

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**И. М. Швед, Д. Ф. Кольга**

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

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия для студентов  
учреждений высшего образования второй ступени (магистратура)  
по специальности «Техническое обеспечение производства  
сельскохозяйственной продукции»*

Минск  
БГАТУ  
2020

УДК 631.171:636(07)  
ББК 40.729я7  
ШЗ4

**Рецензенты:**

кафедра технического обеспечения сельскохозяйственного  
производства и агрономии  
УО «Барановичский государственный университет»  
(кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой *И. В. Дубень*);  
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,  
первый заместитель генерального директора по инновациям  
РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству» *В. Н. Тимошенко*

**Швед, И. М.**

ШЗ4 Прогнозирование остаточного ресурса машин и оборудования  
в животноводстве : учебное пособие / И. М. Швед, Д. Ф. Кольга. –  
Минск : БГАТУ, 2020. – 120 с.  
ISBN 978-985-25-0066-1.

Учебное пособие содержит методику оценки остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве по изменениям контролируемых параметров. Изложены методы диагностирования машин и оборудования. Приводятся расчеты по оценке остаточного ресурса машин и оборудования, применяемых в животноводстве. Рассматривается вопрос по прогнозированию остаточного ресурса оборудования по развитию коррозионных повреждений.

Для студентов и магистрантов учреждений высшего образования. Может быть полезно бакалаврам, конструкторам сельскохозяйственной техники, инженерам и научным работникам.

УДК 631.171:636(07)  
ББК 40.729я7

ISBN 978-985-25-0066-1

© БГАТУ, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
<b>1. КОНЦЕПЦИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ</b>	
1.1. Общие положения и основные понятия и определения в области прогнозирования остаточного ресурса машин и оборудования .....	6
1.2. Структурные и диагностические параметры технического состояния машин и оборудования .....	11
1.3. Роль и место диагностирования машин при их технической эксплуатации .....	14
1.4. Причины изменения технического состояния машин и оборудования, применяемых в животноводстве .....	18
1.5. Роль диагностирования машин в повышении производства продукции животноводства .....	20
1.6. Основные задачи диагностирования и его место в техническом сервисе .....	25
1.7. Прогнозирование остаточного ресурса машин и оборудования .....	27
1.8. Анализ условий эксплуатации машин и оборудования в животноводстве .....	37
<b>2. ВИДЫ ПОВРЕЖДЕНИЙ И МЕТОДЫ ИХ ВЫЯВЛЕНИЯ</b>	
2.1. Управление техническим состоянием машин и оборудования в животноводстве .....	39
2.2. Этапы управления техническим состоянием машин .....	43
2.3. Классификация методов диагностирования машин и оборудования в животноводстве .....	51
2.4. Организация диагностирования и классификация средств диагностирования .....	54
2.5. Характерные повреждения оборудования, закономерности их развития .....	58
2.6. Критерии предельных состояний оборудования и методы выявления повреждений .....	63
2.7. Методы прогнозирования остаточного ресурса, основанные на стандартизованных нормах расчета .....	66
2.7.1. Методы прогнозирования остаточного ресурса составных частей машин .....	66
2.7.2. Оценка остаточного ресурса по изменениям контролируемого параметра .....	69

3. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАТИВНОСТИ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ	
3.1. Прогнозирование остаточного ресурса при известной наработке от начала эксплуатации.....	72
3.2. Методика прогнозирования остаточного ресурса при неизвестной наработке от начала эксплуатации.....	73
3.3. Методика определения остаточного ресурса при отсутствии данных о наработке с начала эксплуатации до момента диагностирования.....	75
3.4. Методы прогнозирования остаточного ресурса составных частей машин.....	76
3.5. Оценка остаточного ресурса по изменениям контролируемого параметра.....	81
3.5.1. Оценка остаточного ресурса оборудования, имеющего циклический характер работы.....	81
3.5.2. Оценка остаточного ресурса оборудования по параметрам технического состояния.....	84
3.5.3. Оценка остаточного ресурса оборудования по параметрам производительности.....	89
3.5.4. Оценка остаточного ресурса оборудования по параметрам наработки.....	90
3.6. Прогнозирование надежности оборудования.....	91
4. ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ПОВРЕЖДЕНИЙ	
4.1. Оценка предельных размеров повреждений статистическими методами.....	96
4.2. Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по развитию коррозионных повреждений.....	103
4.3. Планирование минимально необходимого объема контроля.....	106
4.4. Сокращение объема контроля за счет использования распределения экстремальных значений.....	109
4.5. Критерии необходимости капитального ремонта машин и оборудования в животноводстве.....	114
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	117

## ВВЕДЕНИЕ

Увеличение объемов сельскохозяйственной продукции может и должно сопровождаться снижением удельных затрат топливно-энергетических ресурсов за счет интенсивных ресурсосберегающих технологий производства сельскохозяйственной продукции, внедрения и поддержания современного оборудования в работоспособном состоянии.

Практика использования средств диагностирования свидетельствует о возможности сокращения эксплуатационных издержек. Это достигается за счет увеличения фактически используемого ресурса, сокращения числа ремонтов и экономии расхода запасных частей. Важным показателем надежности является отсутствие отказов во время функционирования технической системы.

По оснащенности средствами диагностирования сельское хозяйство опередило многие отрасли народного хозяйства. Но пока такие средства используются неудовлетворительно, не обеспечивая решения возлагаемых на них задач. Современное состояние приборостроения, электроники и вычислительной техники позволяет значительно увеличить и расширить возможности как самого диагностирования, так и прогнозирования остаточного ресурса техники на его основе. При длительной эксплуатации машин и оборудования применяемых в животноводстве неизбежно возникают повреждения или нарушения работоспособности узлов и деталей даже при отсутствии дефектов изготовления и соблюдении правил эксплуатации. Это обусловлено особенностями сельскохозяйственного производства: высокой коррозионной активностью технологических сред, высокими температурой, давлением и скоростью технологических потоков, и другими факторами.

Прогнозирование остаточного ресурса машин и оборудования, применяемого в животноводстве, позволяет устранить подобные отказы в процессе технического обслуживания, что повышает надежность и эффективность эксплуатации.

# **1. КОНЦЕПЦИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ**

## **1.1. Общие положения и основные понятия и определения в области прогнозирования остаточного ресурса машин и оборудования**

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 процессе выполнения рабочего процесса, влияют колебания таких регулируемых параметров, как температура, давление, расход и прочие, 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 элементов 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) и другие количественные показатели качества продукта, параметры вибрации, шума, величина утечки смазывающей жидкости через уплотнения и т. д.

*Параметры технического состояния машин и оборудования* – 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* – 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* – 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* – состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и конструкторской документации.

*Работоспособность* – 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).

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



*Структурный параметр* – физическая величина, непосредственно характеризующая техническое состояние (работоспособность) машины (например, размеры сопряженных деталей и зазоры между ними и прочие; 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* – 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 допускают после контроля к эксплуатации без операций технического обслуживания или ремонта. Это значение приводят в технической документации на обслуживание и ремонт машин. При допустимом 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* устанавливаются 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, 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 – 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, и ресурсное диагностирование, предшествующее текущему или капитальному ремонту.

Для оборудования, эксплуатируемого на фермах и комплексах, установлено ежедневное (ежесменное) техническое обслуживание (ЕТО) и два вида номерных технических обслуживаний: ТО-1 и ТО-2.

## **1.2. Структурные и диагностические параметры технического состояния машин и оборудования**

Техническое диагностирование является составной частью технической 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 выполняются по ГОСТ 20417–76, требования к контролепригодности оборудования выполняются 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, организуют на основе конструкторской и технологической

документации 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 значение 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) (рис. 1.1). 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.

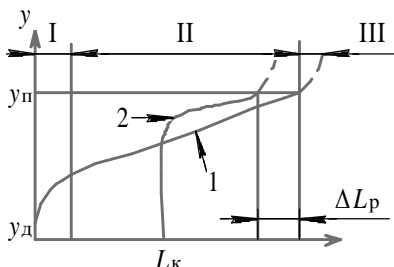


Рис. 1.1. Кривая изменения интенсивности изнашивания сопряженных деталей:

*I* – зона приработки; *II* – зона нормальной работы;

*III* – зона интенсивного изнашивания;

$\Delta L_p$  – снижение ресурса из-за разборки узла;

1 – без разборки; 2 – после разборки

*Диагностические параметры* – физические величины, которые могут быть измерены и связаны с параметрами технического состояния определенной зависимостью (рис. 1.2).

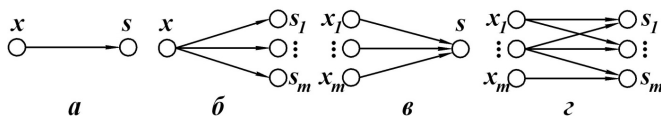


Рис. 1.2. Зависимости параметров технического состояния  $X$  с диагностическими параметрами  $S$ :

*a* – единичная; *б* – множественная; *в* – неопределенная; *г* – комбинированная

*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). Восстанавливаются 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 восстанавливаются путем регулировок при ТО.

### **1.3. Роль и место диагностирования машин при их технической эксплуатации**

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 формациях 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 прове-

денных 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 изучаются показатели (признаки) неисправностей машин и их частей, разрабатываются 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 снижает 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 применяется 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 2–2,5 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, отличаю-

шейся 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.

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

*Работоспособность оборудования* – 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, ремонтпригодности и сохраняемости.

*Долговечностью* называется 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, называется *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 относятся:

- конструктивные или производственные дефекты (неправильный выбор материала деталей или посадок, неудовлетворительное качество механической и термической обработки 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.

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

Состояние новой техники зависит от качества изготовления, сборки, приработки, условий хранения и транспортирования. Эти факторы 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 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: 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 недопонимания 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 (рис. 1.3).

Здесь можно выделить три периода: приработка, нормальная эксплуатация и аварийный износ. В начальном состоянии сопряжение имеет зазор  $a_n$ . При большом начальном зазоре, и при плохо проведенной приработке эксплуатационный период может значительно уменьшиться. На продолжительность эксплуатационного периода влияют условия эксплуатации. При изменении этих условий угол наклона кривой будет меняться. Кроме того, несвоевременное техническое вмешательство в процесс эксплуатации приводит к сокращению срока работы оборудования до аварийного износа.

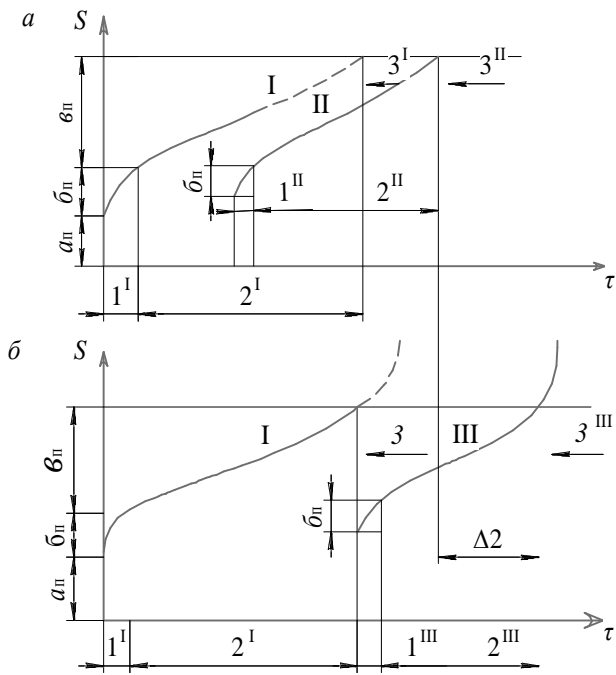


Рис. 1.3. Изменение показателя состояния машины в процессе ее эксплуатации:  
 а – при преждевременном (кривая II) техническом вмешательстве;  
 б – при своевременном (кривая III) вмешательстве;  
 $1^I, 1^{II}, 1^{III}$  – приработка;  $2^I, 2^{II}, 2^{III}$  – нормальная эксплуатация;  
 $3^I, 3^{II}, 3^{III}$  – аварийный период;  $a_n$  – исходное состояние показателя;  
 $\delta_n$  и  $\phi_n$  – изменение показателя за периоды приработки и нормальной эксплуатации

Аварийный период начинается при определенном значении показателя независимо от времени эксплуатации. Оптимальным моментом технического вмешательства по этому показателю будет точка перехода 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 основе графика (рис. 1.4) 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.

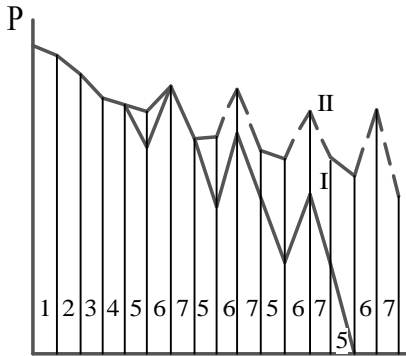


Рис. 1.4. Изменение состояния техники от изготовления до списания:

*I* – хранение на площадке завода-изготовителя; *2* – транспортирование до базы торгующей организации; *3* – хранение на базе; *4* – транспортирование на предприятие; *5* – хранение на предприятии; *6* – восстановительно-регулирующие мероприятия перед введением машины в работу; *7* – эксплуатационный износ; *I* – неправильное обслуживание и хранение; *II* – правильное обслуживание и хранение; *P* – ресурс

При анализе данных (рис. 1.3 и 1.4) 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 применяется 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 сельскохозяйст-



венной 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.

### **1.6. Основные задачи диагностирования и его место в техническом сервисе**

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, приведены в таблице.

