшипников. Поломанные зубья вальцов, продольные рифы, гребенки подлежат восстановлению путем приварки изготовленных и подогнанных рифов и зубьев. В водонагревателях, котлах-парообразователях (типа КВ) и запарниках-смесителях кормов образуется накипь на трубах, стенках, имеется отложение сажи

и золы в трубах и коробах, случаются отказы в работе предохранительного клапана, вентили и соединения могут пропускать пар, в котлах прогорает колосниковая решетка. Накипь удаляется механическим способом или методом химической очистки с применением кислот и щелочей. При наличии карбонатных отложений ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ) целесообразнее использовать соляную кислоту ( $\text{HCl}$ ), при наличии силикатных отложений ( $\text{CaSiO}_2$ ) – щелочь. Концентрация ингибированной соляной кислоты (ингибитор – уникол) в растворе воды берется 2–3 % (толщина слоя накипи – до 0,5 мм), 6–8 % – при толщине слоя накипи 2,5 мм. Чтобы уменьшить коррозию, в кислоту добавляют формалин, уротропин, столярный клей и прочие замедлители коррозии (количество добавок – 1,5–2,5 г/л). Длительность очистки определяется толщиной слоя накипи, но не более 6–8 ч при значении температуры 70 °С. После удаления раствора оборудование необходимо промыть чистой водой, затем – 1-, 2%-ным раствором кальцинированной соды в течение 3–4 ч, нагревая его до кипения. По завершении указанных очистных операций котел должен быть снова промыт чистой водой. В мобильных устройствах (например, смесители-раздатчики кормов ИСРК-12, СРК-11В, кормораздатчик КТУ-10, КТ-10, КРФ-10, раздатчик-смеситель РС-5А, измельчитель-погрузчик силоса ПСН-1М и пр.) установлены детали, аналогичные деталям рассмотренных машин, дефекты и способы их устранения аналогичны. В транспортерах ТВК-80А могут иметь место разрывы цепи, изгибы и скручивания валов, поломки скребков, соскакивание цепи с натяжкой звездочки из-за удлинения и перекосов оси натяжного вала, износ осей звеньев и отверстий в планках и пр. Дефекты в доильной установке могут возникнуть в вакуум-проводе, вакуум-насосе, доильных аппаратах, молокопроводе.

При износе деталей вакуумного насоса (корпуса, ротора, лопаток) наблюдается снижение качества работы: из-за увеличения осевого зазора – между ротором и крышками, а также из-за увеличения радиального зазора – между лопатками ротора и корпусом или зазора между лопатками и пазами ротора. Допустимый осевой зазор между крышками насоса и ротором составляет не более 0,45 мм. Если местный износ больше 0,2 мм, то внутренние поверхности крышек корпуса подлежат шлифовке до шероховатости  $R_a = 0,32\text{--}0,63$  мкм. Допустимая перпендикулярность плоскости крышки относительно оси отверстия на диаметре 100 мм – до 0,02 мм. В доильном аппарате возможными дефектами являются дефекты сосковой резины: надрывы, трещины, увеличение жесткости либо потеря упругости. При наличии указанных дефектов резина подлежит замене, исключение – нарушение упруго-

сти. Данный дефект устраняется путем «отдыха» резины в течение одного месяца. На приборах 8727-17 либо КИ-9070 и прочих проверяется нормальное натяжение сосковой резины. Длина резины должна составлять  $(155 \pm 2)$  мм при усилии 60 Н. Если длина больше указанного значения – резину следует обрезать. Жесткость всей резины на одном доильном аппарате должна быть одинаковой (допустимая разница по длине не должна превышать 5 мм). Основной причиной дефектов в доильном аппарате является старение неметаллических узлов и деталей, таких как пластмассы, резина, лакокрасочные покрытия. Старение изделий заключается в изменении во времени их физико-механических свойств под влиянием окружающей среды и условий эксплуатации: кислорода воздуха, резких температурных перепадов, воздействий солнечных лучей, влажности.

Старение проявляется в снижении эластичности материалов, прочности, появлении трещин. Характерными дефектами сепараторов молока являются: повреждение тарелок и нарушение балансировки барабана, износ резьбы трубки основания, шпонки и резинового кольца. Изношенные трубки подлежат замене или исправлению резьбы и изготовлению новой гайки. После завершения ремонта производят балансировку барабана по верхней части центральной трубки и нижней части вертикального вала или на специально приспособленной станине сепараторов. Отказы систем кормления связаны с транспортировкой корма, также отказы возникают в кормораздаточных узлах, и лишь некоторые из них вызваны неисправностью кормоприготовительных станций и кормокухонь. Механический износ свойствен движущимся и трущимся деталям оборудования в связи с постоянным воздействием высоких нагрузок. Коррозионному износу, в свою очередь, подвержены статические элементы систем кормления (датчики, сенсоры, пульсы управления, кормушки и пр.).

Отказы системы поения связаны с неисправностью электродвигателей вследствие колебания напряжения в энергосети и механического износа. Также характерной для системы поения неисправностью является обрыв крыльчаток насосов из-за низкого качества воды и попадания в насос посторонних примесей (глины). В большей степени для систем поения характерен механический износ, а не коррозионный. Ремонт сельскохозяйственными предприятиями осуществляется собственными силами путем замены деталей и узлов.

Неисправности водопровода в основном характеризуются коррозионным износом труб. Между тем присутствует и человеческий фактор – размораживание системы из-за воздействия отрицательных тем-

ператур, приводящее к разрыву системы. Ремонт водопровода осуществляют собственными силами предприятия. Система микроклимата на животноводческих фермах и комплексах служит для создания условий, в которых происходит обеспечение более полного раскрытия генетического потенциала животных. Она предназначена для контроля окружающей среды: температура, влажность и состав воздуха. Зимой в помещении, где содержатся животные, нужно поддерживать определенную температуру, иначе возникает риск заболеваний, которые могут привести к их падежу. При групповом содержании в помещении зимой должна поддерживаться температура со значениями 8–15 °С.

При индивидуальном содержании эта норма равняется 15–18 °С. В помещениях, где животные содержатся на подстилке, должна поддерживаться температура на уровне значения 18 °С, а без нее – 20–22 °С, так как часть энергии животного тратится на самосогревание организма. Летом за контроль микроклимата отвечают вентиляторы. Воздухообмен, при котором содержатся животные, зависит от их массы. Влажность воздуха сильно влияет на животных. При нарушении ее норм состояние животных ухудшается и у них снижается продуктивность. При групповом и индивидуальном содержании требуется воздух со значениями влажности 60–80 %. Минимальная площадь окон – 3 % площади пола помещения (считается прозрачной поверхностью). Это позволяет создать необходимый уровень освещенности и регулирует поступление солнечных лучей, которые влияют на температуру в помещении содержания животных. Для нормального развития животных необходим свет. Так, при замене естественного света искусственным у молодняка снижается устойчивость к заболеваниям и на 12% уменьшается суточный прирост. Это связано с тем, что спектр искусственного света уже, а это влияет на усвоение кальция, фосфора и образование витамина D, снижает половую активность и оплодотворяемость.

Вентиляция на фермах также нормирована в зависимости от возраста и массы животных. Аммиак, углекислота, сероводород отрицательно влияют на животных. Аммиак, попадая при вдыхании в кровь, вызывает анемию, так как гемоглобин превращается в щелочной гематин, при этом уменьшается щелочной резерв крови. Углекислота и сероводород, соединяясь в крови с гемоглобином, увеличивают кислотность плазмы крови. Избыточная концентрация этих газов сопровождается высоким содержанием патогенной микрофлоры. Все это в совокупности способствует развитию стрессового состояния, снижению переваримости питательных веществ корма, нарушению деятельности сердечнососудистой системы и прочим нарушениям здоровья.

Вся система вентиляции животноводческих ферм и комплексов, а также птицефабрик управляется контроллерами.

Температура, влажность и мощность потока воздуха в помещении определяются датчиками автоматически, и на основании полученных данных выставляется оптимальный климатический режим. Из строя выходят датчики, платы управления и реле. Неисправности связаны с воздействием агрессивной внешней среды. Проблему решают путем замены вышедших из строя элементов. Распространенной неисправностью системы охлаждения является засорение и выход из строя форсунок высоконапорной системы охлаждения. В первую очередь это связано с низким качеством воды (жесткость, посторонние примеси и т. п.). Отказы систем обогрева возникают в основном по причине выхода из строя ИК-ламп, а также колосников газовых котлов, нагревательных элементов электродкотлов вследствие коррозионного износа, закипания внутренних трубок котлов, покрытия системы отопления слоем накипи. Ремонт систем осуществляют собственными силами предприятий и с привлечением сторонних специалистов, в том числе надзорных органов. Основным способом устранения неисправности является замена деталей и узлов системы отопления. Технический сервис технологического оборудования в современных условиях требует большего мониторинга техники. Каждая система должна находиться в исправном состоянии круглые сутки, чтобы технологический процесс производства на фермах и комплексах не нарушался. Уровень профессиональной подготовки служащих фермы должен быть достаточно высоким, чтобы не нуждаться в сторонней помощи при каждом сбое техники. Также на каждой ферме необходим минимальный набор запасных частей для всех систем технологического оборудования во избежание простоев и потерь в производстве.

### **3.3. Предельные состояния оборудования: критерии и методы выявления повреждений**

Предельным состоянием машин и оборудования, подвергающихся при эксплуатации коррозионно-эрозионному разрушению, является уменьшение толщины стенок до предельной (расчетной) величины, ниже которой не обеспечивается необходимый запас по несущей способности. Критерии предельного состояния могут быть:

- 1) качественными (наличие трещин, коррозионного растрескивания);
- 2) количественными (величина износа, коррозии и пр.).

В качестве критерия предельного состояния при оценке надежности оборудования, подвергающегося коррозионно-эрозионному разрушению, принимают разрушение определенной доли поверхности на предельно допустимую глубину.

В качестве критерия отказа принимают возникновение сквозного разрушения стенки аппарата (или покрытия), что соответствует достижению глубины разрушения в одной из точек поверхности стенки аппарата или покрытия. Выявление дефектов, имеющих в деталях, производят с целью рассортировки деталей на годные, негодные и требующие ремонта, а также для уточнения объема работ, предусмотренного ремонтной ведомостью.

При дефектации:

- производят внешний (визуальный) осмотр для выявления видимых повреждений (трещин, поломок и т. п.);
- обмеряют рабочие поверхности с помощью измерительного инструмента для установления величины износа и определения пригодности детали к дальнейшей работе;
- контролируют взаимное расположение поверхностей с помощью специальных приборов и инструмента для определения величины возможного изгиба или коробления;
- исследуют детали специальными методами для обнаружения пороков, не видимых глазом, с применением цветной, люминесцентной, магнитной, ультразвуковой, рентгеновской и гаммадефектоскопии и гидравлического испытания.