*Таблица*

Виды диагностирования машин и оборудования

Вид и периодичность диагностирования	Назначение	Основное содержание
При техническом обслуживании: ежесменное (ЕТО)	Определить готовность к выполнению сменного задания	Проверка составных частей машин и оборудования, обеспечивающих безотказность за смену
Первое (ТО-1)	Выявить готовность к работе до очередного ТО-1	Контроль работоспособности вспомогательных механизмов машин и оборудования,

Вид и периодичность диагностирования	Назначение	Основное содержание
		систем привода рабочих органов установок, обеспечивающих безотказность до очередного ТО-1
Второе (ТО-2)	Определить готовность 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)	Определить готовность 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 определить вид, место и причину дефекта или состояние в целом	Поиск дефекта или проверка технического состояния машин и оборудования
Ресурсное диагностирование	Определить остаточный ресурс 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, выявляется техническое состояние узлов и агрегатов, не соответствующих требованиям безопасности производственных процессов, контролируется качество технического обслуживания и текущего ремонта, а также прогнозируется остаточный ресурс исправной работы установки.

В результате диагностирования даются 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).

### **1.7. Прогнозирование остаточного ресурса машин и оборудования**

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 дос-

товерности применяют упрощенные методы, в случае необходимости гарантированных оценок используют уточненные методы, в том числе базирующиеся на теории надежности.

Остаточный ресурс оборудование 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 расходования заложенных запасов (по прочности, износу 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 (рис. 1.5).

Через определенные периоды эксплуатации ( $t_1, t_2, \dots$ ) измеряют максимальные значения ( $h_1, h_2, \dots$ ) возникших повреждений, износа, коррозии, деформаций и экстраполируют зависимость до предельно допустимого значения повреждений  $h_{\text{п}}$ . 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.

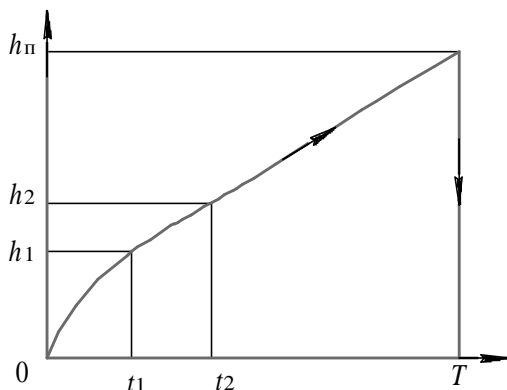


Рис. 1.5. Типовая схема прогнозирования остаточного ресурса оборудования

Зависимость  $h(t)$  характерна для различных разрушений (см. рис. 1.5). Для некоторых видов коррозии и изнашивания (трением, эрозионное) указанная зависимость линейная:

$$h(t) = h_0 + Ct,$$

где  $h_0$  и  $C$  – константы для заданных условий.

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, осветления 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 эрозийным 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  $\gamma$ . При известной функции распределения ресурса  $\gamma$  процентный ресурс находится из выражения:

$$1 - \int_0^t f(t) dt = \frac{\gamma}{100}.$$

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 оценивается индивидуальный остаточный ресурс оборудования, т. е. возможная продолжительность его эксплуатации от момента контроля технического состояния до достижения им предельного состояния. Отличается он от индивидуального ресурса тем, что в качестве начала отсчета принимается текущая наработка, 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 оценивается остаточный ресурс их узлов, агрегатов и механизмов.



Современные методы прогнозирования технического состояния оборудования подразделяются 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. Для агрегатов измельчителей кормов и смесителей-раздатчиков кормов это могут быть параметры эффективности функционирования (мощность, крутящий момент), для самоходных раздатчиков кормов – расход топлива и др., геометрические параметры (люфты, зазоры) и параметры сопутствующих процессов (герметичность рабочих объемов, вибрации, физико-химический состав отработавших эксплуатационных материалов и т. д.).

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. Для постепенных отказов изменение параметра технического состояния конкретного изделия или среднего значения для группы изделий аналитически достаточно хорошо описывается двумя функциями:

– линейным уравнением

$$y = y_n + a_1 t;$$

– степенной функцией

$$y = y_n + a_1 t^b,$$

где  $y_n$  – начальное значение параметра технического состояния;

$a_1$  – интенсивность изменения параметра технического состояния, зависящая от конструкции и условий эксплуатации;

$t$  – наработка изделия;

$b$  – показатель степени, характеризующий изменение параметра  $y$  от  $t$ .

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. При прогнозировании остаточного ресурса вакуумного насоса доильной установки, например, изменение диагностического параметра по наработке с достаточной степенью точности может быть описано степенной функцией

$$S = S_{\text{н}} + ut^{\alpha},$$

где  $S_{\text{н}}$  – начальное значение диагностического параметра;

$u$  – интенсивность изменения диагностического параметра по наработке;

$\alpha$  – показатель степени, определяющий зависимость диагностического параметра  $S$  от наработки  $t$ .

Графическая интерпретация зависимости представлена на рис. 1.6.

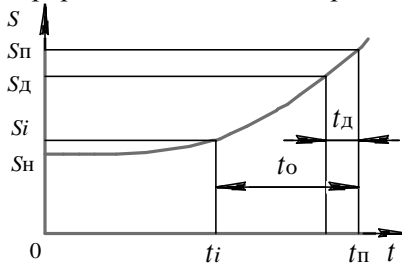


Рис. 1.6. Схема определения остаточного ресурса по реализации диагностического параметра:

$S_{\text{н}}, S_i, S_{\text{д}}, S_{\text{п}}$  – номинальное, текущее, допустимое нормативное и предельное значения диагностического параметра;  $t_i, t_0, t_{\text{д}}, t_{\text{п}}$  – соответственно, ресурсы текущий, остаточный, при установленной периодичности диагностирования и полный

Анализ данных (рис. 1.6) показывает, что остаточный ресурс объекта  $t_0$  представляет собой разность между полным ресурсом  $t_{\text{п}}$ , который соответствует предельному значению диагностического параметра  $S_{\text{п}}$ , и продолжительностью его эксплуатации, предшествующей прогнозируемому периоду  $t_i$ . Полный  $t_{\text{п}}$  и остаточный  $t_0$  ресурсы оборудования после наработки  $t$ , предшествующей прогнозируемому периоду, при степенной зависимости диагностического параметра по наработке определяются из выражений

$$t_{\text{п}} = \sqrt[\alpha]{\frac{|S_{\text{п}} - S_{\text{н}}|}{u}};$$

$$t_0 = t \left[ \left( \frac{S_{\text{п}} - S_{\text{н}}}{S_i - S_{\text{н}}} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right],$$

где  $S_{\text{н}}, S_{\text{п}}$  – номинальное и предельное значения диагностического параметра.

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 строится гистограмма распределения оценивающих его значений диагностического параметра, аппроксимирующая ее теоретическая кривая и по заданному уровню вероятности безотказной работы  $P$  (0,85 или 0,95) находится 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  $S_d$ , который определяется из выражения

$$S_d = S_n - t_d.$$

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. Отклонение значений диагностических параметров за допустимые пределы, вызываемые возникновением различных повреждений, служит основой для принятия решения о проведении необходимых технических воздействий для восстановления работоспособности эксплуатируемого оборудования.

### **1.8. Анализ условий эксплуатации машин и оборудования в животноводстве**

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 эксплуатируются с перегрузками).

## 2. ВИДЫ ПОВРЕЖДЕНИЙ И МЕТОДЫ ИХ ВЫЯВЛЕНИЯ

### 2.1. Управление техническим состоянием машин и оборудования в животноводстве

*Организация и планирование технического обслуживания.* Сложились три формы организации технического обслуживания машин и оборудования, применяемых 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 создается специальная служба, включающая 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, отделение 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 животновод-

ческих 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 настоящее 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 обслуживания 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 определяют по формуле

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

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 обслуживаний – 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 занимается систематизацией и анализом информации, позволяющей оценить техническое состояние машины без ее разборки. К задачам диагностики относятся также прогнозирование и научное предвидение отказа.

Техническое диагностирование проводится 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: статистическую, визуальную и инструментальную.

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.

## **2.2. Этапы управления техническим состоянием машин**

Уровень безопасности во время работы машины, а после транспортировки и хранения – уровень ее сохраняемости определяется вероятностью нарушения работоспособности или частотой отказов при эксплуатации. Повышение безотказности в условиях эксплуатации достигается 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. 2.1). 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, уменьшаются их объем, снижается трудоемкость и пр.

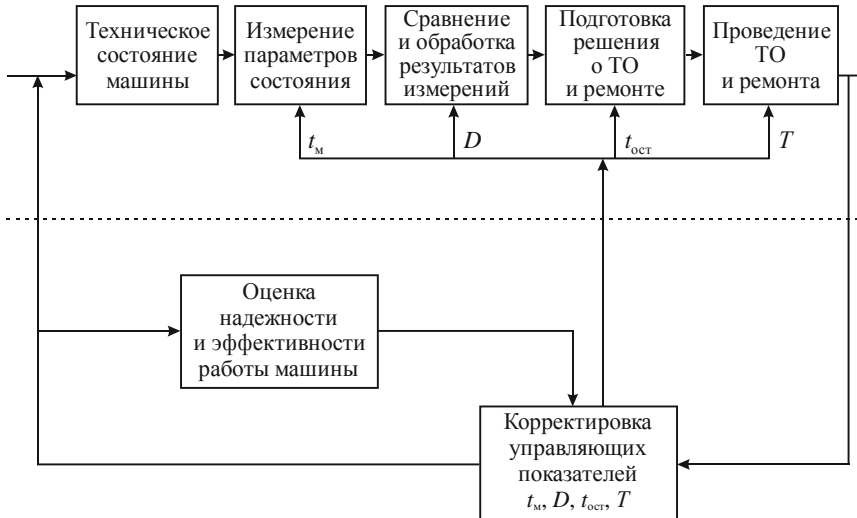


Рис. 2.1. Схема управления техническим состоянием машин:  
 $t_m$  – межконтрольная наработка;  $D$  – допускаемое отклонение параметра;  
 $t_{ост}$  – остаточный ресурс;  $T$  – средний ресурс составной части

Другой путь управления техническим состоянием и надежностью машин заключается в изменении динамики параметров состояния их элементов, увеличения наработки, повышения качества восстановления при техническом обслуживании и ремонте, своевременной замене недолговечных составных частей, увеличивается наработка на отказ, уменьшается скорость 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. 2.2).

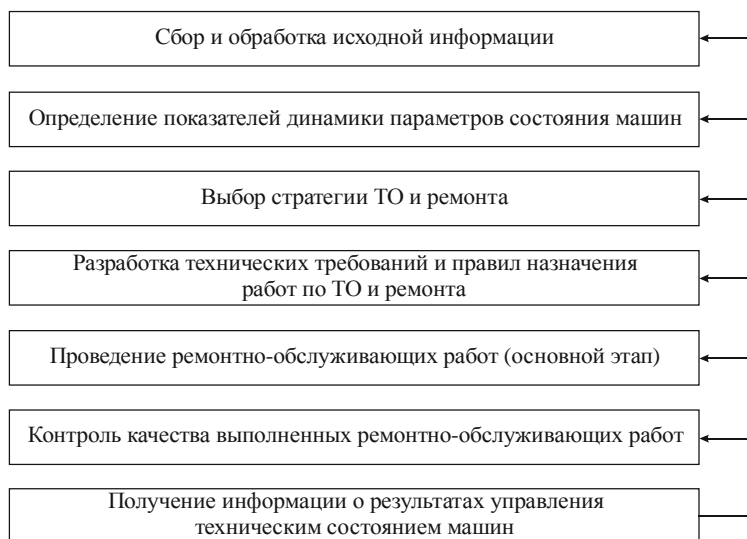


Рис. 2.2. Этапы управления техническим состоянием машин

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, своевременно прекращают эксплуатацию, ремонтируя или списывая машину.

Для поддержания и восстановления высокого или оптимального уровня работоспособности используется 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)  $T_{cp}$  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.

*Прогнозирование остаточного ресурса сборочной единицы или машины в целом.* Для определения остаточного ресурса механизма, сборочной единицы или машины в целом необходимы данные об изменении диагностического параметра, предельном значении этого параметра  $I_{пр}$ , о характере изменения параметра в зависимости от наработки  $\alpha$  (рис. 2.3). В зависимости от  $\alpha$  зависимость значений параметра от наработки может быть линейной:  $\alpha = 1$ ; выпуклой вниз:  $\alpha > 1$  или выпуклой вверх:  $\alpha < 1$ .

При наличии этих данных остаточный ресурс определяют по формуле

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

где  $P_{исп}$  – наработка машины от начала эксплуатации, ч;  
 $I_{пр}$  – предельное значение параметра, ч;  
 $I_{к}$  – изменение значения параметра к моменту контроля, ч;  
 $\alpha$  – значение наработки (берется из технической документации), ч.

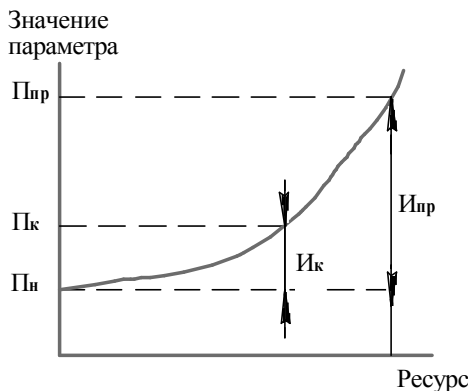


Рис. 2.3. Схема определения предельного значения по реализации диагностического параметра

Предельное значение параметра определяется из выражения:

$$I_{пр} = P_{пр} - P_{н},$$

где  $P_{пр}$  – предельное значение параметра;

$P_{н}$  – номинальное значение параметра (из паспорта или иной технической документации).

Изменение значения параметра к моменту контроля выражается следующей зависимостью:

$$I_{к} = P_{к} - P_{н},$$

где  $P_{к}$  – значение параметра, измеренное в момент контроля.

Если сведения о наработке механизма от начала эксплуатации (или последнего капитального ремонта) отсутствуют (использованный, неизвестный ресурс  $P_x$ ), остаточный ресурс определяют по значениям параметров состояния, установленным двукратном диагностировании и наработке между первым и вторым измерениями (рис. 2.4).

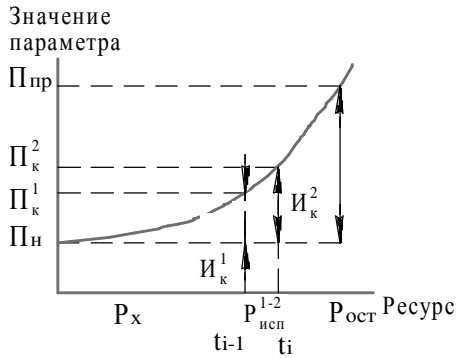


Рис 2.4. Схема определения предельного значения по значениям параметров состояния механизма

Тогда формула по определению остаточного ресурса определится из выражения:

$$P_{ост} = P_{исп}^{1-2} \left[ \frac{1}{\left(\frac{I_k^2}{I_k^1}\right)^{1/\alpha} - 1} + 1 \right] \left[ \left[ \left(\frac{I_{пр}}{I_k^2}\right)^{1/\alpha} - 1 \right] \right],$$

где  $P_{исп}^{1-2}$  – ресурс, использованный между первой и второй проверкой (наработка машины);

$I_k^1$  – изменение значения параметра от начала эксплуатации до первой проверки;

$I_k^2$  – изменение значения параметра от начала эксплуатации до второй проверки.

Изменение значения параметра от начала эксплуатации до первой проверки определяется по формуле:

$$I_k^1 = \Pi_k^1 - \Pi_n;$$

$$I_k^2 = \Pi_k^2 - \Pi_n,$$

где  $\Pi_k^1$  – значение параметра при первой проверке;

$\Pi_k^2$  – значение параметра при второй проверке.



Таким образом, для определения  $P_{\text{ост}}$  при неизвестной наработке с начала эксплуатации необходимо измерить значения контролируемых параметров не менее двух раз и знать наработку за время работы между этими измерениями.

Достоверность прогнозирования остаточного ресурса определяется точностью показателя степени  $\alpha$ . При этом значения контролируемых параметров могут различаться в четыре раза у отдельного диагностируемого оборудования и в три раза – от среднего значения. Поэтому ошибка прогнозирования остаточного ресурса по  $\alpha_{\text{ср}}$  составляет 50 %. Этих ошибок можно избежать при определении значений  $\alpha$  по каждой диагностируемой машине или оборудованию в отдельности. Значение показателя  $\alpha$  определяется по формуле

$$\alpha_i = \frac{\ln\left(\frac{\Delta I_{ki+1}}{\Delta I_{ki}}\right)}{\ln\left(\frac{t_{i+1}}{t_i}\right)}.$$

$$I_{\text{к}}^i = \Pi_{\text{к}}^i - \Pi_{\text{н}} \quad \text{или} \quad I_{ki} = \Pi_{ki} - \Pi_{\text{н}},$$

где  $i = 1 \dots m$ ; чем больше  $m$ , тем точнее  $\alpha$ . Средневзвешенное значение показателя  $\alpha$  определяется из выражения:

$$\alpha_{\text{св}} = \frac{\sum_{i=1}^m \Delta t_i \alpha}{\sum_{i=1}^m \Delta t_i}.$$

Выразив  $t_{\text{нр}}$  через  $\Delta I_{\text{нр}}$  и  $t'_i$  – через  $\Delta I_i$ , получим:

$$t_{\text{ост}} = \left(\frac{\Delta I_{\text{нр}}}{K_c}\right)^{\frac{1}{\alpha}} - t'_i = t' \left[ \left(\frac{\Delta I_{\text{нр}}}{K_c}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \left(\frac{K_c}{\Delta I_{\text{нр}}}\right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right] = t' \left( \frac{\Delta I_{\text{нр}}^{1/\alpha}}{\Delta I_i^{1/\alpha}} - 1 \right).$$

При неизвестной наработке с начала эксплуатации до момента диагностирования остаточный ресурс можно определить по двум замерам параметра через интервал наработки  $\Delta t$ :

$$\Delta t = t_i - t_{i-1} = \left( \frac{\Delta И_i}{K_c} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - \left( \frac{\Delta И_{i-1}}{K_c} \right)^{\frac{1}{\alpha}} = \frac{\Delta И_i^{1/\alpha} - \Delta И_{i-1}^{1/\alpha}}{K_c^{1/\alpha}},$$

откуда

$$K_c^{1/\alpha} = \frac{\Delta И_i^{1/\alpha} - \Delta И_{i-1}^{1/\alpha}}{\Delta t}.$$

Учитывая, что

$$\Delta t_i = \frac{\Delta И_i^{1/\alpha}}{K_c^{1/\alpha}} = \frac{\Delta t \Delta И_i^{1/\alpha}}{\Delta И_i^{1/\alpha} - \Delta И_{i-1}^{1/\alpha}},$$

и подставляя значения  $\Delta t_i$  в формулу определения остаточного оборудования, получаем:

$$\Delta t_{\text{ост}} = \frac{\Delta t (\Delta И_{\text{пр}}^{1/\alpha} - \Delta И_i^{1/\alpha})}{\Delta И_i^{1/\alpha} - \Delta И_{i-1}^{1/\alpha}}.$$

*Пример 2.1.* Определить остаточный ресурс вакуумного насоса доильной установки РВН-40/350, если при наработке 1000 ч производительность насоса составила 50 м<sup>3</sup>/ч при номинальном значении производительности 60 м<sup>3</sup>/ч и его предельного значения 40 м<sup>3</sup>/ч.

*Решение.* Для ротационного вакуумного насоса  $\alpha = 1,6$ . Найдем изменение производительности к моменту измерения и его предельное значение:

$$\begin{aligned} \Delta И_i &= (60 - 50) \text{ м}^3/\text{ч} = 10 \text{ м}^3/\text{ч}, \\ \Delta И_{\text{пр}} &= (60 - 40) \text{ м}^3/\text{ч} = 20 \text{ м}^3/\text{ч}, \\ t_{\text{ост}} &= 1000 \left( \frac{20^{1/1,6}}{10^{1/1,6}} - 1 \right) \text{ м}^3/\text{ч} = 542 \text{ ч}. \end{aligned}$$

*Пример 2.2.* Определить ресурс ротационного вакуумного насоса доильной установки РВН-40/350, если в интервале наработки 250 ч расход масла составлял, соответственно, 10 и 11 г/ч при нормальном расходе 8 г/ч и предельном – 12 г/ч.

*Решение.* Найдем изменение параметра при первом и повторном изменениях расхода масла:

$$\Delta I_{i-1} = (10 - 8) \text{ г/ч} = 2 \text{ г/ч},$$

$$\Delta I_i = (11 - 8) \text{ г/ч} = 3 \text{ г/ч}.$$

Предельное приращение расхода масла

$$\Delta I_{\text{пр}} = (12 - 8) \text{ г/ч} = 4 \text{ г/ч}.$$

Находим

$$t_{\text{ост}} = \frac{250(4^{1/2} - 3^{1/2})}{3^{1/2} - 2^{1/2}} = \frac{250(2,0 - 1,7)}{1,7 - 1,4} = 250 \text{ ч}.$$

### **2.3. Классификация методов диагностирования 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 используются три группы методов.

*Метод диагностирования по параметрам рабочих процессов.* Техническое состояние устанавливается 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 проводится 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 анализируются 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 относятся 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 используется 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 основывается на объективной оценке геометрических параметров (зазор, свободный ход, смещение и т. д.). Метод применим, когда указанные параметры легкодоступны для непосредственного измерения. Техническое состояние уста-

навливается 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.

#### **2.4. Организация диагностирования 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 применяется 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 применяется при любом методе технического обслуживания, совмещенное – только при тупиковом. Выбор того или иного вида диагностирования в каждом конкретном случае определяется 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 создаются посты и участки диагностирования, организуются звенья диагностирования. Стационарные посты диагностирования организуются на СТОТ, СТОА, СТОЖ в ЦРМ и на ПТО организации.

Стационарные посты по техническому признаку делятся на тупиковые и проездные.

*Классификация средств диагностирования.* 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. Классификация средств диагностирования представлена на рис. 2.5.



Рис. 2.5. Классификация средств диагностирования

Помимо внешних средств диагностирования машин и оборудования в животноводстве, широкое развитие получили встроенные средства «бортового» диагностирования машин (рис. 2.6).

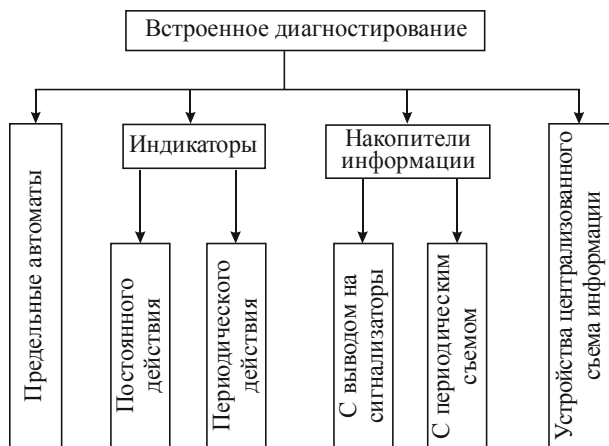


Рис. 2.6. Классификация средств встроенного диагностирования



Под системой технического диагностирования (контроля) в соответствии с ГОСТ 20911–89 понимается совокупность средств, объекта и исполнителей, необходимая 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.

## 2.5. Характерные повреждения 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, ПГС-С1 и пр.). В процессе работы наплавленные ножи самозатачиваются, и их износостойкость выше серийных в 2–2,5 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 добавляются 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 %-й, 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 вакуумпроводе, 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  $Ra = 0,32\text{--}0,63$  мкм. Допустимая неперпендику-

лярность 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 упругости). 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 производится балансировка 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 свойственен движущимся и трущимся деталям оборудования в связи с постоянным воздействием высоких нагрузок. Коррозионному износу, в свою очередь, подвержены статические элементы систем кормления (датчики, сенсоры, пульты 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, нежели 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 температур, приводящее к разрыву системы. Ремонт водопровода осуществляется 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 заболеланий, которые могут привести к их падежу. При групповом содержании в помещении зимой должна поддерживаться температура со значениями 8 °С–15 °С. При индивидуальном содержании эта норма равняется 15 °С–18 °С.

В помещениях где животные содержатся на подстилке, должна поддерживаться температура на уровне значения 18 °С, а без нее – 20 °С–22 °С, так как часть энергии животного тратится на самоогревание организма.

Летом за контроль микроклимата отвечают вентиляторы. Воздухообмен, при котором содержатся животные, зависит от их веса.

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 веса 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. Проблема решается 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 осуществляется собственными силами предприятий и с привлечением сторонних специалистов, в т. ч. 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.

## **2.6. Критерии предельных состояний оборудования 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, принимается разрушение определенной доли поверхности на предельно допустимую глубину.

В качестве критерия отказа принимается возникновение сквозного разрушения стенки аппарата (или покрытия), что соответствует достижению глубины разрушения в одной из точек поверхности стенки аппарата или покрытия.

Выявление дефектов, имеющихся в деталях, производится с целью рассортировки деталей на годные, негодные и требующие ремонта, а также для уточнения объема работ, предусмотренного ремонтной ведомостью.

При дефектации:

– производится внешний (визуальный) осмотр для выявления видимых повреждений (трещин, поломок и т. п.);

– обмеряются рабочие поверхности с помощью измерительного инструмента для установления величины износа и определения пригодности детали к дальнейшей работе;

– контролируется взаимное расположение поверхностей с помощью специальных приборов и инструмента для определения величины возможного изгиба или коробления;

– исследуются детали специальными методами для обнаружения пороков, не видимых глазом, с применением цветной, люминесцентной, магнитной, ультразвуковой, рентгеновской и гаммадефектоскопии и гидравлического испытания.

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

Приготовленный раствор наносится на проверяемую поверхность кистью (либо деталь окунается в раствор) и после 5-, 10-минутной выдержки смывается сильной струей воды. Затем в воде разводится каолин, добавляется сульфанол (10 г/л воды), этим составом покрывается проверяемая поверхность и просушивается теплым воздухом. Точное очертание дефекта появится на каолиновом слое в виде цветного изображения.

При люминесцентной дефектоскопии проверяемая поверхность тщательно очищается и на нее кистью (или деталь окунается в раствор) наносится люминесцирующий раствор, который после 10-, 15-минутной выдержки смывается сильной струей воды. Поверхность просушивается струей теплого воздуха, а затем припудривается порошком силикагеля, который, проникая в дефекты, способствует их свечению под действием ультрафиолетовых лучей в затемненном помещении.

Магнитная дефектоскопия используется 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 применяются сухие порошки окалина  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  или  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , частично восстанавливаемые при температуре  $800^\circ\text{C}$ .

При контроле методом магнитной суспензии порошок наносится на поверхность детали в виде взвеси в дисперсионной среде (вода, масло, керосин или их смеси). При ремонте энергооборудования преимущественно применяется 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 вызываются 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 рентгеновская дефектоскопия применяется 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 проводится на специальных стендах.

## **2.7. Методы прогнозирования остаточного ресурса, основанные на стандартизованных нормах расчета**

В основу методов, изложенных в данном разделе, положены зависимости ресурса оборудования от его наработки, установленные по конкретным видам деградиационных процессов и введенные в государственные стандарты. Для прогнозирования остаточного ресурса оборудования этими методами необходимо установить, что является основной причиной потери работоспособности оборудования, определить фактические, действующие на оборудование нагрузки (спектры нагрузок) и при соответствии условий эксплуатации требованиям стандартов выполнить расчеты по установленным стандартами зависимостям.