Цветную дефектоскопию выполняют с помощью раствора следующего состава: керосин – 65 %, трансформаторное масло – 30 %, скипидар – 5 %. В скипидар вводят краситель (судан III, II или I) из расчета 5–6 г/л раствора.

Приготовленный раствор наносят на проверяемую поверхность кистью (либо деталь окунают в раствор) и после 5-, 10-минутной выдержки смывают сильной струей воды. Затем в воде разводят каолин, добавляют сульфанол (10 г/л воды), этим составом покрывают проверяемую поверхность и просушивают теплым воздухом. Точное очертание дефекта появится на каолиновом слое в виде цветного изображения.

При люминесцентной дефектоскопии проверяемую поверхность тщательно очищают и на нее кистью (или деталь окунают в раствор) наносят люминесцирующий раствор, который после 10-, 15-минутной выдержки смывают сильной струей воды.



Поверхность просушивают струей теплого воздуха, а затем припудривают порошком силикагеля, который, проникая в дефекты, способствует их свечению под действием ультрафиолетовых лучей в затемненном помещении.

Магнитную дефектоскопию используют для выявления как поверхностных, так и подповерхностных пороков у изделий и полуфабрикатов, изготовленных из ферромагнитных материалов (сталь, чугун). Существуют следующие методы магнитного контроля: индукционный, метод магнитных порошков и метод магнитных суспензий.

Индукционный метод предназначается для выявления поверхностных (скрытых) пороков. Он заключается в намагничивании проверяемой детали электрическим током и в наблюдении за изменением значения электродвижущей силы в различных точках с помощью катушки искателя и контрольных приборов (гальванометров, сигнальных ламп).

Метод магнитных порошков основан на свойстве магнитных порошков, помещенных в магнитное поле, ориентироваться в направлении наибольшего увеличения плотности магнитного потока, возникающего в местах расположения дефектов детали при ее намагничивании. В качестве магнитных порошков применяют сухие порошки окислы  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  или  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , частично восстанавливаемые при температуре  $800^\circ\text{C}$ .

При контроле методом магнитной суспензии порошок наносят на поверхность детали в виде взвеси в дисперсионной среде (вода, масло, керосин или их смеси). При ремонте энергооборудования преимущественно применяют сухой метод нанесения порошка. Это объясняется тем, что жидкость суспензии обладает вязкостью и для перемещения ферромагнитных частиц в этой жидкости необходима большая сила воздействия магнитного потока, чем для перемещения частиц в воздухе.

Ультразвуковая дефектоскопия служит для выявления внутренних дефектов в разнообразных материалах на значительной глубине, но без определения внутренней формы порока. Она основана на способности упругих колебаний отражаться от границы двух сред с различными физическими свойствами. С помощью ультразвукового дефектоскопа на хорошо очищенной поверхности исследуемой детали вызывают упругие колебания, которые распространяются вглубь ее, а при наличии дефекта отражаются, образуя «тень».

Рентгеновская дефектоскопия служит при выявлении внутренних пороков металлов. Она может осуществляться двумя методами: диакопическим – с помощью флюоресцирующего экрана и фотографическим – путем фиксации дефектов на высокочувствительной пленке. Рентгеновское излучение можно получить как от специальных электронных рентгеновских трубок, так и от стационарных рентгеновских

установок. Толщина просвечиваемого металла в зависимости от напряжения и конструкции рентгеновских установок (трубок) может колебаться от 80 до 200 мм. В связи с вредным влиянием рентгеновских лучей на организм человека рентгеновскую дефектоскопию применяют главным образом в лаборатории.

Для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов можно применять также токовихревой контроль и метод аммиачного отклика. Гидравлическое испытание применяется для корпусных деталей, позволяет обнаружить наличие трещин, раковин. Гидравлические испытания оборудования на прочность проводят на специальных стендах.

#### **Лекция 4. ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ, И РОЛЬ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МАШИН В ПОВЫШЕНИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА**

4.1. Причины изменения технического состояния машин и оборудования, применяемых в животноводстве.

4.2. Роль диагностирования машин в повышении производства продукции животноводства.

##### **4.1. Причины изменения технического состояния машин и оборудования, применяемых в животноводстве**

Работоспособность оборудования – это состояние, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации. Работоспособность оборудования зависит от его надежности.

Надежность является сложным свойством, которое в зависимости от назначения машин и оборудования, условий их эксплуатации состоит из сочетания свойств безотказности, долговечности, ремонтно-пригодности и сохраняемости.

Долговечностью называют свойство сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе ТО и ремонта. Долговечность оборудования определяется, прежде всего, устанавливаемым заводом-изготовителем ресурсом – амортизационным сроком службы до предельно допустимых износов деталей

основных механизмов и агрегатов, вызывающих необходимость прекращения эксплуатации и списания или проведения капитального ремонта оборудования.

Основными причинами возникновения неисправностей машин и оборудования, эксплуатируемых на животноводческих фермах и комплексах, являются:

- изнашивание трущихся поверхностей (абразивное, усталостное, коррозионное, молекулярное);
- деформации и поломки деталей;
- нарушение посадки или соосности деталей;
- обгорание рабочих поверхностей деталей приводного механизма из-за превышения его допустимого теплового режима;
- образование накипи в системе парораспределения;
- применение смазочных материалов, не отвечающих требованиям нормативно-технических документов, с содержанием в них механических примесей.

Процесс изнашивания возникает под действием трения, зависящего от материала и качества обработки поверхностей, смазки, нагрузки, скорости относительного перемещения поверхностей и теплового режима работы сопряжения.

Изнашивание – это процесс разрушения и отделения материала с поверхности детали и (или) накопления ее остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и формы деталей. Результат изнашивания, определяемый в установленных единицах, называют износом, который может быть линейным, объемным, массовым. При трении возникает взаимодействие микронеровностей трущихся поверхностей между собой с абразивными частицами, попавшими в смазку. Разрушение нескольких слоев микронеровностей приводит к макроповреждениям – изменениям формы поверхности, размеров и формы детали. Изнашивание включает целый ряд физико-химических процессов:

- снятие тончайших слоев металла;
- микрорезание и смятие отдельных микронеровностей;
- пластическая и упругопластическая деформация.

В результате многократного упругого деформирования микровыступов возникает усталость – образуются трещины и происходит выкрашивание поверхности.

К факторам, влияющим на возникновение неисправностей машин и оборудования, эксплуатируемых на фермах и комплексах, также относят:

- конструктивные или производственные дефекты (неправильный выбор материала деталей или посадок, неудовлетворительное качество механической и термической обработок и др.);

- внешние воздействующие факторы (дорожные, климатические, среда и прочие условия эксплуатации);

- качество и чистота применяемых топлив и смазочных материалов;

- квалификация обслуживающего персонала;

- своевременность и качество проведения технического обслуживания и технического ремонта;

- рациональная организация технической эксплуатации машин и оборудования на фермах и комплексах;

- способы хранения оборудования и его обслуживания при низких температурах.

Детали, работающие в условиях высоких температур, кроме изнашивания истиранием, подвергаются также действию химической коррозии и короблению. Так, например, значительный износ верхней части цилиндра компрессора холодильного агрегата происходит не только в результате истирания металла в паре гильза – верхние поршневые кольца из-за ухудшения смазки под влиянием высоких температур, но и в результате химической коррозии деталей в условиях контакта с химическими соединениями элементов хладагента. Износ поверхностей зубьев шестерен и подшипников качения происходит под действием молекулярно-механического и усталостного изнашивания металла. Поэтому для предупреждения неисправностей не следует допускать появления предельных износов. Это достигается созданием планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта оборудования, применением эксплуатационных материалов – масел, смазок, топлив, промывающих и дезинфицирующих жидкостей – в соответствии с требованиями конструкторской документации, а также качественным проведением технического обслуживания и ремонта. Эксплуатационные свойства применяемых смазывающих материалов и специальных жидкостей должны отвечать требованиям, предъявляемым соответствующими нормативно-техническими документами.

## **4.2. Роль диагностирования машин в повышении производства продукции животноводства**

Состояние новой техники зависит от качества изготовления, сборки, приработки, условий хранения и транспортирования. Эти факторы спо-

способствуют увеличению первоначальных различий у формально одинаковых, сошедших с одного конвейера машин. Различия, присущие каждому экземпляру, при эксплуатации только усиливаются. Состояние отремонтированной техники характеризуется теми же факторами. Однако они проявляются в большей степени, так как в процессе ремонта используются детали с уже накопленными различиями. Для машин с различным исходным состоянием требуется разное восстановительно-профилактическое вмешательство через неодинаковое время. Оптимальным будет индивидуальное обслуживание каждого экземпляра с целью восстановления как функциональных, так и ресурсных параметров.

На практике восстановительно-профилактическое вмешательство считается оптимальным в том случае, если оно проведено в такие сроки и в таком объеме, которые требуются для поддержания нормальной работы машины при использовании ресурсов всех эксплуатационных материалов, деталей и регулировок.

Наиболее оптимальным является обслуживание машины по следующей схеме: определение потребности в техническом вмешательстве → проведение необходимых работ → контроль качества проведенных работ → исправление выявленных отклонений → испытание машины.

Однако обслуживание машины по такой рациональной схеме требует решения ряда организационно-технических задач: определения времени, места и объема работ по выявлению потребности в техническом вмешательстве и проведению его. В существующей системе технического обслуживания содержатся все перечисленные элементы схемы, но они ни по содержанию, ни по уровню не удовлетворяют условиям в каждом из хозяйств и их возможности в значительной степени не используются. Происходит это потому, что к диагностической части схемы подходят в большинстве случаев формально из-за непонимания как технической, так и организационной ее сущности. Рассмотрим изменение состояния машины при ее эксплуатации на примере кривой износа, характерной для подвижного сопряжения (изменение зазора вал – подшипник) как функции от времени работы).

Здесь можно выделить три периода: приработка, нормальная эксплуатация и аварийный износ. В начальном состоянии сопряжение имеет зазор. При большом начальном зазоре и при плохо проведенной приработке эксплуатационный период может значительно уменьшить-

ся. На продолжительность эксплуатационного периода влияют условия эксплуатации. Кроме того, несвоевременное техническое вмешательство в процесс эксплуатации приводит к сокращению срока работы оборудования до аварийного износа.