### **2.7.1. Методы прогнозирования остаточного ресурса составных частей машин**

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:

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

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  $t > 0,3 T_{cp}$  следующие:

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

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

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:

$$t_{\text{ост}}^{\text{cp}} = t_k \left[ \left( \frac{Y_{\text{п}}}{Y_k} \right)^{1/2} - 1 \right] K_t.$$

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

Точно условный средний остаточный ресурс определяют по формуле:

$$t_{\text{ост}}^{\text{cp}} = \int_0^{\infty} t_{\text{ост}} dQ \left[ \frac{t_{\text{ост}}}{Y(t_k)} = Y_k \right],$$

где  $Q \left[ \frac{t_{\text{ост}}}{Y(t_k)} = Y_k \right]$  – 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  $Q \left[ \frac{t_{\text{ост}}}{Y(t_k)} \right]$ , являющаяся функцией условного распределения остаточного ресурса.

Для практических вычислений рекомендуется рассчитать таблицы и номограммы остаточного ресурса. Пример такой таблицы, где значения остаточного ресурса нормированы в единицах межконтрольной наработки, приведен в ГОСТ 27.302–86, ГОСТ Р 53006–2008 и ОСТ 153-39.4-010–2002.

Необходимую точность оценки рекомендуемый метод обеспечивает в том случае, если изменение параметра технического состояния

к моменту контроля составляет не менее половины предельного отклонения параметра  $Y_{\text{п}}$  и при соблюдении условия  $t_{\text{ост}} < 0,5t_{\text{к}}$ .

При выполнении всех приведенных условий погрешность рекомендуемого метода прогнозирования не превышает 8...9 %.

### **2.7.2. Оценка остаточного ресурса по изменениям контролируемого параметра**

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:

$$Y(t) = C_1 + C_2t,$$

квадратичного изменяемого параметра

$$Y(t) = C_1 + C_2t + C_3t^2$$

и экспоненциального законов изменения показателя назначения

$$Y(t) = \exp(C_1 + C_2t),$$

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

$$t = t_i - t_0, t \geq 0,$$

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

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

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

$$t_c \leq t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_N,$$

$\Delta i$  – 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

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

Число измерений  $N$  выбирают из условия

$$N > 2m,$$

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 рекомендуется 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:

$$\begin{aligned} Y_1 &= \sum Y_i; \quad Y_2 = \sum t_i Y_i; \\ X_1 &= \sum t_i; \quad X_2 = \sum t_i^2; \\ D &= N \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2; \quad D_{22} = \frac{N}{D}; \\ D_{11} &= \sum \frac{t_i}{D}; \quad D_{12} = D_{21} = -\sum \frac{t_i}{D}, \end{aligned}$$

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

3. Вычисляют точечные оценки коэффициентов:

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

4. Вычисляют оценку среднего квадратического отклонения параметра

$$\sigma = \sqrt{\frac{S}{N-2}},$$

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

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

$$\sigma_1 = \sigma \sqrt{D_{11}}; \sigma_2 = \sigma \sqrt{D_{22}}.$$

6. Вычисляют гарантированные оценки коэффициентов:

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

где (+) берется при возрастающем параметре, (-) – при убывающем;

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

где  $\gamma$  – доверительная вероятность.

7. Вычисляют средний (ожидаемый) ресурс

$$T_{\text{ср}} = \frac{Y_{\text{п}} - C_1}{C_2 - t_{\text{к}}},$$

где  $t_{\text{к}}$  – наработка на момент последнего контроля.

8. Вычисляют гарантированный остаточный ресурс

$$T_{\gamma} = \frac{Y_{\text{п}} - C_1}{C_2 - t_{\text{к}}}.$$

### 3. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАТИВНОСТИ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

#### 3.1. Прогнозирование остаточного ресурса при известной наработке 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 (рисунок), где закономерность изменения контролируемого параметра представлена кривой.

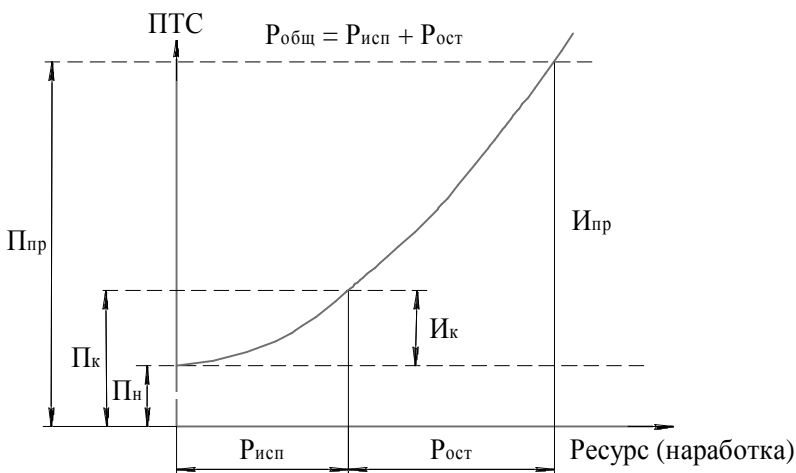


Рис. Схема определения остаточного моторесурса машин и оборудования:

$R_{исп}$  – использованный ресурс к моменту контроля;

$I_{к}$  – изменение значения параметра к моменту контроля (диагностирования);

$I_{пр}$  – предельное изменение значения параметра;  $R_{ост}$  – остаточный ресурс

Изменение значения параметра к моменту контроля или диагностирования можно определить по формуле

$$I_{к} = \Pi_{к} - \Pi_{н},$$

где  $\Pi_{к}$  и  $\Pi_{н}$  – значения параметра к моменту контроля на начало эксплуатации машины.



Предельное изменение значения параметра определяется по формуле:

$$I_{\text{пр}} = \Pi_{\text{пр}} - \Pi_{\text{н}},$$

где  $\Pi_{\text{пр}}$  – предельное значение параметра машины.

Имея все эти данные  $P_{\text{ост}}$  определяют по формуле

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

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. При  $\alpha = 1$  указанная зависимость линейна.

При  $\alpha = 1$  выражение определения  $P_{\text{ост}}$  примет следующий вид:

$$P_{\text{ост}} = P_{\text{исп}} \left( \frac{I_{\text{пр}}}{I_{\text{к}}} \right) - 1.$$

По данным ГОСНИТИ, значения  $\alpha$  находятся в пределах 0,8–2,0. Значения  $\Pi_{\text{пр}}$ ,  $\Pi_{\text{н}}$ ,  $\alpha$  рассчитывают заранее, их заносят в технологию диагностики технического состояния машин для использования при определении  $P_{\text{ост}}$ .

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.

### **3.2. Методика прогнозирования остаточного ресурса при неизвестной наработке от начала эксплуатации**

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 и второй проверок определяется по формуле

$$U_1 = \Pi_1 - \Pi_n \text{ и } U_2 = \Pi_2 - \Pi_n,$$

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

В этом случае остаточный ресурс  $t_{\text{ост}}$  определяется по формуле

$$t_{\text{ост}} = R t_{\text{ост}}^{\text{усл}},$$

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

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

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

Условный остаточный ресурс

$$t_{\text{ост}}^{\text{усл}} = t_m \left( \sqrt[\alpha]{\frac{U_{\text{пр}}}{U_2}} - 1 \right),$$

где  $t_m$  – межконтрольная наработка (за время работы между первой и второй проверками).

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

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 берутся из инструкции по эксплуатации машин.

### **3.3. Методика определения остаточного ресурса при отсутствии данных о наработке с начала эксплуатации до момента диагностирования**

В большинстве случаев у мастера по диагностике нет сведений о наработке с начала эксплуатации диагностируемого оборудования. Прогнозирование технического состояния возможно и в этом случае. Однако необходимо получить информацию о результатах двух последовательных измерений диагностического параметра и наработке между ними. Остаточный ресурс при отсутствии данных о наработке с начала эксплуатации до момента диагностирования проводится по методике, описанной в п. 3.2. Тогда остаточный ресурс можно оценить по следующей формуле:

$$t_{\text{ост}} = R t'_{\text{ост}},$$

где  $R$  – поправочный коэффициент;

$t'_{\text{ост}}$  – условный остаточный ресурс оборудования.

Поправочный коэффициент можно рассчитать по формуле

$$R = \frac{1}{\sqrt[\alpha]{\frac{U''}{U'} - 1}} + 1,$$

где  $U''$  и  $U'$  – изменение параметра оборудования и машины, определенные при первом и втором диагностировании.

$$U' = \Pi' - \Pi_{\text{ном}} \quad \text{и} \quad U'' = \Pi'' - \Pi_{\text{ном}},$$

где  $\Pi'$  и  $\Pi''$  – значения параметра машины и оборудования при первом и втором диагностировании.

Тогда остаточный ресурс можно определить по следующей формуле:

$$t_{\text{ост}} = \tau_{\text{д}} \left( \sqrt[\alpha]{\frac{U_{\text{нп}}}{U''}} - 1 \right),$$

где  $\tau_{\text{д}}$  – наработка машины между проверками.

Таким образом, для определения остаточного ресурса при отсутствии данных о наработке с начала эксплуатации до момента диагностирования необходимо определить изменение параметра машин и оборудования, определенных при диагностировании, а также знать наработку машины между проверками.

### **3.4. Методы прогнозирования остаточного ресурса составных частей машин**

В процессе эксплуатации машин и оборудования в животноводстве техническое состояние их элементов зависит от эксплуатационных, конструктивных и технологических факторов. Предсказать техническое состояние машины можно прогнозированием, на основе которого дается заключение о целесообразности проведения технического воздействия (ремонта, замены, регулировки). Прогнозирование при известных нормативных значениях диагностических параметров решает задачи определения остаточного ресурса и периодичности диагностирования.

После сравнения измеренного значения диагностического параметра с нормативным (предельным или допускаемым) его значением делается заключение об остаточном ресурсе и соответственно о необходимости проведения тех или иных технических воздействий. Когда остаточный ресурс больше предстоящего межконтрольного цикла, то техническое воздействие на диагностируемый элемент не осуществляется. Если остаточный ресурс меньше межконтрольного цикла и диагностический параметр достиг своего допускаемого значения, то осуществляется техническое воздействие.

Метод прогнозирования остаточного ресурса машины или отдельного его элемента применяется при отсутствии информации об изменении параметра в прошлом.

При реализации этого метода используется функция среднего изменения диагностического параметра, ее среднеквадратичное отклонение и средние данные по предельному состоянию, полученные для группы однотипных элементов. Метод имеет большую погрешность в оценке остаточного ресурса отдельных элементов. Метод заключается в предсказании изменения диагностического параметра с учетом его предельного значения и индивидуального изменения в прошлом, а также характера изменения, выявленного для всей совокупности однотипных элементов. При прогнозировании по этому методу принимается, что изменение параметра диагностируемого элемента характеризуется экстраполяционной функцией и среднеквадратичным отклонением этой функции от фактического изменения параметра. Этот метод позволяет получать более достоверный прогноз остаточного ресурса, чем метод прогнозирования по среднему статистическому изменению параметра.

*Прогнозирование остаточного ресурса с помощью математических моделей.* Аппаратный поиск неисправностей необходим не только для устранения отказов, но и для прогнозирования остаточного и прогнозируемого ресурсов. Это одна из важнейших задач, которую приходится решать при переходе на ремонт по техническому состоянию.

Сложность прогнозирования заключается в том, что приходится привлекать математический аппарат, который не всегда дает достаточно точный (однозначный) ответ. Тем не менее, без него обойтись в этом случае нельзя.

Решение задач прогнозирования весьма важно, в частности, для организации планово-предупредительного ремонта объектов по техническому состоянию (вместо обслуживания по срокам или по ресурсу).

Непосредственное перенесение методов решения задач диагностирования на задачи прогнозирования невозможно из-за различия моделей, с которыми приходится работать: при диагностировании моделью является описание оборудования, в то время как при прогнозировании необходима модель процесса совершенствования технических характеристик оборудования во времени. В результате диагностирования каждый раз определяется не более чем одна «точка» указанного процесса совершенствования для текущего момента (интервала) времени. Тем не менее, хорошо организованное

диагностическое обеспечение машины с хранением всех предшествующих результатов диагностирования может дать полезную и объективную информацию, представляющую собой предысторию (динамику) развития процесса изменения технических характеристик машины в прошлом, что может быть использовано для систематической коррекции прогноза и повышения его достоверности.

*Прогнозирование остаточного ресурса методом экспертных оценок.* При расчете остаточного ресурса чаще всего возникают трудности, связанные с отсутствием объективной информации, необходимой для принятия решений по методу экспертных оценок. В большинстве случаев такие решения принимаются на основе учета мнений квалифицированных специалистов (экспертов) путем проведения экспертного опроса. При этом экспертные заключения дает рабочая группа, общее мнение которой формируется в результате дискуссии.

Существует несколько способов экспертной оценки, а именно: непосредственная оценка, ранжирование (ранговая корреляция), попарное сопоставление, балл (балльные оценки) и последовательные сопоставления. Все эти способы отличаются как подходами к постановке вопросов, на которые отвечают эксперты, так и проведением экспериментов и обработкой результатов опроса. Вместе с тем их объединяет общее – знания и опыт специалистов в данной области.

Наиболее простым и объективным способом экспертной оценки является способ непосредственной оценки, который широко применяется для определения остаточного ресурса на основе диагностирования технического состояния оборудования. Достоинства этого способа – высокая точность результатов расчета, а также возможность одновременного прогнозирования ресурса сразу по нескольким типам оборудования.

Для экспертной оценки ресурса оборудования на предприятии создается постоянно действующая рабочая группа, которая разрабатывает необходимую документацию, организует процедуру опроса экспертов, обрабатывает и анализирует полученную информацию.

Руководителем рабочей группы должно быть ответственное лицо, осуществляющее, по мере необходимости, определение остаточного ресурса оборудования и дающее заключение о продолжительности работы без остановки и на капитальный ремонт на определенное время (до очередного текущего ремонта). Он согласовывает с главным инженером (энергетиком) предприятия состав рабочей группы,

составляет программу, принимает участие в опросе экспертов, анализирует предварительные результаты. При наличии на ферме станции технического обслуживания (СТОЖ) руководителем рабочей группы назначается инженер по трудоемким процессам.

В состав рабочей группы помимо непосредственных исполнителей целесообразно включать технических работников обслуживающих ферм, старших механиков, работников, обслуживающих эксплуатируемые на фермах технические средства, стаж которых по эксплуатации и ремонту данного оборудования составляет не менее пяти лет.

В обязанности рабочей группы входит:

- подбор специалистов-экспертов;
- выбор наиболее приемлемого метода экспертных оценок и в соответствии с этим разработка процедуры опроса и составления опросных листов;
- проведение опроса;
- обработка материалов опроса;
- анализ полученной информации;
- синтез объективной и субъективной информации с целью получения оценок, необходимых для принятия решений.

Руководитель рабочей группы перед организацией экспертного опроса должен представить экспертам максимально возможное количество объективных данных по диагностированию всех агрегатов, узлов, соединений и деталей по каждой единице оборудования, имеющихся в распоряжении рабочей группы, паспорта, ремонтные журналы и другую техническую документацию за весь срок службы оборудования.

Путем проведения инструктажа необходимо информировать экспертов об источниках возникновения данного вопроса, путях решения сходных вопросов в прошлом на других предприятиях и оборудовании, т. е. повысить квалификацию (информативность) экспертов в данном вопросе.

При отработке экспертных опросных листов следует особое внимание обратить на правильность задаваемых вопросов. Вопросы должны быть краткими (да, нет), не должны допускать двойного толкования.

Для проведения экспертного опроса подготавливаются специальные опросные листы.

При организации экспертного опроса рабочая группа должна учитывать, что эксперту, как любому человеку, трудно без значи-

тельной ошибки выносить решения в случаях, когда имеются более семи альтернатив, например, назначать вес (значительность) более чем семи свойствам (показателям). Поэтому нельзя представлять экспертам список из нескольких десятков свойств (показателей) и требовать от них назначить веса этим свойствам (показателям).

В тех случаях, когда требуется оценить большое количество свойств (факторов, показателей, параметров), их необходимо предварительно разделить на однородные группы (по функциональному назначению, принадлежности и пр.) так, чтобы число показателей, входящих в однородную группу, не превышало 5–7.

После ознакомления экспертов с состоянием исследуемого вопроса руководитель рабочей группы раздает им опросные листы и пояснительные записки. При этом наиболее авторитетный сотрудник рабочей группы разъясняет экспертам те положения опросного листа, которые недостаточно хорошо ими поняты.

Получив заполненный опросный лист, руководитель рабочей группы при необходимости задает эксперту вопросы для уточнения полученных результатов. Это позволяет выяснить, правильно ли поняты экспертом вопросы опросного листа и действительно ли ответы соответствуют его истинному мнению.

В процессе опроса сотрудники рабочей группы не должны высказывать эксперту свои суждения о его ответах, чтобы не навязывать ему своего мнения. После обработки результатов опроса проводится ознакомление каждого эксперта со значениями оценок, назначенными всеми другими экспертами, входящими в экспертную группу. Каждый эксперт, ознакомившись с анонимными мнениями других экспертов, вновь заполняет опросный лист.

Допускается проведение и открытого обсуждения результатов опроса. Каждый эксперт при этом имеет возможность кратко аргументировать свои суждения и критиковать другие мнения. Для исключения возможного влияния служебного положения на мнение экспертов желательно, чтобы эксперты высказывались в последовательности от младшего к старшему (по служебному положению).

В подавляющем большинстве случаев двух туров опроса бывает вполне достаточно для принятия обоснованного решения. В случаях, когда требуется повысить точность оценок путем увеличения объема статистической выборки (количеством ответов), а также при низкой согласованности мнений экспертов, экспертный опрос может быть проведен в три тура.



Результатом опроса является определение искомого параметра прогнозирования на основе анализа ответов экспертов. Полученный по экспертным оценкам показатель следует рассматривать как случайную величину, отражением которой является индивидуальное мнение эксперта. Когда значение какого-либо показателя неизвестно, относительно него у специалиста-эксперта всегда имеется интуитивная информация.

Естественно, что эта информация в известной мере является неопределенной, и степень неопределенности зависит от уровня знаний и технической эрудиции специалиста-эксперта. Задача рабочей группы заключается в том, чтобы извлечь эту неясную информацию и придать ей математическую форму. После получения ответов от каждого эксперта необходимо проверить степень согласованности мнений экспертов.

### **3.5. Оценка остаточного ресурса по изменениям контролируемого параметра**

Возможность прогнозирования величины остаточного ресурса обеспечивается при одновременном наличии следующих условий:

- на основании обследования известны параметры технического состояния машин и оборудования;

- известны определяющие параметры технического состояния, изменяющиеся соответственно выявленному механизму повреждения элементов машины;

- известны критерии предельного состояния машины, достижение предельных значений которых возможно при развитии выявленных дефектов.

На основе анализа существующих методов в оценке остаточного ресурса машин и оборудования, сложившихся на сегодняшний день, можно выделить несколько направлений.

#### **3.5.1. Оценка остаточного ресурса оборудования, имеющего циклический характер работы**

Основой этого метода принят постулат о базовом числе рабочих циклов оборудования, в рамках которого напряжения в оборудовании не превышают предел выносливости ( $\sigma_R$ ). Метод принят для оценки остаточного ресурса грузоподъемного оборудования, но может

быть применен и для машин и оборудования в животноводстве, имеющих циклический характер работы (смесители кормов).

*Оценка остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве с использованием в расчетах рабочих циклов нагружения.* Основа метода заключается в расчете общего количества рабочих циклов, выполненных оборудованием за весь период эксплуатации машины, и сравнения этой величины с нормативным количеством рабочих циклов согласно паспортным данным рассматриваемой машины.

Для этого в соответствии с ИСО 4301/1–86 определяют класс использования механизма и режим его нагружения.

Класс использования  $U_i$  определяется в зависимости от максимального числа рабочих циклов  $N_{\phi}$ , выполненных машиной за весь период ее эксплуатации.

$$N_{\phi} = C_c D_r Y_k,$$

где  $C_c$  – среднесуточное число циклов работы машины;

$D_r$  – число рабочих дней в году;

$Y_k$  – фактический срок службы машины.

Режим нагружения  $Q_i$  связан с числом загрузки машины кормовыми компонентами определенной массы, выраженной в долях вместимости машины. Он определяется в зависимости от коэффициента распределения нагрузок  $K_p$  для оборудования, рассчитываемого по формуле:

$$K_p = \sum \left[ \left( \frac{P_i}{P_{\max}} \right)^3 \frac{C_i}{C_t} \right],$$

где  $P_i$  – значение масс отдельных компонентов (уровни нагрузок) при типичном применении оборудования, кг;

$P_{\max}$  – масса наибольшего компонента, кг;

$C_i$  – среднее число циклов работы с частным уровнем массы кормовых компонентов,  $C_i = C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ , кг;

$C_t$  – число циклов работы с массой кормовой смеси.

Зная группу классификации (режима) работы машины в целом (берется из паспорта оборудования), имеем максимальное количество

рабочих циклов, которые может выполнить данная машина  $N_n$ . Тогда ресурс рассматриваемой машины по количеству циклов нагружения определяется по формуле

$$N_{\text{ост}} = N_n - N_{\text{ф}}.$$

*Оценка остаточного ресурса машин и оборудования с использованием в расчетах часов наработки.* Суть метода заключается в расчете общего количества часов, отработанных оборудованием за весь период эксплуатации машины, и сравнения этой величины с нормативным количеством часов работы согласно данным производителя о нормативном сроке службы оборудования.

Класс использования  $T_i$  механизма характеризуется предполагаемой общей продолжительностью эксплуатации в часах  $X_{\text{ф}}$ . Максимальную общую продолжительность эксплуатации определяют исходя из предполагаемого среднего суточного времени использования в часах, числа рабочих дней в году и ожидаемого срока службы в годах.

Для классификации установлено под временем работы механизма время, в течение которого данный механизм находился в рабочем процессе.

$$X_{\text{ф}} = Y_n Z_T,$$

где  $Z_T$  – число часов, отработанных оборудованием в году, ч;

$Y_n$  – нормативный срок службы оборудования, ч.

Режим нагружения  $L_i$  связан с числом рабочих циклов оборудования определенной массы, выраженной в долях вместимости оборудования. Он определяется в зависимости от коэффициента распределения нагрузок  $K_m$  и рассчитывается по следующей формуле:

$$K_m = \sum \left[ \left( \frac{P_i}{P_{\text{max}}} \right)^3 \frac{t_i}{t_T} \right],$$

где  $t_i$  – средняя продолжительность использования оборудования при частных уровнях нагрузки –  $P_i$ , ч;

$t_T$  – общая продолжительность при всех частных уровнях нагрузки, ч;

$P_i$  – значение масс отдельных компонентов при применении данного оборудования;

$P_{\max}$  – значение наибольшей нагрузки, приложенной к механизму.

Зная группу классификации машины в целом (берется из паспорта установки), имеем максимальное количество часов наработки, которые может выполнить оборудование ( $X_n$ ). Тогда ресурс машины по количеству часов наработки определится по формуле:

$$X_{\text{ост. норм}} = X_n - X_{\phi},$$

где  $X_n$  – максимальное количество часов наработки, которое может выполнить оборудование, ч;

$X_{\phi}$  – фактическое количество часов наработки данным оборудованием, ч.

### **3.5.2. Оценка остаточного ресурса оборудования по параметрам технического состояния**

Большая часть механических и технологических отказов проявляется постепенно в изменении одного или нескольких параметров. Контролируемыми параметрами могут быть как непосредственно измеряемые величины повреждений (глубина коррозии, износ детали), так и рабочие параметры оборудования (производительность, скорость, давление) и другие эксплуатационные показатели, параметры вибрации, шума и т. д.

В соответствии с ГОСТ 27.002–89 отказом оборудования считается нарушение его работоспособного состояния. Остаточным ресурсом называют запас возможной наработки оборудования от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние, в течение которого обеспечивается соответствие, требованиям НТД всех его основных технико-эксплуатационных показателей и показателей безопасности.

*Оценка остаточного ресурса оборудования по параметрам коррозии.* Данный метод оценки удобно применять к оборудованию для уборки и утилизации навоза, так как оно работает в условиях коррозионной среды или подвергается абразивному износу. Поскольку различные участки поверхности металла при эксплуатации могут подвергаться различной интенсивности коррозии (износа),

то полученные данные необходимо проверить на однородность. Для этого последовательно проверяют выборки на однородность по критерию Стьюдента.

Коэффициент вариации глубины коррозии по поверхности определяют по формуле

$$v = \frac{\sigma}{h},$$

где  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение контролируемого параметра;

$h$  – средняя глубина коррозии, мм.

Величина коэффициента вариации  $v$  ориентировочно может быть выбрана:

- при малой неравномерности коррозии (износа)  $v \leq 0,2$ ;
- при значительной коррозии  $v = 0,3-0,5$ ;
- при сильной коррозии  $v > 0,5$ .

Доверительную вероятность  $\gamma$  выбирают не менее 0,90, максимальную допустимую относительную ошибку  $\Delta - 0,10$ .

По известному значению  $v$  по справочнику выбирают значения параметров распределения Вейбулла  $b$  и  $K_b$ .

По средней глубине коррозии (износа) определяют значение параметра масштаба

$$a = \frac{h}{K_b}.$$

Максимальную вероятную глубину коррозии (износа) на всей поверхности, подлежащей обследованию, определяют расчетом по формуле

$$h_{\max} = a \left[ -\ln \left( -\ln \left( \frac{\gamma}{F/F_0} \right) \right) \right]^{\frac{1}{b}},$$

где  $\gamma$  – требуемая достоверность оценки;

$F$  – площадь поверхности, подлежащая обследованию, м<sup>2</sup>;

$F_0$  – площадь поверхности, приходящаяся на одно измерение, м<sup>2</sup>.

Прогнозирование остаточного срока службы оборудования вычисляют на основании расчета остаточного срока службы основных его элементов и определения минимального значения этой величины:

$$T = \min T^i.$$

Остаточный срок службы детали оборудования оценивают по формуле

$$T_i = \frac{(\bar{\delta}^i - [\delta]_m^i)}{\bar{C}^i},$$

где  $\bar{\delta}^i$  – средняя толщина  $i$ -го элемента, мм;

$[\delta]_m^i$  – минимально допустимая толщина  $i$ -го элемента, мм;

$\bar{C}^i$  – средняя скорость коррозии (износа)  $i$ -го элемента, мм/год;

$$\bar{C}^i = \frac{h_i}{T_1},$$

где  $h_i$  – средняя глубина коррозии (износа)  $i$ -го элемента, мм;

$T_1$  – время эксплуатации оборудования, лет.

Скорость коррозии (износа) детали может значительно отличаться от средней величины. Тогда с учетом разброса:

$$C_{\min}^i = C_i (1 \pm \alpha),$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий разброс скоростей коррозии (износа).

При  $\nu = 0,2$  получают  $\alpha = 0,88$ , при  $\nu = 0,5$   $\alpha = 0,575$ , при  $\nu = 0$   $\alpha = 1$ .

Максимальную скорость коррозии (износа) можно определить из зависимости:

$$C_{\max}^i = 2C^i.$$

Минимальная допустимая толщина деталей оборудования  $[\delta]_{\min}^i$  принимается с учетом показателей прочности и устойчивости.

Тогда остаточный срок оборудования по критерию повреждений, связанных с коррозией и износом, определяется по формуле

$$T_r^i = \frac{\delta_{\min}^i - [\delta]_{\min}^i}{C_{\max}^i}.$$

*Оценка остаточного ресурса оборудования по параметрам повреждаемости.* Данный метод используется в случаях, когда спрогнозировать остаточный ресурс по одному из деградационных процессов (сплошной коррозии, изнашиванию, ползучести) не представляется возможным. Данный метод предполагает укрупненную дефектовку узлов оборудования, подвергаемого диагностированию методами разрушающего и неразрушающего контроля с последующей экспертной оценкой их состояния.