Аварийный период начинается при определенном значении показателя независимо от времени эксплуатации. Оптимальным моментом технического вмешательства по этому показателю будет переход эксплуатационного периода в аварийный, при этом будет использован весь ресурс сопряжения. Однако добиться такого использования ресурса, даже зная точно значение показателя, удастся не всегда. На основании этого можно сделать вывод, что ресурс машины, в особенности с коротким периодом эксплуатации, может быть исчерпан при незначительном времени ее эксплуатации в результате неправильных обслуживания, хранения, транспортирования, приработки.

При анализе вышеизложенного становится очевидно, что в систему обслуживания необходимо включать операции, позволяющие определять состояние машины и его отдельные показатели оперативно и без разборки, т. е. диагностирование. Диагностирование машин, проводимое с использованием внешних и встроенных средств контроля, позволяет определять техническое состояние агрегатов, механизмов и систем машины без их разборки, прогнозировать сроки службы узлов, т. е. фактически управлять их техническим состоянием, назначая соответствующие предупредительные работы и выполняя их в процессе технического обслуживания и ремонта. Это снижает время простоя машины, а также обеспечивает значительную экономию средств на ее обслуживание и ремонт. Выполнение только действительно необходимых операций по ремонту и регулированию сокращает расход запасных частей и смазочных материалов. Своевременное обнаружение и устранение значительных неисправностей в механизмах привода рабочих органов машин и оборудования для приготовления и раздачи кормов на 5–10 % улучшает технико-экономические показатели, повышает безопасность эксплуатации. Диагностирование машин и оборудования применяют практически при всех видах технического обслуживания и ремонта техники. В связи с повышением конструктивной сложности машин область применения диагностирования также значительно расширилась за счет контроля при технологическом регулировании (настройке), а также при автоматизации различных сельскохозяйственных технологических процессов.

Основными задачами технического диагностирования являются:

- 1) установление вида и объема работ по техническому обслуживанию машины после выполнения ею определенной наработки;
- 2) определение остаточного ресурса машин и оборудования, а также степени их готовности к выполнению механизированных работ;
- 3) осуществление контроля качества профилактических операций при проведении технического обслуживания;
- 4) выявление причин и характера неисправностей, возникающих в процессе использования оборудования.

Внедрение технической диагностики позволяет:

- сохранить оптимальные рабочие характеристики машин и оборудования в течение всего срока службы;
- снизить в 2 раза простои тракторов, комбайнов, самоходных раздатчиков кормов и других машин, эксплуатируемых на фермах и комплексах, по причине технических неисправностей за счет предупреждения отказов;
- увеличить в 1,5 раза межремонтную наработку сборочных единиц и агрегатов машин;
- ликвидировать преждевременные разборки агрегатов и узлов и тем самым уменьшить интенсивность изнашивания деталей, сопряжений;
- полностью использовать межремонтный ресурс машин, их узлов и агрегатов, что обеспечит резкое сокращение расхода запасных частей;
- определить качество технического обслуживания и ремонта машины без ее разборки;
- уменьшить расход технических жидкостей и смазочных средств на содержание оборудования.

Бесспорным импульсом для роста потребностей в методах и средствах технической диагностики стало использование диагностических приборов в сельском хозяйстве республики, когда требования со стороны качества, логистики и маркетинга радикально изменили критерии эффективности использования сложной сельскохозяйственной техники. Растущая потребность в диагностике совпадает также с появлением новых достижений в области микроэлектроники, компьютерной техники, нейронных сетей и искусственного интеллекта, эффективно облегчающих возможности технической диагностики.

## **Лекция 5. АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ЕГО МЕСТО В ТЕХНИЧЕСКОМ СЕРВИСЕ**

5.1. Анализ условий эксплуатации машин и оборудования в животноводстве. Основные задачи диагностирования и его место в техническом сервисе.

5.2. Оценка остаточного ресурса машин и оборудования по изменениям контролируемого параметра.

### **5.1. Анализ условий эксплуатации машин и оборудования в животноводстве. Основные задачи диагностирования и его место в техническом сервисе**

В процессе эксплуатации машин и оборудования в животноводстве их работоспособность снижается главным образом из-за износов и разрушений отдельных деталей или их поверхностных слоев, вследствие чего снижается как производительность, так и надежность оборудования. Машины животноводческих ферм и условия их эксплуатации имеют ряд особенностей по сравнению с другой сельскохозяйственной техникой, что предъявляет более строгие требования к обеспечению их бесперебойной работы.

Особенности эксплуатации машин и оборудования в животноводстве:

1. Невозможность резервирования машин из-за больших их размеров и специфической технологии (т. е. нельзя ставить запасные машины, например: транспортеры для раздачи кормов, уборки навоза, доильные молокопроводы и т. д.). Это обстоятельство (отсутствие резерва) требует исключительной надежности машин и оборудования.

2. Подверженность машин и оборудования воздействию определенного микроклимата, отличающегося от нормальных условий повышенным содержанием аммиака, углекислого газа, влаги и неравномерным распределением температуры по объему здания.

Последствия данного микроклимата:

- повышенный коррозионный износ деталей не только во время эксплуатации машин, но и в период их неиспользования;

- преждевременный выход из строя электроаппаратуры и электрических двигателей (этому способствуют высокая влажность воздуха и наличие в нем аммиака);



- колебание значений температуры при постоянной влажности воздуха приводит к активизации атмосферной коррозии.

3. Подверженность ряда машин воздействию неблагоприятных сред (кислоты, силосная масса, навоз и пр.).

4. Изменчивость среды, в которой работают машины, в несколько раз увеличивает их износ по сравнению с машинами, работающими в постоянных условиях (наличие поточных технологических линий: линия приготовления и раздачи кормов, линия уборки и транспортировки навоза, линия доения и первичной обработки молока и пр.).

Остановка одной из машин вызывает остановку всей линии, что пагубно сказывается на продуктивности животных.

Необходимо отметить, что условия эксплуатации машин и оборудования животноводческих ферм часто нарушаются по следующим причинам:

- неквалифицированное техническое обслуживание оборудования, в особенности электрооборудования;
- не полное соответствие конструкции условиям ее эксплуатации;
- недостаточная квалификация обслуживающего персонала (из-за чего машины часто эксплуатируют с перегрузками).

Основная задача диагностирования в процессе технического обслуживания – определение технического состояния машин и оборудования, прогнозирование их дальнейших изменений. Это позволяет управлять их техническим состоянием.

Также к задачам технического диагностирования следует отнести:

- контроль технического состояния машин и оборудования с целью установления их соответствия требованиям технической документации и определения работоспособности на текущий момент;
- поиск мест дефектов и повреждений, определение причин неисправности и отказов с рекомендацией методов и средств восстановления работоспособности эксплуатируемого оборудования;
- прогнозирование технического состояния машин и оборудования на предстоящий период эксплуатации с заданной вероятностью безотказной работы или определение с заданной вероятностью интервала времени (остаточного ресурса), в течение которого сохраняется их работоспособное состояние.

**Виды диагностирования машин и оборудования, эксплуатируемых на фермах и комплексах.**

При техническом обслуживании:

- ежесменное (ЕТО) – определение готовности к выполнению сменного задания. Проверка составных частей машин и оборудования, обеспечивающих безотказность за смену;

- первое (ТО-1) – выявление готовности к работе до очередного ТО-1. Контроль работоспособности вспомогательных механизмов машин и оборудования, основное содержание систем привода рабочих органов установок, обеспечивающих безотказность до очередного ТО-1;

- второе (ТО-2) – определение готовности к выполнению работы до очередного ТО-2. Проверка и контроль работоспособности, а также исправности основных механизмов машин и оборудования, систем привода рабочих органов установок, шасси мобильных машин и вспомогательного оборудования, создающих возможность безотказной работы до очередного ТО-2 и выполнения технико-экономических показателей;

- сезонное (СТО) – определение готовности к осенне-зимним или весенне-летним условиям эксплуатации. Проверка систем и механизмов, от которых зависит нормальное функционирование машин и оборудования в предстоящем сезоне.

Заявочное диагностирование – при поступлении заявки определение вида, места и причины дефекта или состояния в целом. Поиск дефекта или проверка технического состояния машин и оборудования.

Ресурсное диагностирование – определение остаточного ресурса составных частей машин и оборудования перед ТО-2 или ремонтом. Проверка состояния ресурсных соединений составных частей и установки в целом.

Предварительное диагностирование машины и ее составных частей позволяет определить фактический объем работ по обслуживанию или ремонту. При этом решаются следующие задачи: проверка исправности и работоспособности составных частей машины; поиск дефектов, в результате которых нарушилась исправность или работоспособность; сбор исходных данных для прогнозирования остаточного ресурса. При проведении диагностирования машин и оборудования, эксплуатируемых на фермах и комплексах, выявляют техническое состояние узлов и агрегатов, не соответствующих требованиям безопасности производственных процессов, контролируют качество технического обслуживания и текущего ремонта, а также прогнозируют остаточный ресурс исправной работы установки. В результате диагностирования дают конкретные рекомендации о необходимости регулирования механизмов, ремонта составных частей или их замены. Эта система мероприятий составляет основу стратегии технического обслуживания и ремонта по состоянию с периодическим контролем (диагностированием).

## **5.2. Оценка остаточного ресурса машин и оборудования по изменениям контролируемого параметра**

Среди параметров технического состояния машин и оборудования в животноводстве различают прямые и косвенные параметры.

Прямой параметр технического состояния – это параметр технического состояния машины, непосредственно характеризующий конкретное свойство объема или его составной части и определяющий его предельное состояние.

Косвенный параметр технического состояния – это параметр технического состояния, связанный с прямым параметром технического состояния детерминированной или стохастической зависимостью, изменяющийся в результате изменения прямых параметров технического состояния.

Прогнозирование остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве по косвенным параметрам основано на одновременном выполнении условий:

- известны физические процессы, приводящие к ресурсным отказам, а также математические модели изменения прямых (структурных) и косвенных (диагностических) параметров;
- для каждого прямого параметра технического состояния установлены предельные значения, достижение которых определяет величину ресурса по данному параметру;
- в процессе наблюдения за изменением технического состояния изделия имеется возможность фиксации параметров, отражающих индивидуальные особенности изделия;
- имеется информация о функциональных или регрессионных соотношениях между прямыми и косвенными параметрами технического состояния;
- зависимость между математическими ожиданиями прямых и косвенных параметров технического состояния является монотонной и непрерывной.

Определение остаточного ресурса по косвенным параметрам технического состояния сопровождается в общем случае тремя видами погрешностей:

- погрешностями измерения косвенных параметров;
- погрешностями, связанными со случайной природой физических процессов развития отказов;
- методическими погрешностями определения прямых параметров технического состояния по значениям косвенных параметров.