Общая оценка поврежденности конструкций оборудования производится по формуле

$$\varepsilon = \frac{\alpha_1 p_1 K_{д1} + \alpha_2 p_2 K_{д2} + \dots + \alpha_i p_i K_{ди}}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i},$$

где  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i$  – коэффициенты «весомости» отдельных узлов оборудования;

$p_1, p_2, \dots, p_i$  – максимальные величины износа отдельных узлов оборудования, мм;

$K_{д1}, K_{д2}, \dots, K_{ди}$  – коэффициенты долговечности детали (узла) оборудования.

Частные величины износа  $P_i$  для разных деталей (узлов) оборудования определяются по формуле

$$P_i = \frac{\sum \gamma_i p_i}{100},$$

где  $\gamma_i$  – удельный вес детали (узла) в изделии, %;

$p_i$  – износ детали (узла), %.

Частные коэффициенты долговечности для разных узлов оборудования определяются по формуле

$$K_d = \frac{a}{a + Q_{\text{реал. норм}} N_{\text{ср}}},$$

где  $a$  – количество одноименных элементов в оборудовании;

$Q_{\text{реал. норм}}$  – количество реально выполненного оборудованием объема работ за нормативный срок эксплуатации (масса утилизированного (переработанного) навоза, перевезенного груза, объем перемещенного груза и т. п.);

$N_{\text{ср}}$  – средняя норма смены элементов.

Относительная оценка поврежденности оборудования производится по формуле

$$\gamma = 1 - \varepsilon.$$

Постоянная износа определяется по данным обследования:

$$\lambda = \frac{-\ln \gamma}{t_{\text{ф}}},$$

где  $t_{\text{ф}}$  – срок службы на момент проведения экспертизы, год.

Срок службы оборудования определяется (в годах) по формуле

$$T_{\text{остат. норм}} = \frac{K_{\text{бр}}}{\lambda},$$

где  $K_{\text{бр}}$  – коэффициент вероятности безаварийной работы.

Окончательно остаточный ресурс оборудования (лет) по параметрам повреждаемости будет равен:

$$T_{\text{ост}} = (T_{\text{ост. норм}} - T_{\text{пост. норм}}) K_{\text{восст}},$$

где  $T_{\text{пост. норм}}$  – количество времени, которое оборудование отработало по истечению нормативного срока службы, лет;

$K_{\text{восст}}$  – коэффициент восстановления оборудования вследствие ремонтов. Определяется в процессе экспертного обследования по фактическому состоянию оборудования,  $K_{\text{восст}} = 1,0-2,0$ .



### 3.5.3. Оценка остаточного ресурса оборудования по параметрам производительности

Данный метод подходит для оборудования с известными, паспортными, характеристиками производительности. Данные производительности того или иного вида оборудования берутся из его паспорта или по данным завода-изготовителя оборудования. При расчете остаточного ресурса по параметрам производительности принимается, что в период нормативного срока эксплуатации оборудование работало с примерно одинаковой производительностью, не превышающей паспортные данные. Обслуживание оборудования производилось своевременно согласно рекомендациям «Руководства по эксплуатации».

Вначале рассчитывается проектное (паспортное) количество реально выполненного оборудованием объема работ за год ( $Q_{\text{пр./год}}$ ), исходя из  $t$  часовой смены эксплуатации (масса смешанного корма, измельченного корма, объем перемещенного материала и т. п.).

$$Q_{\text{пр./год}} = \frac{Q_{\text{пр./смену}} T_{\text{час/году}}}{t_{\text{смены}}}.$$

Далее рассчитывается количество реально выполненного оборудованием объема работ ( $Q_{\text{пр./норм}}$ ) за нормативный срок эксплуатации оборудования ( $T_{\text{норм}}$ ).

$$Q_{\text{пр./норм}} = Q_{\text{пр./год}} T_{\text{норм}}.$$

Количество объема работ, не использованное оборудованием за нормативный срок эксплуатации:

$$Q_{\text{ост./норм}} = Q_{\text{пр./норм}} - Q_{\text{реал./норм}}.$$

Для расчета остаточного ресурса вычисляем отношение между не использованным оборудованием объемом работ и реальным объемом, выполненным оборудованием за год.

$$T_{\text{ост./норм}} = \frac{Q_{\text{ост./норм}}}{Q_{\text{пр./год}}}.$$

Окончательно остаточный ресурс будет равен:

$$T_{\text{ост}} = (T_{\text{ост.норм}} - T_{\text{пост.норм}}) K_{\text{восст}},$$

где  $T_{\text{пост. норм}}$  – количество времени, которое оборудование отработало по истечению нормативного срока службы.

### **3.5.4. Оценка остаточного ресурса оборудования по параметрам наработки**

Это наиболее простой метод оценки остаточного ресурса, который возможно применять для оборудования животноводческих ферм непрерывного действия (запарники кормов, доильные установки, пастеризаторы молока и др.). Он основывается на допущении, что такое оборудование должно эксплуатироваться непрерывно весь нормативный срок эксплуатации согласно рекомендациям «Руководства по эксплуатации» и других документов на предприятии, регламентирующих порядок обслуживания и ремонта данного оборудования.

Исходя из опыта экспертного обследования достаточно большого числа различного оборудования, эксплуатируемого на животноводческих фермах и комплексах, можно сделать достаточно уверенный вывод о том, что оборудование используется на предприятиях не с полной нагрузкой и не используется определенное количество времени. Сравнивая время наработки оборудования за нормативный срок эксплуатации, согласно условиям непрерывной работы – наибольшее проектное число рабочих часов ( $T_{\text{макс. пр.}}$ ) и количество фактически отработанных часов ( $T_{\text{факт}}$ ), – получаем время, при котором оборудование не использовалось ( $T_{\text{остат}}$ ).

Проектное число рабочих часов определяется по формуле

$$T_{\text{пр}} = C_c D_r Y_k,$$

где  $C_c$  – количество часов в сутках, ч;

$D_r$  – количество рабочих дней в году, дн.;

$Y_k$  – нормативный срок службы оборудования, лет.

Максимально возможное нормативное число рабочих часов с учетом выполненных восстановительных ремонтов и режимов работы

$$T_{\text{макс.пр}} = \frac{T_{\text{пр}} K_{\text{восст}} P_{\text{пасп}}}{P_{\text{факт}}},$$

где  $K_{\text{восст}}$  – коэффициент восстановления оборудования вследствие ремонтов. Определяется в процессе экспертного обследования по фактическому состоянию оборудования,  $K_{\text{восст}} = 1,0-2,0$ .

$P_{\text{пасп}}$  – наибольший паспортный параметр оборудования, характеризующий его рабочий процесс (скорость, давление, температура и т. п.);

$P_{\text{факт}}$  – наибольший фактический параметр оборудования, характеризующий его рабочий процесс (скорость, давление, температура и т. п.).

Количество фактически отработанных часов компрессора с учетом коэффициента использования

$$T_{\text{факт}} = T_{\text{макс.пр}} K_{\text{исп}} Y_{\text{факт}},$$

где  $K_{\text{исп}}$  – коэффициент использования оборудования;

$Y_{\text{факт}}$  – фактический срок службы оборудования.

Количество часов, которые не использованы оборудованием, определяется по формуле

$$T_{\text{ост./норм}} = T_{\text{макс.пр}} - T_{\text{факт}}.$$

Остаточный ресурс определяется как отношение между неиспользованным количеством часов и количеством часов работы оборудования за год.

$$T_{\text{ост}} = \frac{T_{\text{ост./норм}}}{T_{\text{год}}}.$$

### 3.6. Прогнозирование надежности оборудования

Надежность и эффективность работы машин и оборудования в животноводстве обеспечиваются высоким уровнем организации их использования, технического обслуживания, ремонта и хранения. Основой организации технической эксплуатации является планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта,

включающая планирование, подготовку и проведение соответствующих видов работ согласно нормативно-технической документации.

Планово-предупредительная система технического обслуживания предусматривает хорошо организованный учет работы всего оборудования фермы, создание обменного фонда узлов и агрегатов, запас необходимых материалов и запасных частей, совершенствование оснастки рабочих мест для выполнения операций технического обслуживания.

Плановой система называется потому, что все виды обслуживания и ремонта машин проводят по заранее разработанному плану-графику через установленные календарные сроки или через определенную наработку машин и оборудования в часах.

Система носит предупредительный характер, так как она предусматривает регламентированную периодичность и обязательный состав операций, предупреждающих возникновение аварийных износостов и поломок машин.

Машины и оборудование с неисправными сборочными единицами и деталями, приводящими к нарушению режима содержания и обслуживания животных и птиц, правил техники безопасности и охраны труда, уменьшению межремонтного срока, а также не прошедшие очередное техническое обслуживание, к эксплуатации не допускаются.

Планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта машин и оборудования в животноводстве включает: ежедневное (ежесменное) техническое обслуживание (ЕТО); периодические технические обслуживания № 1 и № 2 (ТО-1, ТО-2); технический осмотр; диагностику; текущий ремонт; техническое обслуживание при хранении.

Ежесменное техническое обслуживание заключается в наружной очистке и мойке машин и оборудования, проверке и затяжке креплений, смазке подвижных соединений, проверке работы, контроле уровня и дозаправке масла в масляных ваннах, контроле состояния и настройке рабочих органов, промывке и дезинфекции доильных аппаратов, молокопроводов и другого молочного оборудования. ЕТО проводят перед началом работы, в перерывах и после окончания работы операторами ПТЛ, а также слесарями ферм.

Периодическое техническое обслуживание ТО-1 предусмотрено проводить один раз в месяц при наработке 120–240 ч. Оно включает

операции ЕТО и дополнительное проведение моечных, контрольно-диагностических, смазочных, крепежных, регулировочных и покрасочных работ, замену масел, изношенных деталей, устранение неисправностей, а также выполнение операций по переводу машин и оборудования на сезонный период работы.

Периодическое техническое обслуживание ТО-2 проводится для сложных машин, как правило, один или два раза в год при наработке 720–1440 ч. Включает операции ЕТО, ТО-1 и, кроме того, полную разборку, очистку и промывку деталей, замену масла в корпусах подшипников и редукторах, замену изношенных деталей, регулировку рабочих органов, восстановление поврежденной окраски.

Технический осмотр проводится 1–2 раза в год в зависимости от характера использования и загрузки техники, а также особенностей технологии содержания животных и птиц (при переводе с осенне-зимнего содержания на весенне-летнее и наоборот). Технический осмотр заключается в определении технического состояния и комплектности машин и оборудования, находящихся в эксплуатации, остаточного ресурса их узлов и деталей с применением контрольно-диагностических приборов и приспособлений.

Текущий ремонт включает контрольно-диагностические, разборочно-моечные, слесарные, станочные, кузнечные, сварочные, жестяничные, сборочные, регулировочные, покрасочные, обкаточные и другие работы. Объем ремонтных работ определяется в зависимости от технического состояния машин, установленного по результатам осмотров и дефектации. Основным методом текущего ремонта является агрегатный, заключающийся в замене утративших работоспособность или исчерпавших ресурс сборочных единиц и деталей новыми или заранее отремонтированными из обменного фонда. Текущий ремонт машин производят, как правило, на месте их установки, узлов и агрегатов, в зависимости от сложности, – на пунктах технического обслуживания комплексов (ПТО), в ремонтных мастерских хозяйств и на специализированных предприятиях. Ремонтные работы выполняют бригады (звенья) хозяйств или организации районного сервиса в соответствии с договорами.

Техническое обслуживание при хранении машин и оборудования включает мойку, очистку, окраску, консервацию, контроль и техническое обслуживание в процессе хранения, расконсервацию и подготовку к эксплуатации. Основным документом является

ГОСТ 7751–79 «Техника, используемая в сельском хозяйстве, правила хранения».

В животноводстве сложились следующие формы организации специализированного технического обслуживания: обслуживание инженерно-технической службой хозяйств, обслуживание службой хозяйств с участием специализированных предприятий агропромышленности, а также комплексное техническое обслуживание.

Первая форма – обслуживание животноводческой техники инженерно-технической службой хозяйств – применяется, как правило, на крупных животноводческих фермах, имеющих хорошую материально-техническую базу и соответствующий штат высококвалифицированных специалистов. На фермах создают посты ЕТО, общехозяйственный пункт технического обслуживания (ПТО) фермерских машин, склад фонда агрегатов и запасных частей, а также используют центральную ремонтную мастерскую (ЦРМ) и передвижные мастерские на базе автомобилей.

Операции ЕТО выполняют операторы ПТЛ и слесари ферм. Операции ТО-1 и ТО-2 выполняет разъездное звено мастеров-наладчиков, монтаж и ремонт машин – специальная бригада. В хозяйстве создают службу по монтажу и техническому обслуживанию электрооборудования и холодильных установок.

Посты ЕТО оснащают необходимым оборудованием для проведения операций ЕТО, работ по устранению отказов машин, возникающих в процессе их эксплуатации. Пост снабжают необходимой технической документацией: графиком проведения ТО-1 и ТО-2, перечнем проводимых операций ЕТО машин, схемой маршрута последовательности проверки и технического обслуживания машин. Пост является рабочим местом слесарей фермы. В зависимости от размера фермы площадь его может быть от 20 до 54 м<sup>2</sup>.

Общехозяйственный ПТО и ремонта, являющийся материальной базой звеньев мастеров-наладчиков, создают, как правило, при ЦРМ. На нем проводят текущий ремонт вакуумных насосов и других съемных сборочных единиц, ежемесячное техническое обслуживание доильных аппаратов. ПТО укомплектован необходимым слесарным оборудованием и инструментом, а также необходимой нормативно-технической документацией. Площадь помещения пункта составляет 50–70 м<sup>2</sup>. Руководит работой ПТО инженер по механизации животноводства.

Вторая форма организации технического обслуживания силами хозяйств с участием организации районного сервиса получила широкое распространение. Более 80 % хозяйств организовали обслуживание фермского оборудования на условиях договоров с организацией районного сервиса. Операции ЕТО проводят механизаторы, работающие на машинах, операторы ПТЛ и слесари ферм. Они же проводят периодические ТО-1 несложных машин. ТО-1 и ТО-2 сложных машин (холодильные установки, доильные установки и пр.) проводят по графику выездные звенья слесарей-наладчиков организации районного сервиса.

По данным П. А. Андреева, примерно 60 %–70 % работ выездные звенья выполняют непосредственно на фермах, 30 %–40 % – на станции технического обслуживания.

Третья форма – комплексное обслуживание. При этом ЕТО, как и в первых двух формах, проводят механизаторы, операторы ПТЛ и слесари ферм. Периодические технические обслуживания всех машин и оборудования на ферме в соответствии с договорами полностью выполняет специализированное предприятие районного сервиса силами выездных звеньев (бригад) слесарей-наладчиков.

Для этого при организации районного сервиса создано специализированное предприятие – линейно-монтажный участок (ЛМУ) со станцией технического обслуживания (СТОЖ).

ЛМУ организует периодические технические обслуживания всех машин, текущий ремонт, также устраняют возникшие отказы в течение рабочего дня на животноводческих предприятиях в следующие сроки с момента принятия вызова из хозяйства независимо от причин возникновения и виновности сторон:

- оборудование для доения и первичной обработки молока – в течение 3 ч;
- оборудование вентиляции и отопления помещений для содержания свиней и крупного рогатого скота – в течение 6 ч;
- оборудование для инкубации и вентиляции помещений птицефабрик – в течение 2 ч;
- оборудование для удаления навоза животных – в течение 8 ч.

Высокая эффективность рассмотренной формы обусловлена наличием плановой основы выполнения работ, специализированных баз, специализации труда производственных рабочих, квалифицированных специалистов, вооруженных новейшими техническими средствами диагностики, приборами и оборудованием.

## 4. ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ПОВРЕЖДЕНИЙ

### 4.1. Оценка предельных размеров повреждений статистическими методами

*Сбор информации об отказе элементов технических систем.*  
В общем комплексе мероприятий по обеспечению надежности любого изделия сбор статистической информации об отказах и оценка показателей надежности в условиях эксплуатации являются последним, заключительным этапом. При этом появляется возможность оценить реальные значения показателей надежности и, следовательно, оценить эффективность мероприятий по обеспечению надежности на всех этапах – проектирование, производство, испытания, монтаж, эксплуатация. По результатам оценки реальных значений показателей надежности потребитель имеет возможность предъявлять претензии поставщику, что является важным средством «внешнего» контроля и корректировки конструкции, технологического процесса и правил эксплуатации. Поэтому особое значение приобретает вопрос качества получаемых в эксплуатации оценок показателей надежности.

Качество получаемых оценок, в свою очередь, зависит от того, насколько тщательно организован сбор информации, насколько обеспечены полнота и достоверность информации о наработке и отказах изделия и насколько адекватны и корректны методы ее обработки. Посредством сбора и обработки информации о надежности изделий промышленности и объектов решаются следующие задачи:

- определение (контроль) количественных показателей надежности;
- определение причин отказов;
- выявление деталей, сборочных единиц и комплектующих, которые лимитируют надежность изделия;
- накопление данных для прогнозирования надежности вновь создаваемых и находящихся в эксплуатации элементов, изделий и систем;
- установление и корректировка нормируемых показателей надежности;
- оптимизация норм расхода запасных частей и системы технического обслуживания и ремонта;



– выявление условий и режимов эксплуатации, влияющих на надежность;

– определение экономической эффективности повышения надежности.

Сбор информации может быть организован в форме постоянных наблюдений (сплошных или выборочных) или периодами отделенной длительности. Целесообразность использования того или иного источника информации или варианта наблюдения определяется конкретными целями анализа и требованиями к полноте и достоверности получаемой информации с учетом ограничений технического и экономического характера. Например, длительные постоянные наблюдения в подконтрольной эксплуатации позволяют обеспечить высокое качество информации и получить исходные данные для решения всего комплекса перечисленных задач. Однако организация таких наблюдений является трудоемким и дорогостоящим мероприятием, поэтому часто информация о надежности изделий серийного производства собирается с начала их эксплуатации потребителем. Для оценки надежности изделий, имеющих большой срок службы и выпускаемых малыми сериями или уникальных, допускается начать сбор информации с очередного капитального ремонта или профилактического осмотра. При организации сбора информации о надежности, как правило, разрабатываются:

– техническое задание;

– программа наблюдений;

– инструкция по проведению работ на предприятиях, охватываемых системой сбора информации;

– методики анализа и обработки информации.

Попытки увеличить объем информации за счет расширения парка наблюдаемых изделий или объектов сопряжены с опасностью уменьшения достоверности информации. Достоверность первичной информации обеспечивается полнотой и непрерывностью записей, глубиной и объективностью анализа причин отказов. Важно иметь в виду, что недостоверные первичные данные невозможно улучшить никакой, даже самой тщательной статистической обработкой.

*Состав информации.* Возможности объективного анализа и обработки статистической информации о надежности существенно зависят от полноты сведений о каждом отказе (повреждении). В каждом конкретном случае состав фиксируемой информации определяется теми задачами, которые предстоит решить. В общем

случае для решения задач необходимо при каждом нарушении работоспособности (функционирования) фиксировать:

- общую наработку и наработку от предыдущего отказа;
- внешние признаки и степень влияния отказа на работоспособность объекта или системы;
- условия среды в момент отказа;
- причину отказа (предполагаемую причину);
- «адресную» информацию;
- данные об оперативности переключения резерва;
- способ и время устранения отказа.

В зависимости от целей анализа объем и характер фиксируемой информации могут изменяться. Если оценке подлежат только показатели ремонтпригодности оборудования – свойства, заключающиеся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, устранению их последствий путем проведения технического обслуживания и ремонта, то можно ограничиться только информацией о способах и времени восстановления. Если кроме них оценке подлежат и показатели долговечности, то необходимо дополнительно фиксировать и характер отказа (например, ресурсный отказ). Естественно, что работы по сбору информации о надежности невозможны без четко установленных критериев (признаков) отказов и предельных состояний применительно к каждому типу оборудования (сборочной единицы узла, детали, объекта, системы). Для повышения достоверности информации (выявления ошибок и искажений в записях) рекомендуется предусматривать некоторую избыточность (дублирование) информации в документах первичного учета.

Формы документов – носители информации о надежности изделий – должны быть по возможности универсальными и соответствовать действующей нормативно-технической документации.

Все формы подразделяются на первичные формы учета; формы-накопители; формы записи результатов количественного и качественного анализа.

Например: паспорт оборудования; журнал учета наработок, повреждений и отказов; журнал технического обслуживания и ремонтов; разовые документы по эксплуатации элементов, изделий, агрегатов, систем. Все виды форм должны предусматривать возможность их обработки на ЭВМ.

Существующими стандартами устанавливается форма рапорта об отказе, которая содержит *адресную информацию*: наименование, марку, тип, номер изделия; сведения о предприятии-изготовителе и ремонтном предприятии, дате выпуска, дате ремонта, дате отказа; *адресные данные* отказавших узлов и деталей. *Технико-экономические данные*: сведения о наработке, внешних проявлениях и характере отказа, условиях его выявления, технико-экономических последствиях, условиях эксплуатации и режимах работы, длительности восстановления работоспособности, физической трудоемкости восстановления, исполнителях работ по восстановлению. Информация об отказах, проведении ремонтно-восстановительных и плановых ремонтов электроэнергетического оборудования служит не только для оценки надежности, но и для изучения причин отказов, разработки мероприятий, направленных на повышение качества проектирования, изготовления, монтажа, ремонта и эксплуатации. Для получения наиболее представительных оценок необходимо объединять данные целого ряда различных объектов. Допустимость такого объединения основывается на проверке гипотезы однородности статистического материала. С помощью математической статистики определяется также необходимый объем испытаний для оценки надежности с заданной точностью и проверяется влияние на надежность различных факторов (дисперсионный анализ) и взаимное влияние случайных параметров друг на друга (корреляционный анализ). Наконец, математическая статистика позволяет планировать испытания и исследования так, чтобы получить максимальную информацию при минимальных затратах (теория экстремальных экспериментов).

*Порядок обработки информации.* Собранная в результате наблюдений информация представляет собой совокупность ситуаций очень разнородных по характеру, причинам возникновения, влиянию на работоспособность оборудования и систем. Поэтому обработка результатов наблюдений в качестве первого обязательного этапа должна включать качественный анализ информации (уточнение или отсеивание сомнительных данных, классификация, объединение данных по однотипному оборудованию и т. п.). В зависимости от целей анализа классификация информации может быть проведена по разным признакам: степени влияния отказа на работоспособность объекта или системы, месту, причинам, отношению к оцениваемым показателям надежности и т. д. Например, по степени влияния

на работоспособность могут быть выделены существенные и несущественные отказы, полные и частичные отказы, повреждения, сбои и т. д.

Классификация отказов по причинам определяется тем, к какому этапу жизненного цикла изделия, объекта или системы относится ошибка или недоработка, ставшая причиной отказа (конструктивная, технологическая, производственная, эксплуатационная). При классификации могут быть выделены отказы, учитываемые и не учитываемые при оценке того или иного показателя надежности. Если в задачу наблюдений входит оценка показателей надежности, то результаты наблюдений, подлежат дальнейшей статистической обработке. Статистическая обработка сводится к оценке точечных и интервальных значений показателей надежности или оценке параметров функции распределения случайных величин, определяющих показатели надежности, т. е. традиционной задаче математической статистики.

Для этапа статистической обработки несущественно, какое из свойств исследуется – безотказность, долговечность, ремонтпригодность; какими единицами измеряется наработка изделий – количеством часов, циклов работы, мерами объема (жидкости, навоза) и т. п. Наиболее важными для этапа статистической обработки являются такие факторы, как тип оцениваемого показателя надежности, объем априорных сведений о наблюдаемой случайной величине и характер статистического материала. Приступая к статистической обработке информации о надежности, рекомендуется уделить особое внимание однородности выборки. С точки зрения методов математической статистики, независимо от того, какое из свойств, определяющих надежность, исследуется, все многообразие показателей сводится к показателям двух типов: тип наработки и тип вероятности.

При определении показателя типа наработки непосредственно наблюдаемыми величинами являются случайные интервалы:

- наработки между отказами;
- наработки до предельного состояния;
- время восстановления;
- время хранения и т. п.

При определении показателей типа вероятности (в общем количестве наблюдений фиксированного объема) непосредственно наблюдаемыми величинами являются случайные числа событий:

- число отказов;
- число восстановлений;
- число предельных состояний и т. д.

С точки зрения объема априорных сведений, задачи статистической обработки сводятся к двум вариантам.

1. Вид функции распределения наблюдаемой случайной величины известен априори. В этом случае задача статистической обработки – получение оценок показателей надежности с учетом вида функции распределения и характера имеющегося статистического материала.

2. Вид функции распределения наблюдаемой случайной величины неизвестен или известен лишь предположительно. В этом случае принимается некоторая гипотеза о виде функции распределения, и оцениваются ее параметры.

Затем проводится проверка: не противоречат ли данные наблюдений принятой гипотезе. При положительных результатах этой проверки приступают к заключительному этапу обработки. В такой постановке процесс статистической обработки более трудоемок и состоит из следующих этапов:

- построение вариационного ряда;
- построение гистограммы; принятие гипотезы о виде закона распределения;
- оценка точечных значений параметров для принятия функции распределения;
- проверка непротиворечивости результатов наблюдений принятой гипотезе;
- оценка интервальных значений параметров функций распределения и показателей надежности (при положительных результатах предыдущего этапа).

В случае отрицательного результата процедуры проверки гипотезы процесс статистической обработки повторяется, начиная с этапа принятия гипотезы, при другом предположении о виде функции распределения. Одной из особенностей информации в энергетике является то, что результаты наблюдений представляют собой, как правило, выборки, многократно усеченные, т. е. содержат, кроме наработок до отказа, и безотказные наработки (от начала наблюдений или от последнего восстановления до прекращения наблюдения).

Характер статистического материала определяется в основном следующими факторами:

- порядком начала и прекращения наблюдений;
- порядком ремонта (замены) отказавшего элемента;

– порядком контроля функционирования объекта или системы в условиях эксплуатации.

В зависимости от назначения объекта и конкретных условий его эксплуатации перечисленные факторы могут реализовываться в различных вариантах. В частности, контроль функционирования может быть непрерывным, периодическим либо только перед началом и по окончании выполнения некоторого фиксированного задания (объема работы). Предусматриваются либо восстановления (замена) отказавших изделий непосредственно после отказов, либо эксплуатация без восстановления отказавших элементов до прекращения наблюдений. Может быть организовано одновременное начало наблюдений для всей совокупности объектов АПК в животноводстве, начало и прекращение наблюдений для отдельных элементов в разное время.

Наблюдения могут быть организованы до отказа всех элементов, части элементов либо до истечения фиксированного времени (наработки). Однако в результате наблюдений (испытаний) получают лишь три типа реализаций.

1. Полные реализации – наработки до отказа (между отказами или до предельного состояния) или отрезки времени от начала до окончания восстановления (или время хранения до отказа).

2. Неполные реализации – безотказные наработки как результат прекращения наблюдений до наступления отказа (цензурирование).

3. Условные реализации – наработки на момент контроля, при котором обнаружен отказ (получаются в условиях, когда нет непрерывного контроля функционирования и момент отказа неизвестен).