В тех случаях, когда показатели назначения оборудования монотонно изменяются по времени (наработке), а дисперсия показателей не изменяется, для прогнозирования остаточного ресурса может быть использован метод, изложенный в ГОСТ 23942-80.

Правила стандарта разработаны:

для линейного изменяемого параметра:

$$Y(t) = C_1 + C_2 t; \quad (5.1)$$

квадратичного изменяемого параметра:

$$Y(t) = C_1 + C_2 t + C_3 t^2; \quad (5.2)$$

и экспоненциального законов изменения показателя назначения:

$$Y(t) = \exp(C_1 + C_2 t), \quad (5.3)$$

где  $C_1, C_2, C_3$  – неизвестные коэффициенты.

$$t = t_i - t_0, t \geq 0, \quad (5.4)$$

где  $t_0$  – начальное значение наработки узла.

Для использования метода, рекомендованного в ГОСТе, необходимо убедиться в том, что изменение контролируемого параметра подчиняется одному из описанных законов, а его дисперсия не изменяется с увеличением наработки узла.

Показатель назначения оценивают по измеренным значениям контролируемого параметра:

$$Y_i = F(t_i) + \Delta i, i = 1, \dots, N, \quad (5.5)$$

$$t_i \leq t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_N, \quad (5.6)$$

где  $t_i$  – значение наработки в  $i$ -й момент измерения;

$\Delta i$  – неограниченная случайная величина с дисперсией  $D$ , симметрично распределенная относительно математического ожидания, равного нулю, либо симметрично распределенная, ограниченная случайная величина, для которой при всех значениях наработки выполняется условие

$$-\Delta \leq \Delta(t) \leq +\Delta, 0 < \Delta < \infty. \quad (5.7)$$

Число измерений  $N$  выбирают из условия

$$N > 2m, \quad (5.8)$$

где  $m$  – количество неизвестных коэффициентов закона изменения параметра, рекомендуется выбирать  $N \geq 11$ .

Моменты измерения  $t_i$  выбирают таким образом, чтобы случайные величины  $\Delta i$  были практически независимыми.

Теоретической основой ГОСТ 23942-80 является оценка соответствующих показателей на базе общеизвестного метода наименьших квадратов.

При линейном законе изменения параметра рекомендуют следующий порядок прогнозирования.

1. Проводят  $N$  измерений  $Y_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) контролируемого параметра в определенные моменты времени  $t_i$ .

2. Вычисляют величины:

$$Y_1 = \Sigma Y_i; Y_2 = \Sigma t_i Y_i; \quad (5.9)$$

$$X_1 = \Sigma t_i; X_2 = \Sigma t_i^2; \quad (5.10)$$

$$D = N \Sigma t_i^2 - (\Sigma t_i)^2; D_{22} = N / D; \quad (5.11)$$

$$D_{11} = \Sigma t_i / D; D_{12} = D_{21} = -\Sigma t_i / D, \quad (5.12)$$

где через  $\Sigma$  обозначают сумму по  $i$  от 1 до  $N$ .

3. Вычисляют точечные оценки коэффициентов:

$$C_1 = Y_1 D_{11} + Y_2 D_{21}; C_2 = Y_1 D_{12} + Y_2 D_{22}. \quad (5.13)$$

4. Вычисляют оценку среднего квадратического отклонения параметра  $\sigma$ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{S}{N-2}}, \quad (5.14)$$

где  $S = \Sigma (Y_i - C_1 - C_2 t_i)^2$ .

5. Вычисляют средние квадратические отклонения коэффициентов  $C_1$  и  $C_2$ :

$$\sigma_1 = \sigma \sqrt{D_{11}}; \sigma_2 = \sigma \sqrt{D_{22}}. \quad (5.15)$$

6. Вычисляют гарантированные оценки коэффициентов:

$$C_j = C_j \pm K \sigma_j \quad (j = 1; 2), \quad (5.16)$$

где (+) берут при возрастающем параметре, (–) – при убывающем;

$K = 1,282$  (при  $\gamma = 0,9$ );  $K = 1,6459$  (при  $\gamma = 0,95$ );  $K = 2,326$  (при  $\gamma = 0,99$ ),

здесь  $\gamma$  – доверительная вероятность или достоверность измерения (данные опытов).

7. Вычисляют средний (ожидаемый) ресурс:

$$T_{\text{ср}} = \frac{Y_i - C_1}{C_2 - t_k}, \quad (5.17)$$

где  $t_k$  – наработка на момент последнего контроля.

8. Вычисляют гарантированный остаточный ресурс:

$$T_Y = \frac{Y_i - C_1}{C_2 - t_k}. \quad (5.18)$$

## **Лекция 6. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ**

6.1. Необходимость прогнозирования остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве.

6.2. Информативные параметры в прогнозировании остаточного ресурса в зависимости от срока эксплуатации оборудования.

6.3. Методика прогнозирования остаточного ресурса при известной и неизвестной наработках от начала эксплуатации.

### **6.1. Необходимость прогнозирования остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве**

Необходимость определения остаточного ресурса оборудования возникает при продлении срока его службы за пределы нормативного для безопасности его эксплуатации, а также при планировании периодичности контроля его технического состояния и ремонтов, обеспечивающего надежность и эффективность функционирования оборудования. Надежность и безопасность оборудования при его разработке обеспечивают, создавая запасы прочности, износо- и коррозионной стойкости с учетом возможных наиболее неблагоприятных режимов эксплуатации. При реальных конкретных условиях эксплуатации интенсивность расходования ресурса отличается от расчетной и во многих случаях может быть определена путем анализа режимов нагружения и фактической поврежденности элементов оборудования. Выбор

метода прогнозирования остаточного ресурса зависит от характера преобладающего процесса изнашивания, коррозии, усталости, ползучести, а также от необходимой точности и достоверности прогноза. При невысоких требованиях к точности и достоверности применяют упрощенные методы, в случае необходимости гарантированных оценок используют уточненные методы, в том числе базирующиеся на теории надежности. Остаточный ресурс оборудования может иметь не только до истечения расчетного срока службы, но и после него. Это обусловлено действующими нормами и правилами расчета сроков службы оборудования, предусматривающими обеспечение прочности и износостойкости изделий при наиболее неблагоприятных режимах нагружения в заданных условиях эксплуатации, а также при минимальных уровнях механических характеристик конструкционных материалов, обеспечиваемых по ГОСТам. Фактические режимы нагружения при соблюдении правил эксплуатации обычно оказываются менее напряженными, чем расчетные, что снижает интенсивность расхода заложенных запасов (по прочности, износо- и коррозионной стойкости) и обеспечивает резерв по остаточному ресурсу оборудования.

Прогнозировать остаточный ресурс можно при одновременном выполнении следующих условий: известны параметры, определяющие техническое состояние оборудования и критерии предельного состояния оборудования; имеется возможность периодического (или непрерывного) контроля значений оборудования.

Прогнозировать остаточный ресурс можно, когда:

1) предельным состоянием аппарата, работающего с коррозионно-активной средой, является уменьшение толщины его стенок до расчетного значения. При эксплуатации периодически осуществляют контроль толщины стенок (машины для уборки, утилизации и переработки навоза);

2) предельным состоянием оборудования является ухудшение теплообмена из-за отложений на трубах, в результате чего температура нагреваемого продукта на выходе из аппарата снижается до предельно допустимой.

При эксплуатации проводят непрерывный контроль температуры на выходе из аппарата (оборудование для пастеризации и хранения молока). Прогнозирование остаточного ресурса оборудования обычно осуществляют по схеме: через определенные периоды эксплуатации ( $t_2, \dots, t_n$ ) измеряют максимальные значения ( $h_1, h_2, \dots, h_n$ ) возникших по-

вреждений, износа, коррозии, деформаций и экстраполируют зависимость до предельно допустимого значения повреждений  $t_1 h_n$ . Это позволяет получить достаточно точные оценки остаточного ресурса, если известен вид зависимости  $h(t)$  и при измерениях  $h$  можно определить максимальные значения повреждений, т. е. осуществить сплошной контроль элементов оборудования.

## **6.2. Информативные параметры в прогнозировании остаточного ресурса в зависимости от срока эксплуатации оборудования**

При прогнозировании остаточного ресурса в зависимости от срока эксплуатации оборудования применяют два подхода.

При малом сроке эксплуатации (относительно нормативного) и незначительной поврежденности оборудования используют только информацию о загруженности установки.

При сроке эксплуатации, близком к нормативному, или значительной поврежденности элементов оборудования дополнительно исследуют их степень поврежденности.

Преимуществом первого подхода является его меньшая трудоемкость, второго – более точный прогноз и возможность выявления дополнительного резерва ресурса оборудования. В зависимости от требуемой достоверности прогноза и возможностей получения информации применяют следующие методы прогнозирования:

- упрощенный, основанный на детерминированных моделях;
- уточненный, базирующийся на вероятностных моделях.

В первом методе отклонения контролируемых параметров относят к погрешностям методов контроля, случайным помехам и при прогнозировании остаточного ресурса в расчетах их учитывают с помощью коэффициентов запасов, а во втором методе их используют в качестве дополнительной информации, что позволяет повысить достоверность прогнозирования. Для определения возможности достоверного прогнозирования остаточного ресурса оборудования, а также выявления наиболее информативных параметров и источников получения исходных данных, необходимых для расчета, проводят анализ условий эксплуатации оборудования.

Информативными параметрами могут быть:

- значения возникающих повреждений (глубина коррозии, эрозионный или механический износ, деформация ползучести);
- параметры сопутствующих процессов (уровни вибрации агрегатов, степень утечки в уплотнениях, температура узлов трения и др.);



- технологические параметры (давление, температура, расход продуктов и реагентов);

- показатели качества и эффективности функционирования оборудования (степень разделения, освещения и очистки, производительность, расход электроэнергии, КПД и т. п.).

Для выбора наиболее информативных параметров составляют полный перечень предельных состояний оборудования и контролируемых параметров, связанных с каждым предельным состоянием. Затем из этого перечня исключают зависимые (вторичные) параметры, если при контроле основных параметров обеспечивается получение достоверных данных в достаточном объеме. При анализе используют имеющиеся источники получения исходных данных для прогнозирования (вахтовые журналы, ведомости дефектов, контрольные карты, диаграммы и др.) или при их недостатке планируют специальные наблюдения за изменением эксплуатационных параметров.

Виды повреждений являются характерными для двух групп оборудования: машин и оборудования (измельчители кормов, раздатчики кормов и пр.), а также сосудов и аппаратов (смесители, котлы и т. п.). Повреждения машин и оборудования в животноводстве чаще всего вызваны износом подвижных элементов и соединений или их усталостным разрушением.

Поскольку изнашиваемые элементы можно заменить при текущих ремонтах, в общем случае они не ограничивают ресурса оборудования. Ресурс машин определяется ресурсом базовых элементов (составных частей для компоновки машин), поэтому прогнозирование их остаточного ресурса, как правило, сводится к прогнозированию остаточного ресурса базовых элементов по критериям износостойкости или усталостной долговечности.

Повреждения сосудов могут быть обусловлены эрозионным истиранием стенок рабочей средой, коррозией металла, усталостью, ползучестью, изменением механических свойств металла и другими причинами. Возможны также повреждения вследствие нарушений норм конструирования и изготовления. Наиболее часто встречаемыми повреждениями поверхностей нагрева являются трещины и разрывы трубных элементов, которые могут быть образованы вследствие различных причин (отложений, загрязнений внутренних поверхностей, неравномерности температурного поля и т. д.). Перегрев металла вызывает изменение его структуры, снижение механических свойств и повышенное окалинообразование.

Повреждение узлов доильной установки чаще всего обусловлено совместным действием различных факторов, поэтому прогнозирование их надежности проводят на основе всестороннего анализа их работы. Работоспособность оборудования по результатам периодических обследований обычно оценивают путем выявления возникших повреждений, определения их значений и сопоставления с предельно допустимыми значениями. Выявленные дефекты относят к допустимым или недопустимым и принимают решение о возможности дальнейшей эксплуатации или необходимости ремонта оборудования. Для некоторых узлов и деталей, к которым предъявляются повышенные требования к безотказности, в качестве прогнозируемого ресурса может быть использован гамма-процентный ресурс  $t_\gamma$ , т. е. значение ресурса, обеспеченного с заданной вероятностью  $\gamma$ .

Существенным недостатком использования в качестве прогнозируемого гамма-процентного ресурса является то, что, как показывает практика, наработки реальных объектов до предельного состояния значительно выше. В результате использование стратегии технического обслуживания и ремонта по наработке приводит к значительному недоиспользованию заложенных в них при проектировании и производстве индивидуальных ресурсов большинства деталей. В отличие от стадии проектирования, когда прогнозируется ресурс всей генеральной совокупности создаваемых машин, прогнозирование на стадии эксплуатации выполняют для конкретных машин и установок, их агрегатов и узлов. В этом случае оценивают индивидуальный остаточный ресурс оборудования, т. е. возможную продолжительность его эксплуатации от момента контроля технического состояния до достижения им предельного состояния. Отличается он от индивидуального ресурса тем, что в качестве начала отсчета принимают текущую наработку, до которой оборудование уже какое-то время эксплуатировалось и часть установленного технической документацией ресурса уже реализовало.

Достижение прифермскими машинами и оборудованием предельного состояния, соответствующего исчерпанию ресурса, сводится не только к физическому износу. Оно может быть обусловлено также влиянием факторов функционального устаревания, недопустимости дальнейшей эксплуатации по требованиям безопасности, экономичности и эффективности. Поэтому установление точных признаков и параметров, при которых состояние машин следует квалифицировать как предельное, представляет довольно сложную задачу. Обычно основанием для замены машин и оборудования, обслуживающих фермы и

комплексы, служит резкое увеличение интенсивности отказов, продолжительности простоев из-за необходимости их устранения, расходов на проведение ремонтных работ. Для надежного прогнозирования остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве необходимо выполнить его полнокомплектное техническое диагностирование с использованием соответствующих средств диагностики. В условиях реальной эксплуатации машин и оборудования в животноводстве при проведении технических обслуживаний и ремонтов чаще всего оценивают остаточный ресурс их узлов, агрегатов и механизмов.

### **6.3. Методика прогнозирования остаточного ресурса при известной и неизвестной наработках от начала эксплуатации**

Чтобы определить остаточный ресурс конкретной составной части, мастер-диагност должен располагать исходными данными. Определение остаточного моторесурса машин и оборудования  $P_{ост}$  показано на схеме (рис. 6.1), где закономерность изменения контролируемого параметра представлена кривой.

Изменение значения параметра к моменту контроля  $I_k$ , или диагностирования, можно найти по формуле

$$I_k = P_k - P_n, \quad (6.1)$$

где  $P_k$  и  $P_n$  – значения параметров к моменту контроля и на начало эксплуатации машины соответственно.

Предельное изменение значения параметра  $I_{пр}$  определяют по формуле

$$I_{пр} = P_{пр} - P_n. \quad (6.2)$$

Имея все эти данные,  $P_{ост}$  рассчитывают по формуле

$$P_{ост} = P_{исп} \left[ \left( \frac{I_{пр}}{I_k} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right]. \quad (6.3)$$

При  $\alpha > 1$  и  $\alpha < 1$  зависимость значений параметров технического состояния составных частей машины и оборудования от продолжительности работы (наработки) носит криволинейный характер, причем при  $\alpha > 1$  кривая обращена выпуклостью вниз, при  $\alpha < 1$  – вверх.

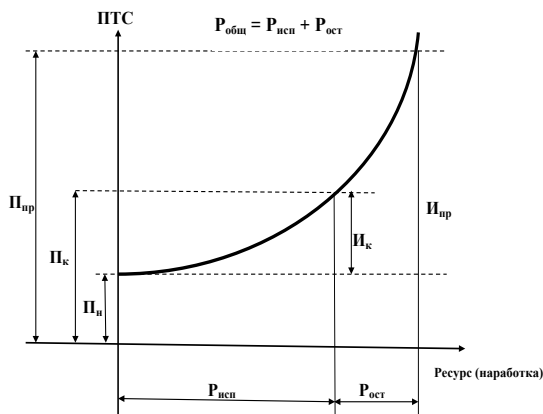


Рис. 6.1. Схема определения остаточного моторесурса машин и оборудования:  
 $R_{исп}$  – использованный ресурс к моменту контроля;  $I_k$  – изменение значения параметра к моменту контроля (диагностирования);  $I_{пр}$  – предельное изменение значения параметра;  $R_{ост}$  – остаточный ресурс

При  $\alpha = 1$  указанная зависимость линейна. При  $\alpha = 1$  выражение определения  $R_{ост}$  примет следующий вид:

$$R_{ост} = R_{исп} \left( \frac{I_{пр}}{I_k} \right) - 1. \quad (6.4)$$

По данным ГОСНИТИ, значения  $\alpha$  находятся в пределах 0,8–2,0.

Значения  $P_{пр}$ ,  $P_{н}$ ,  $\alpha$  рассчитывают заранее, их заносят в технологию диагностики технического состояния машин для использования при определении  $R_{ост}$ .

Таким образом, для определения остаточного ресурса какого-либо сопряжения необходимо сделать замеры соответствующего параметра и знать наработку к моменту замера.

Определение остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве и установление на этой основе времени их безотказной работы позволит сократить число отказов в процессе эксплуатации и увеличить межремонтную наработку.

Определение остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве и установление на этой основе времени их безотказной ра-

боты позволит сократить число отказов в процессе эксплуатации и увеличить межремонтную наработку.

При прогнозировании остаточного ресурса сведения о наработке отдельных составных частей машины от начала эксплуатации иногда отсутствуют.

В подобных случаях остаточный ресурс определяют по значениям параметров, устанавливаемым при предыдущем и повторном диагностировании, а также наработке  $t_m$  между первым и вторым измерениями.

Изменение параметра от начала эксплуатации до первой  $U_1$  и второй  $U_2$  проверок определяют по формулам

$$U_1 = \Pi_1 - \Pi_n \text{ и } U_2 = \Pi_2 - \Pi_n, \quad (6.5)$$

где  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  – значения параметра, измеренные при первой и второй проверках технического состояния машины.

В этом случае остаточный ресурс  $t_{ост}$  определяют по формуле

$$t_{ост} = R t_{ост}^{усл}, \quad (6.6)$$

где  $R$  – коэффициент, учитывающий темп износа сопряжения (детали) между двумя измерениями (проверками);

$t_{ост}^{усл}$  – условный остаточный ресурс.

$$R = \frac{1}{\sqrt[\alpha]{\frac{U_2}{U_1}} - 1} + 1. \quad (6.7)$$

Условный остаточный ресурс находят по формуле

$$t_{ост}^{усл} = t_m \left( \sqrt[\alpha]{\frac{U_{np}}{U_2}} - 1 \right); \quad (6.8)$$

$$t_{ост} = t_m \left( \frac{1}{\sqrt[\alpha]{\frac{U_2}{U_1}} - 1} + 1 \right) \left( \sqrt[\alpha]{\frac{U_{np}}{U_2}} - 1 \right). \quad (6.9)$$

Таким образом, при неизвестной наработке от начала эксплуатации для определения остаточного ресурса необходимо измерить значение контролируемого параметра не менее двух раз и знать наработку за время работы между этими измерениями. Предельное и номинальное значения параметра берут из инструкции по эксплуатации машин.

## **Лекция 7. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ**

7.1. Организация технического обслуживания машин и оборудования в животноводстве.

7.2. Прогнозирование технического состояния машин и оборудования в животноводстве с использованием статистических методов.

### **7.1. Организация технического обслуживания машин и оборудования в животноводстве**

Сложились три формы организации технического обслуживания машин и оборудования, применяемые в животноводстве: силами хозяйств, силами хозяйств с участием предприятий агропромышленного комплекса (АПК), силами предприятий АПК с участием хозяйств (акционерных обществ, сельскохозяйственных производственных кооперативов и других форм собственности). Эти формы организации подкреплены сложившейся производственной базой технического обслуживания.

**Техническое обслуживание машин силами хозяйств.** На крупных механизированных фермах и комплексах для четкой организации технического обслуживания машин создают специальную службу, включающую в себя: посты ежедневного технического обслуживания, общехозяйственный пункт технического обслуживания фермских машин, склад обменного фонда агрегатов и запасных частей, передвижную автомастерскую для звена мастеров-наладчиков, бригаду слесарей по монтажу и ремонту машин на фермах, отделения для обслуживания доильной и молочной аппаратуры.

Для проведения ежедневного технического обслуживания на ферме создают посты ежедневного технического обслуживания (ЕТО) (рабочие места слесарей ферм). Слесарь-наладчик фермы выполняет только сложные операции ЕТО (все остальные операции выполняют операторы фермы – скотники-механизаторы, мастера машинного доения и

другие рабочие), устраняет возникшие в процессе работы мелкие отказы машин, контролирует работу операторов при проведении ЕТО вместе с выездным звеном мастеров-наладчиков, участвует в проведении плановых технических обслуживаний, ведет документацию.

Для проведения плановых периодических технических обслуживаний и сезонного осмотра в хозяйстве создают звено мастеров-наладчиков с автопередвижной мастерской. Звенья подбирают из опытных механизаторов, хорошо знающих устройство, регулировку и правила эксплуатации всех машин, применяемых на животноводческих фермах.

Практика показывает, что звено мастеров-наладчиков в составе трех человек может проводить плановое техническое обслуживание машин и оборудования в 10–12 коровниках (каждый на 200 мест).

Материальная база звеньев мастеров-наладчиков – общехозяйственный пункт технического обслуживания (ПТО). На этом пункте проводят текущий ремонт вакуумных насосов, заготовку деталей для транспортеров, сварочные работы. Здесь имеется обменный фонд доильных аппаратов для хозяйства.

***Техническое обслуживание силами хозяйств с участием ремонтно-технического предприятия районного агропромышленного объединения (РТП РАПО).*** Основное производственное звено в этой схеме – станция технического обслуживания машин и оборудования животноводства (СТОЖ), которая наряду с техническим обслуживанием машин совместно с линейно-монтажным участком (ЛМУ) выполняет и ряд других работ (ремонт, замену отработавшего свой амортизационный срок оборудования в новых и реконструируемых животноводческих помещениях, обучение операторов и слесарей и пр.).

СТОЖ работают по договорам с хозяйствами и несут вместе с ними полную ответственность за бесперебойную работу машин на фермах. На станциях технического обслуживания организованы участки по обслуживанию доильной аппаратуры, вакуумных насосов, холодильных установок, электрооборудования, автопоилок, по заготовке нестандартного оборудования. Хозяйства своими силами проводят только ЕТО, а также устраняют несложные отказы, все остальные работы выполняют СТОЖ. Для этого на станциях созданы звенья мастеров-наладчиков, имеющие в своем распоряжении автопередвижные мастерские.

Одно звено в составе 2–4 слесарей обслуживает 2–3 хозяйства.

***Техническое обслуживание силами РТП РАПО с участием хозяйств.*** Такая форма организации технического обслуживания в насто-

ящее время имеет незначительное распространение в практике сельскохозяйственных производственных кооперативов (СПК) и применяется в основном в хозяйствах со слабой ремонтно-технической базой и недостатком механизаторских кадров. В этом случае хозяйства заключают с РТП РАПО договор на периодическое техническое обслуживание всех имеющихся в животноводстве машин и оборудования.

**Планирование технического обслуживания.** Правильная организация технического обслуживания возможна при тщательном планировании. Исходными данными для планирования технического обслуживания животноводческих ферм служат: численность животноводческих помещений по видам животных, вид и число работающих машин, периодичность и расчетная трудоемкость технических обслуживаний каждой машины, число месяцев работы машин в год, карта района с указанием объектов обслуживания. Потребность хозяйств в мастерах-наладчиках для своевременного технического обслуживания машин и оборудования, установленных на животноводческих фермах, зависит от числа и технического состояния животноводческих машин и компактности расположения ферм на территории хозяйства. Сложив трудоемкости ежемесячного технического обслуживания по каждой ферме, определяют общую трудоемкость ежемесячного технического обслуживания всех установленных в хозяйстве животноводческих машин и оборудования.

Число мастеров-наладчиков  $Z_M$  определяют по формуле

$$Z_M = \frac{T_o + 0,1 T_o}{\Phi R},$$

где  $T_o$  – общая месячная трудоемкость технического обслуживания всех машин и оборудования, установленных на фермах хозяйства, ч;

$\Phi$  – месячный фонд рабочего времени мастера-наладчика, ч;

$R$  – коэффициент использования рабочего времени мастера-наладчика.

Потребное число мастеров-наладчиков для стационарных пунктов технического обслуживания определяют с учетом общей трудоемкости технического обслуживания и текущего ремонта всех машин и оборудования, установленных на ферме. Коэффициент использования рабочего времени мастера-наладчика принимают за единицу. При расчете необходимо учесть, что механизаторы-животноводы будут также участвовать в проведении всех плановых и сезонных технических обслужи-



ваний – осмотров. Контроль технического состояния оборудования животноводческих ферм и комплексов хозяйств осуществляет группа инженеров-инспекторов Гостехнадзора района, которую возглавляет старший инженер-инспектор. Необходимая мера обеспечения требуемого уровня надежности техники – проверка ее технического состояния в процессе производства, эксплуатации и хранения.

В результате такой проверки должны быть сделаны выводы об исправности (работоспособности) или неисправности машин и оборудования, а также о месте и характере имеющихся неисправностей. Техническая диагностика позволяет систематизировать и проанализировать информацию, на основании которой оценивают техническое состояние машины без ее разборки. К задачам диагностики относят также прогнозирование и научное предвидение отказа. Техническое диагностирование проводят для технического обслуживания, заключения о необходимости отправки машины в ремонт и приемки ее после ремонта.

В зависимости от выполняемых задач можно ввести такое понятие, как *предремонтное техническое диагностирование*. На первом этапе контроль технического состояния представляет собой проверку обобщенных показателей. Если зафиксировано отклонение обобщенного показателя от нормального значения, контролируют уточняющие показатели.

Большую роль в техническом диагностировании необходимо уделять ежесменной технической профилактике. Ежесменный контроль распространяется на широкий круг объектов, хотя здесь можно сгруппировать контрольные операции и ограничиться кратким перечнем общих показателей, оцениваемых субъективно и объективно.

*Объективные показатели* – показания приборов, а также зоотехнические и другие показатели.

*Субъективные показатели* – состояние наружных креплений, степень нагрева сборочных единиц по окончании работы, отсутствие ненормальных стуков и шумов у работающей машины, реакция животных и пр. Все методы диагностирования можно разделить на три основные группы: статистические, визуальные и инструментальные.

*Статистические методы* основаны на интеграции определенных диагностических параметров во времени. Для животноводства – это методы будущего: в настоящее время они могут быть использованы только как вспомогательные.

*Визуальные методы* диагностирования основаны на использовании физиологических чувств человека. Они дают субъективную оценку состояния технической системы, применение их ограничено. Однако в отдельных случаях проверка ощупыванием или вслушиванием дает достаточную информацию, чтобы установить пригодность механизма к работе. Часто эти методы используют как предварительные или для выявления очевидных неисправностей.

*Инструментальные методы* диагностирования наиболее перспективны. Они позволяют значительно снизить трудоемкость как проверочных, так и ремонтных работ, сократить расход запасных частей и увеличить межремонтный срок службы объектов проверки. На фермах и комплексах страны применяют множество приборов и оборудования для диагностирования и технического обслуживания машин. Это позволяет уменьшить трудоемкость работ и повысить их качество.

## **7.2. Прогнозирование технического состояния машин и оборудования в животноводстве с использованием статистических методов**

Современные методы прогнозирования технического состояния оборудования подразделяют на три основные группы.

1. Методы экспертных оценок, сущность которых сводится к обобщению, статистической обработке. Эксперты обосновывают состояние оборудования на собственном опыте, литературных данных, анализе эксплуатационной надежности узлов и механизмов машин и оборудования в животноводстве и т. д.

2. Методы моделирования, базирующиеся на основных положениях теории подобия, формировании модели изучаемого оборудования, проведении экспериментальных исследований и пересчете полученных показателей с модели на натуральный объект.

3. Статистические методы, из которых наиболее широкое распространение получил метод экстраполяции.

Наиболее достоверными при прогнозировании индивидуального остаточного ресурса машин в условиях эксплуатации являются статистические методы, основанные на объективной оценке его технического состояния в текущий момент времени.

Процесс прогнозирования с использованием статистических методов предусматривает выполнение следующих этапов:

- оценка технического состояния оборудования с помощью диагностического и контрольно-измерительного оборудования;
- разработка аналитического уравнения, описывающего закономерности изменения этого состояния во времени или по наработке;
- экстраполяция полученного уравнения и определение остаточного ресурса или сроков выполнения очередного контроля технического состояния оборудования.

При прогнозировании непосредственно измерить остаточный ресурс машины практически невозможно. Поэтому необходимо определить аналоговый диагностический параметр или комплекс параметров, которые адекватно отражают техническое состояние машины и реализацию его ресурса по наработке.

Исчерпание заложенного при проектировании ресурса (наступление предельного состояния) обусловлено постепенным накоплением различных повреждений. Если не учитывать грубые ошибки при проектировании и эксплуатации, наступление предельного состояния машин можно отнести к одной из двух групп:

- из-за чрезмерных износов трущихся поверхностей контактирующих деталей;
- из-за постепенного накопления в материалах конструктивных элементов рассеянных повреждений, приводящих к зарождению и развитию микроскопических трещин (усталость).

Развитие таких повреждений в материалах деталей, узлах и агрегатах в зависимости от времени эксплуатации машин и оборудования в животноводстве носит плавный, монотонный характер, приводящий к возникновению так называемых постепенных отказов, поэтому может быть описано аналитическим уравнением. Изменение аналогового диагностического параметра по наработке для большинства узлов и агрегатов машин и оборудования в животноводстве описывается теми же функциями, что и параметры технического состояния.

Анализ данных показывает, что остаточный ресурс  $t_0$  рассматриваемого объекта представляет собой разность между полным ресурсом  $t_n$ , который соответствует предельному значению диагностического параметра  $S_n$ , и продолжительностью его эксплуатации, предшествующей прогнозируемому периоду  $t_i$ .

Предельные значения диагностических параметров, оценивающих техническое состояние узлов и механизмов, для которых они не установлены документацией завода-изготовителя, определяются с помощью статистического метода. Сущность метода заключается в том, что

по результатам обследования партии диагностируемого оборудования строят гистограмму распределения оценивающих его значений диагностического параметра, аппроксимирующую ее теоретическую кривую и по заданному уровню вероятности безотказной работы  $P$  (0,85 или 0,95) находят его предельный норматив. Номинальное значение диагностического параметра  $S_n$  определяет исходное состояние объекта и соответствует новым, технически исправным машинам, агрегатам, узлам. Оно может быть задано техническими условиями (рабочее вакуумметрическое давление в доильной установке, давление конденсации хладагента, производительность вакуумного насоса и др.) или найдено как средняя величина для данного оборудования. Значения показателя  $\alpha$  определяются опытным путем для различных сопряжений механизмов на основе обработки статистического материала и представляют собой некоторые усредненные величины для построения функции изменения диагностического параметра по наработке. В условиях эксплуатации диагностирование машин и оборудования в животноводстве выполняют в основном при проведении плановых технических обслуживаний. В этом случае задача прогнозирования остаточного ресурса заключается в определении возможности их безотказной работы на наработке до выполнения очередного технического обслуживания. Если значение остаточного ресурса  $t_o > t_d$ , состояние диагностируемого механизма обеспечит его исправную работу до очередного технического обслуживания. В случае если значение остаточного ресурса  $t_o$  меньше установленной периодичности диагностирования  $t_d$ , диагностируемый узел следует изъять из эксплуатации и направить в ремонт. Процедуру прогнозирования можно упростить, заменив предельное значение диагностического параметра  $S_n$  допустимым нормативом  $S_d$ .

Прогнозирование остаточного ресурса, т. е. оценка запаса исправной работы, является важнейшим элементом в системе управления техническим состоянием машин и оборудования в животноводстве при их круглогодичной эксплуатации. Отклонения значений диагностических параметров за допустимые пределы, вызываемые возникновением различных повреждений, служат основой для принятия решения о проведении необходимых технических воздействий для восстановления работоспособности эксплуатируемого оборудования.

## Лекция 8. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ. ОРГАНИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

8.1. Схема и этапы управления техническим состоянием машин.

8.2. Методы диагностирования технического состояния машин и оборудования в животноводстве.

8.3. Организация работ по диагностированию и классификация средств диагностирования.

### 8.1. Схема и этапы управления техническим состоянием машин

Уровень безопасности во время работы машины, а после транспортировки и хранения – уровень ее сохраняемости определяют вероятностью нарушения работоспособности или частотой отказов при эксплуатации. Повышения безотказности в условиях эксплуатации достигают с помощью управления техническим состоянием машин. Управление техническим состоянием машин – это целенаправленное изменение их состояния с помощью управляющих воздействий, ведущих к достижению поставленной цели (рис. 8.1).

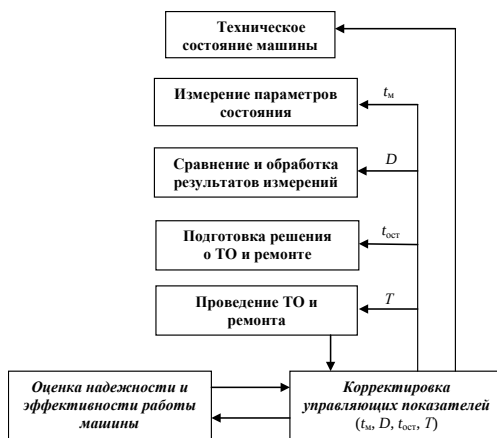


Рис. 8.1. Схема управления техническим состоянием машин:

$t_m$  – межконтрольная наработка;  $D$  – допускаемое отклонение параметра;  
 $t_{ост}$  – остаточный ресурс;  $T$  – средний ресурс составной части

Цель управления техническим состоянием машин – обеспечение высокого или оптимального уровня работоспособности и исправности машины с помощью изготовлений, ремонта и технического обслуживания, восстановления, а также создание условий, позволяющих уменьшить частоту отказов при сокращении материальных и денежных издержек. Управление техническим состоянием и надежностью можно осуществлять различными путями.

Наиболее прогрессивный – улучшение физико-механических свойств материалов деталей и их конструкций. Описанный путь реализуется на этапе проектирования. Применение износостойких материалов, снижение энергии, расходуемой на трение и износ, способствует снижению скорости изнашивания и изменению параметров, способствующих увеличению ресурса. Сокращается число отказов, значит, и число ремонтов, их трудоемкость, продолжительность и стоимость.

При этом увеличиваются промежутки между техническим обслуживанием, уменьшается их объем, снижается трудоемкость и пр.

Другой путь управления техническим состоянием и надежностью машин заключается в изменении динамики параметров состояния их элементов, увеличении наработки, повышении качества восстановления при техническом обслуживании и ремонте, своевременной замене недолговечных составных частей, увеличении наработки на отказ, уменьшении скорости снижения параметров машины. Эти мероприятия реализуются при ее эксплуатации. Управление техническим состоянием машин путем улучшения параметров распределения ресурсов или наработки до отказа и параметров потока отказов элементов можно представить как следствие реализации двух путей управления (рис. 8.2).

В процессе эксплуатации управление техническим состоянием машины осуществляется путем контроля состояния, назначения и проведения ремонтно-обслуживающих работ, предупреждающих отказы или устраняющих их последствия.

В результате проведения соответствующих технических мероприятий ресурсные и функциональные параметры машин восстанавливают до уровня номинальных или близких к ним значений. При этом восстанавливается технический ресурс, что предполагает высокую вероятность безотказной работы составных частей машин и оборудования, эксплуатируемых на фермах и комплексах.

По мере наработки техника стареет, увеличивается число отказов и ремонтов, продолжительность простоя машины. Это ведет к росту издержек на машину по мере ее эксплуатации. Устанавливая предельно допустимые издержки на техническое обслуживание и ремонт, свое-

временно прекращают эксплуатацию, ремонтируя или списывая машину.



Рис. 8.2. Этапы управления техническим состоянием машин

Для поддержания и восстановления высокого или оптимального уровня работоспособности используют комплекс управляющих показателей, влияющих на техническое состояние и надежность оборудования:

- допускаемые и предельные отклонения параметров;
- межконтрольная наработка;
- ресурс (средняя наработка на отказ);

- назначенный остаточный ресурс до ремонта;
- срок службы машины до списания;
- суммарные издержки технического обслуживания и ремонта.

Ресурс (наработка на отказ)  $T_{ср}$  характеризует степень восстановления работоспособности составной части при ремонте так же, как эти показатели характеризуют степень обеспечения работоспособности при ее изготовлении. Как и в каждом процессе управления, в управлении техническим состоянием машины можно выделить цель, управляемую систему, управляющие показатели и воздействия, целевые функции управления, динамический характер и причинную связь элементов системы, обратную связь.

При эксплуатации техники цель управления заключается в сохранении высокой или оптимальной надежности машины как управляемой системы.

Обратная связь в процессе управления техническим состоянием машины служит для получения информации о фактических показателях надежности, эффективности, экологичности работы машины после управления, проверки результатов управления сравнением ожидаемых оптимальных значений показателей машин с фактическими показателями, корректировки управляющих показателей.

## **8.2. Методы диагностирования технического состояния машин и оборудования в животноводстве**

Методы диагностирования технического состояния машин и оборудования в животноводстве характеризуются физической сущностью и способом измерения диагностических параметров, наиболее приемлемых для использования в зависимости от задачи диагностирования. На практике диагностирования машин и оборудования в животноводстве используют три группы методов.

### ***Метод диагностирования по параметрам рабочих процессов.***

Техническое состояние устанавливают по динамике изменения параметров, например, изменение рабочего вакуумметрического давления в доильной установке, частота пульсаций доильного аппарата и т. д.

Такие показатели непосредственно характеризуют состояние агрегатов и узлов машин и оборудования в животноводстве. Измеряемые этим методом параметры образуют множество внутренних параметров и множество выходных параметров объекта диагностирования. Диагностирование проводят с использованием диагностических приборов



или непосредственно в процессе работы оборудования. Метод широко применяют для общей оценки технического состояния машин и оборудования.

**Метод диагностирования по параметрам сопутствующих процессов.** При этом анализируют показатели, косвенно влияющие на работу узлов и агрегатов машин, например: шумы, вибрация и т. п.

Измеряемые этим методом параметры образуют подмножество внутренних процессов.

К методам диагностирования по параметрам сопутствующих процессов относят следующие:

- методы диагностирования по герметичности рабочих объемов. Сущность процесса диагностирования заключается в создании в контролируемом объеме избыточного давления (или разрежения) и в оценке интенсивности его снижения. Таким методом диагностируют паровые машины, смесители-запарники, замкнутый контур холодильного агрегата и пр.;

- тепловой метод, заключающийся в определении параметров, характеризующих количество теплоты, выделяемой в результате протекания процессов сгорания, работы сил трения при заданных скоростном и нагрузочном режимах. Широкого применения при диагностировании машин и оборудования в животноводстве приведенный метод не нашел;

- методы, оценивающие состояние узлов и агрегатов по физико-химическому составу эксплуатационных материалов.

Например, простейший экспресс-анализ отработавшего масла на загрязнение, спектральный анализ проб масел, в результате проведения которого по наличию и концентрации различных химических элементов в масле можно установить работоспособность отдельных узлов и сопряжений агрегата. Если в пробе картерного масла двигателя имеется высокое содержание свинца, имеет место износ вкладышей шатунных и коренных подшипников, если высокое содержание железа – износ гильз цилиндров, если высокое содержание кремния – засорение воздушного фильтра и т. д.

Такой метод используют для оценки технического состояния самоходных животноводческих машин (раздатчики кормов, аэратор навоза и др.).

**Метод диагностирования по структурным (геометрическим) параметрам.** Данный метод непосредственно характеризует состояние узлов и агрегатов транспортных машин. Эта группа методов осно-

ываается на объективной оценке геометрических параметров (зазор, свободный ход, смещение и т. д.). Метод применим, когда указанные параметры легкодоступны для непосредственного измерения. Техническое состояние устанавливают по зазорам в сопряжениях, значениям регулируемых параметров и т. п.

Согласно классификации параметров диагностирования измеряемые этим методом параметры образуют подмножество внутренних и выходных параметров.

Группа методов по геометрическим параметрам включает в себя методы, оценивающие состояние машины по герметичности рабочих объемов, степени износа цилиндро-поршневой группы компрессора, работоспособности пневматического привода тормозов мобильных раздатчиков кормов путем создания в контролируемом оборудовании избыточного давления или разрежения, а также определяющие интенсивность падения давления (разрежения), что применимо для диагностирования герметичности холодильного контура молокоохладителя.

Структурные параметры, изменяющиеся в процессе эксплуатации машин, оценивают различными диагностическими методами, которые можно объединить в две группы:

- требующие полной или частичной разборки;
- позволяющие без разборки узлов оценить техническое состояние.

Методы первой группы (микрометрирование, искусственные базы, профилографирование и пр.) очень трудоемки. По воздействию на исследуемый объект методы второй группы можно разделить на контактные и бесконтактные. Физические методы основаны на использовании различных физических явлений, сопутствующих работоспособному или неработоспособному состоянию оборудования.

Большое разнообразие разработанных методов диагностирования можно классифицировать:

- на прямые и косвенные;
- выполняемые органами чувств человека и инструментальные.

Инструментальные методы в свою очередь можно классифицировать:

- по виду контролируемых физических процессов;
- по принципу работы.

Все методы диагностирования разделяют:

- по способу определения;
- по виду структурных параметров физических величин;
- по принципу работы оборудования;

- по принципу реализации;
- по способу получения информации;
- по степени универсальности цели и глубине диагностирования;
- по периодичности и оперативности;
- по средствам диагностирования; – по способам связи с оборудованием и др.

По характеру взаимодействия между объектом и средством диагностирования различают функциональное и тестовое диагностирование.

Методы диагностирования подразделяют на механические, электрические, электронные. Средства технической диагностики бывают с ручным и программным управлением, автоматизированные и автоматические. При выборе метода диагностирования большое значение имеют его назначение (для комплексной оценки технического состояния машины или для углубленного диагностирования, направленного на локализацию и устранение выявленной неисправности или отказа), точность диагноза, число диагностируемых машин и т. д.

Механические методы и средства «малой» диагностики наиболее эффективны, если парк диагностируемых машин мал, требования к точности измерения их диагностических параметров не ужесточены и межконтрольные циклы велики.

Для большого парка машин наиболее эффективны методы диагностирования, реализуемые в высокопроизводительных и достаточно точных автоматизированных и автоматических системах. Оптимальным является метод диагностирования, обеспечивающий минимум суммарных издержек на единицу наработки машины (исключение составляют методы, обеспечивающие дополнительные требования к условиям безопасности работы и безотказности).

Наиболее оптимальным является совершенствование конструкций машин с позиций повышения контролепригодности и применения более перспективных методов и средств технической диагностики. В результате сравнения удельных издержек при различных вариантах улучшения конструкции машины и различных методах диагностирования по всем диагностическим параметрам выбирают вариант, обеспечивающий минимум суммарных издержек.

### **8.3. Организация работ по диагностированию и классификация средств диагностирования**

Организация работ по диагностированию оказывает непосредственное влияние на его эффективность и трудоемкость. Поэтому при выборе того или иного метода диагностирования следует учитывать необходимость его увязки с принятыми организационными формами и методами технического обслуживания. В зависимости от конкретных условий хозяйств и других факторов техническое обслуживание можно осуществлять тупиковым или поточным методом. Тупиковый метод применяют в сельскохозяйственных производственных кооперативах (СПК, ОАО и др.) и в райагросервисе, поточный – на станциях технического обслуживания (СТОТ, СТОА, СТОЖ).

Диагностирование организуют по совмещенной или специализированной схеме. Специализированное диагностирование применяют при любом методе технического обслуживания, совмещенное – только при тупиковом. Выбор того или иного вида диагностирования в каждом конкретном случае определяют производственными условиями (особенностями), наличием необходимого оборудования, специалистов по техническому обслуживанию и другими факторами.

При совмещенном диагностировании выполняют весь объем работ соответствующего планового технического обслуживания, при специализированном – только контрольно-диагностические операции. Совмещенное диагностирование чаще всего применяют при наличии собственных стационарных звеньев диагностирования в сельскохозяйственных организациях и неполной загрузки их контрольно-диагностическими работами и при отсутствии в организации достаточного количества мастеров-наладчиков. В сельскохозяйственных кооперативах, на ремонтно-обслуживающих предприятиях создают посты и участки диагностирования, организуют звенья диагностирования. Стационарные посты диагностирования организуют на СТОТ, СТОА, СТОЖ в ЦРМ и на ПТО организации.

Стационарные посты по техническому признаку делят на тупиковые и проездные.

Основу материальной базы диагностирования составляют диагностические комплекты оборудования, приборов и приспособлений, а также посты и участки диагностирования на пунктах и станциях технического обслуживания, центральных ремонтных мастерских хозяйств (рис. 8.3).

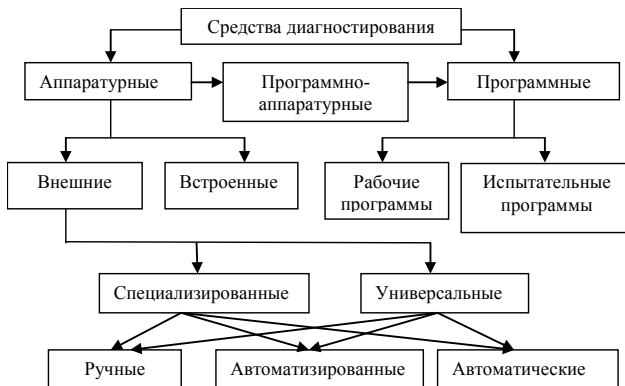


Рис. 8.3. Классификация средств диагностирования

Помимо внешних средств диагностирования машин и оборудования в животноводстве широкое развитие получили встроенные средства «бортового» диагностирования машин (рис. 8.4).

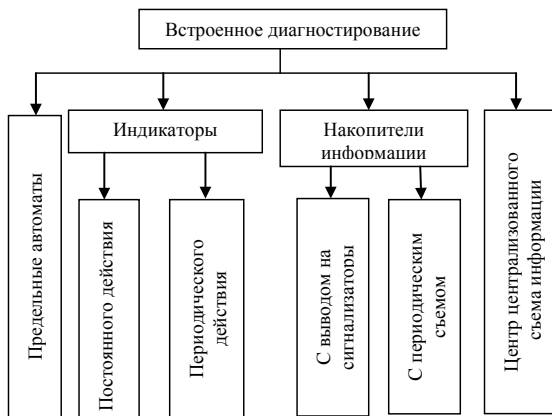


Рис. 8.4. Средства встроенного диагностирования машин

Под системой технического диагностирования (контроля) в соответствии с ГОСТ 20911-89 понимают совокупность средств, объекта и исполнителей, необходимую для проведения диагностирования (контроля) по правилам, установленным технической документацией.

Системы технического диагностирования могут быть классифицированы по ряду признаков, определяющих их назначение, задачи, структуру и состав технических средств.

По степени охвата объекта диагностирования системы диагностирования могут быть локальными и общими.

По характеру взаимодействия средств диагностирования с объектом диагностирования – системы тестового и рабочего диагностирования.

По используемым средствам различают:

- системы с универсальными средствами диагностирования и контроля объектов различных типов;
- системы со специализированными средствами (стенды, имитаторы и пр.);
- системы с внешними средствами, расположенными на постах диагностирования;
- системы со встроенными средствами диагностирования, составляющими единое целое с объектом диагностирования.

Эти средства позволяют диагностировать машину в процессе эксплуатации и подразделяются на следующие группы:

- предельные автоматы, прекращающие работу оборудования (агрегата);
- индикаторы постоянного (стрелочные, световые) либо периодического действия (сигнализаторы или приборы визуального наблюдения);
- накопители информации с выводом на сигнализаторы или с периодическим съемом информации для последующей ее обработки.

Комбинация встроенных и внешних средств диагностирования позволяет значительно снизить вероятность пропуска отказов и повысить достоверность информации. Автоматизация процессов диагностирования существенно улучшает основные показатели и характеристики систем диагностирования. Автоматизация позволяет сократить время на выдачу результата диагностирования, понизить требования к квалификации операторов-диагностов, а в ряде случаев – отказаться от их услуг, снизить трудоемкость операций диагностирования, а также улучшить форму представления результатов диагностирования и повысить достоверность его постановки.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                                                                                                                                               | 3  |
| Список рекомендуемой литературы.....                                                                                                                                                        | 3  |
| Лекция 1. Общие положения, основные понятия и определения в области прогнозирования остаточного ресурса машин и оборудования.....                                                           | 4  |
| 1.1. Общие положения, основные понятия и определения.....                                                                                                                                   | 4  |
| 1.2. Параметры технического состояния машин и оборудования в животноводстве.....                                                                                                            | 6  |
| Лекция 2. Структурные и диагностические параметры технического состояния машин и оборудования в животноводстве.....                                                                         | 10 |
| 2.1. Диагностирование оборудования, находящегося в эксплуатации. Структурные и диагностические параметры.....                                                                               | 10 |
| 2.2. Методы прогнозирования остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве.....                                                                                                  | 13 |
| Лекция 3. Роль и место диагностирования машин при их технической эксплуатации.....                                                                                                          | 15 |
| 3.1. Определение наиболее рациональной схемы обслуживания машин и оборудования в животноводстве.....                                                                                        | 15 |
| 3.2. Особенности характерных повреждений животноводческого оборудования, закономерности их развития.....                                                                                    | 19 |
| 3.3. Предельные состояния оборудования: критерии и методы выявления повреждений.....                                                                                                        | 23 |
| Лекция 4. Причины изменения технического состояния машин и оборудования, применяемых в животноводстве, и роль диагностирования машин в повышении производства продукции животноводства..... | 26 |
| 4.1. Причины изменения технического состояния машин и оборудования, применяемых в животноводстве.....                                                                                       | 26 |
| 4.2. Роль диагностирования машин в повышении производства продукции животноводства.....                                                                                                     | 28 |
| Лекция 5. Анализ условий эксплуатации машин и оборудования в животноводстве. Основные задачи диагностирования и его место в техническом сервисе.....                                        | 32 |
| 5.1. Анализ условий эксплуатации машин и оборудования в животноводстве. Основные задачи диагностирования и его место в техническом сервисе.....                                             | 32 |
| 5.2. Оценка остаточного ресурса машин и оборудования по изменениям контролируемого параметра.....                                                                                           | 35 |
| Лекция 6. Прогнозирование остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве.....                                                                                                    | 38 |
| 6.1. Необходимость прогнозирования остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве.....                                                                                           | 38 |
| 6.2. Информативные параметры в прогнозировании остаточного ресурса в зависимости от срока эксплуатации оборудования.....                                                                    | 40 |
| 6.3. Методика прогнозирования остаточного ресурса при известной и неизвестной наработках от начала эксплуатации.....                                                                        | 43 |
| Лекция 7. Современные методы прогнозирования технического состояния машин и оборудования в животноводстве.....                                                                              | 46 |
| 7.1. Организация технического обслуживания машин и оборудования в животноводстве.....                                                                                                       | 46 |

|                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.2. Прогнозирование технического состояния машин и оборудования<br>в животноводстве с использованием статистических методов.....                                        | 50 |
| Лекция 8. Классификация методов диагностирования машин и оборудования<br>в животноводстве. Организация диагностирования и классификация средств<br>диагностирования..... | 53 |
| 8.1. Схема и этапы управления техническим состоянием машин.....                                                                                                          | 53 |
| 8.2. Методы диагностирования технического состояния машин и оборудования<br>в животноводстве.....                                                                        | 56 |
| 8.3. Организация работ по диагностированию и классификация средств<br>диагностирования.....                                                                              | 60 |