Вопросы организации наблюдений, инженерной и статистической обработки информации при оценках показателей надежности являются универсальными. Они одинаково применимы к объектам разных отраслей промышленности, в том числе и энергетики, составным частям и элементам оборудования, приборам и комплектующим изделиям. Основными специфическими особенностями являются:

- четкое определение объекта исследования;
- формулировка критериев отказов (критического, существенного, несущественного, полного, частичного и т. п.).

При определении объекта исследования и формулировке критериев отказа можно отразить наличие или влияние человека-оператора.

## **4.2. Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по развитию коррозионных повреждений**

Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по развитию коррозионных повреждений заключается в проведении периодических обследований оборудования, при которых должны быть проведены измерения в точках, равномерно распределенных по поверхности максимальной глубины коррозии. По результатам замеров выполняется расчет скорости коррозии.

Данная методика может быть рекомендована для оценки остаточного ресурса больших поверхностей оборудования, находящихся в одинаковых условиях эксплуатации и образования коррозии. Если невозможно измерить глубину коррозии на всех участках обследуемой поверхности, то измерения осуществляют выборочно. Для участков поверхности, существенно отличающихся по условиям эксплуатации и образования коррозии (местные перегревы, повышенные скорости технологической среды и т. п.), применение данного метода нецелесообразно, так как неравномерность коррозии и ее глубина будут зависеть от различий этих условий.

До последнего времени для оценки реальной остаточной прочности объектов с коррозионными язвенными дефектами использовались гидравлические испытания. Возникают дополнительные сложности из-за необходимости использования огромного количества воды для испытаний (например, при заполнении магистральных трубопроводов и навозохранилищ) и негативных экологических последствий при сбросе загрязненной воды в окружающую среду.

Гидравлические испытания наносят вред изделию, увеличивая размеры имеющихся микротрещин и снижая рабочий ресурс. Удаление дефектов в трубопроводах смесителей кормов, доильных установок и прочего путем вырезки в настоящее время неприемлемо. Это обусловлено тем, что в результате своевременной диагностики количество выявляемых дефектов неизмеримо возросло, при этом далеко не все из них представляют реальную угрозу и их удаление или ремонт не являются обязательными.

Исходя из этих параметров рассчитывается критическое сочетание длины и глубины дефекта, которое может привести к разрушению. При большей длине вдоль оси трубопровода критический дефект будет иметь меньшую глубину и наоборот (рис. 4.1).

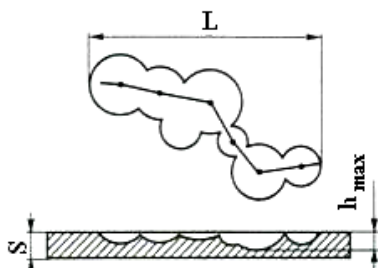


Рис. 4.1. Схема коррозионного повреждения:  
 $L$  – длина стенки;  $h_{\max}$  – глубина повреждения стенки;  $S$  – толщина стенки

На этой основе, зная  $t_{\min}$ , можно построить график (рис. 4.2), определяющий по сочетанию длины  $L$  и глубины  $h_{\max}$  при толщине стенки  $S$  критические язвенные дефекты, представляющие реальную опасность для данного трубопровода в установке.

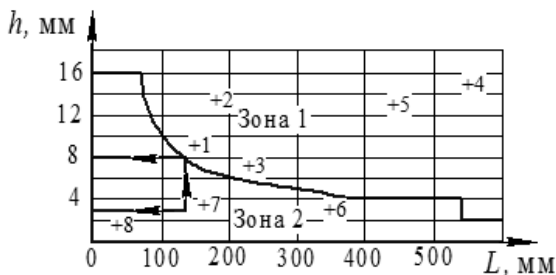


Рис. 4.2. Схема определения критических язвенных дефектов:  
 зона I – дефекты (1–5), требующие немедленного устранения;  
 зона II – допустимые дефекты (6–8), требующие контроля за их развитием

Очевидно, что с помощью того же графика можно определять и остаточный ресурс молокопровода доильной установки, а также паропровода смесителя кормов. Критерий предельного состояния трубы в данном случае – сочетание глубины и протяженности вдоль оси трубы коррозионного дефекта, отраженное на графике граничной кривой, разбивающей поле графика на две зоны. Развитие дефекта в плане (по площади) растет в глубину. Для ориентировочной оценки ресурса можно исходить из средней скорости коррозии  $a_{\text{ср}}$ , определяемой из выражения:



$$a_{\text{cp}} = \frac{h_{\text{max}}}{T_3},$$

где  $h_{\text{max}}$  – глубина дефекта в зоне максимальных повреждений, мм;  
 $T_3$  – срок службы оборудования с начала его эксплуатации, лет.

Тогда остаточный ресурс можно определить из выражения

$$T_{\text{ост}} = \frac{h_{\text{пред}} - h_{\text{max}}}{a_{\text{cp}}}.$$

Ресурс назначают, основываясь на расчетной величине  $T_{\text{ост}}$ , а также степени ответственности объекта и тяжести возможных последствий при его разрушении. Учитывая нестабильность скорости коррозии, ее желательно уточнить в процессе эксплуатации в пределах назначенного ресурса объекта и на этом основании корректировать величину  $T_{\text{ост}}$ .

Расчетный остаточный ресурс с учетом размеров язвенной коррозии и действующих напряжений определяют по формуле

$$T_p = \frac{h_{\text{пред}} - h_{\text{max}}}{a_{kt}},$$

где  $h_{\text{пред}}$  – критическая (предельная) глубина дефекта при действующем уровне напряжений и наибольшем размере  $L$  коррозионной язвы по ее верхней кромке;

$a_{kt}$  – усредненная скорость роста коррозии, мм/г:

$$a_{kt} = \frac{h_{\text{max}} + L}{2T_3};$$

$$h_{\text{пред}} = S_{\text{ном}} - L \left( \frac{0,19P_{\phi}}{0,75\sigma_T} \right)^{0,5},$$

где  $S_{\text{ном}}$  – начальная (номинальная) толщина стенки трубопровода, мм;  
 $P_{\phi}$  – фактическое рабочее давление в газопроводе, МПа;  
 $\sigma_T$  – предел текучести металла трубопровода, МПа.

### 4.3. Планирование минимально необходимого объема контроля

Повышение достоверности оценки надежности оборудования всегда желательно, но оно связано с увеличением объема (следовательно, и трудоемкости) получения исходной информации (увеличение числа измерений, частоты обследований). Сбор и обработку исходной информации осуществляет инженер-наладчик. Уровень достоверности обычно определяется в зависимости от последствий неточности оценки; возникновения организационных неудобств (например, изменение сроков проведения ремонтов); экономических потерь от отказов; возникновения угрозы безопасности при эксплуатации.

Требования к точности и достоверности оценки надежности оборудования должны задаваться в технической документации на оборудование. При отсутствии со стороны заказчика специальных требований по достоверности оценки в соответствии с РД 50-690–89 уровень доверительной вероятности принимается равным 0,8.

Выбор необходимого числа наблюдений (измерений) для оценки показателей надежности регламентирован для различных уровней достоверности и разных законов распределения. С учетом установленного вида закона распределения (Вейбулла) и области возможных значений коэффициентов вариации глубин разрушения подготовлены следующие рекомендации по выбору числа измерений: минимальное необходимое число  $N$  точек на поверхности для измерений следует выбирать в зависимости от степени неравномерности разрушения, характеризующейся коэффициентом вариации глубин разрушения  $V_h$  (табл. 4.1). Доверительную вероятность  $\gamma$  выбирают из ряда 0,8; 0,9; 0,95; 0,99. Максимальную допустимую относительную ошибку выбирают из ряда 0,05; 0,1; 0,15; 0,2.

Таблица 4.1

Минимальное число  $N$  точек для измерений

$S$	$\gamma$	$N$ при $V_h$						
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1
0,05	0,80	4	13	25	50	100	200	315
	0,90	8	25	65	100	250	500	650
	0,95	13	40	100	150	400	650	1000
	0,99	25	100	200	315	800	1000	> 1000

S	$\gamma$	N при $V_h$						
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1
0,10	0,80	< 3	5	10	13	32	50	100
	0,90	3	8	15	32	65	125	200
	0,95	5	13	25	50	100	200	400
	0,99	8	25	50	100	200	400	650
0,15	0,80	< 3	3	5	6	15	25	40
	0,90	< 3	4	8	15	32	65	80
	0,95	3	6	13	25	50	100	150
	0,99	5	13	25	40	100	200	315
0,20	0,80	< 3	< 3	3	5	10	20	25
	0,90	< 3	4	6	10	20	40	50
	0,95	< 3	5	8	15	32	50	100
	0,99	4	8	15	25	65	125	150

Предварительно величина коэффициента вариации  $V_h$  может быть ориентировочно выбрана в следующих интервалах: при квазиравномерном сплошном разрушении (коррозии, эрозии) – до 0,2; при неравномерной сплошной коррозии – 0,3–0,6; при наличии локальных разрушений (каверн, язв, питтингов) – свыше 0,6.

После выполнения измерений следует вычислить фактический коэффициент вариации, и в случае, если он окажется больше предварительно выбранного, выполнить дополнительные измерения. При наличии в выборке резко выделяющихся значений на участках, где они были получены, следует выполнить дополнительные измерения. При повторном появлении такого же результата данный участок следует рассматривать отдельно от других, так как повышенная глубина разрушений на нем, по-видимому, вызвана конструктивно-технологическими причинами. Критерием резкого выделения значения из выборки может служить выполнение условия  $h > h_p$ .

При планировании определительной процедуры принципиально невозможно однозначно указать необходимый объем испытаний, так как точность оценок показателей надежности при заданной достоверности зависит не от объема испытаний, а от объема получаемой при испытании информации. Исходя из требуемых точности и достоверности оценок, в результате планирования исследова-

тельской процедуры получают не объем испытаний, а минимально необходимое число информативных реализаций.

Определительные испытания на надежность изделий, серийное производство которых налажено вновь или после модернизации, проводятся с целью нахождения фактических количественных показателей надежности. Определительные испытания проводятся на образцах, изготовленных согласно циклу серийного производства. При определительных испытаниях могут оцениваться законы распределения отказов и их параметры. Результаты определительных испытаний служат для оценки соответствия фактических показателей надежности техническим условиям.

Определительные испытания на надежность изделий, серийное производство которых налажено вновь или после модернизации, проводятся с целью нахождения фактических количественных показателей надежности. Определительные испытания проводятся на образцах, изготовленных согласно циклу серийного производства. Результаты определительных испытаний служат для оценки соответствия фактических показателей надежности техническим условиям.

Одним из важнейших способов получения данных о надежности технических устройств являются сбор и статистическая обработка информации об износе и отказах, произошедших в процессе эксплуатации.

Полученные данные в результате испытаний или по данным эксплуатации подвергаются статистической обработке для получения следующих результатов:

- определение вида функции плотности распределения или интегральной функции распределения;
- вычисление параметров полученного распределения;
- установление с помощью критериев согласия степени совпадения эмпирического (экспериментального) распределения с предполагаемым теоретическим распределением;
- определение параметров надежности исследуемых изделий.

При определении вида распределения рекомендуется аппроксимировать экспериментальные характеристики наиболее распространенными теоретическими законами распределения.

Для подбора вида теоретического распределения, совпадающего в наибольшей степени с полученным эмпирическим, чаще всего применяются метод максимума правдоподобия и метод наименьших

квадратов, причем последний применяется для определения параметров распределения при полных выборках.

Для оценки степени совпадения эмпирической и теоретической кривых распределения применяются так называемые критерии согласия: критерий  $\chi^2$  (критерий Пирсона) и критерий Колмогорова.

#### **4.4. Сокращение объема контроля за счет использования распределения экстремальных значений**

Для эффективного выборочного контроля необходимо применение статистических методов, основанных на использовании информации о законах распределения дефектов по поверхности (или объему) оборудования. Такой подход обеспечивает оценку надежности оборудования с требуемой достоверностью. Необходимое (и достаточное) число измерений дефектов, распределенных по поверхности оборудования, при контроле можно резко (на порядок) сократить, если использовать для оценки закон распределения экстремальных значений.

Задача оценки надежности оборудования при возникновении на его поверхности распределенных дефектов (коррозионных повреждений) сводится к оценке вероятности появления дефекта предельно допустимой величины или определенной доли дефектов на поверхности металла. Поскольку сплошное обследование всей поверхности оборудования с большой площадью не представляется возможным, прибегают к выборочным измерениям глубины проникновения коррозии и последующей аппроксимации распределения некоторым теоретическим законом. Распределение глубин коррозионных повреждений при отсутствии дополнительных воздействующих факторов должно подчиняться распределению Вейбулла.

Распределение повреждений описывается нормальным или логарифмически-нормальным законом. Однако чаще описывается распределение глубин проникновения коррозии законом экстремальных значений (двойным экспоненциальным). Такому закону подчиняется распределение максимальной величины из  $n$  значений, распределенных по закону с затухающей плотностью распределения (нормальному, логарифмически-нормальному, гамма, Вейбулла и др.). Функция этого распределения имеет следующий вид:

$$\Phi(x) = \exp\{-\exp[-\alpha_n(x - u_n)]\},$$

где  $\alpha_n$  – параметр интенсивности (размерность обратно размерности  $x$ );  
 $u_n$  – характеристическое наибольшее значение величины  $x$ .

Параметры распределения можно определить из следующих соотношений:

$$\overline{X}_n = u_n + \frac{\omega}{\alpha_n},$$

$$\sigma_n = \frac{\pi}{\sqrt{6\alpha_n}},$$

где  $\overline{X}_n$  – математическое ожидание максимальной величины  $x_n$ ;  
 $\omega = 0,57721$  – постоянная Эйлера;  
 $\sigma_n$  – среднее квадратическое отклонение  $x_n$ .

Далее определяют вероятность отсутствия на произвольном участке  $F$  дефектов размером более  $x$ . Вероятность отсутствия таких дефектов на всей поверхности оборудования площадью  $F$  определяется из зависимости:

$$\Phi_F(x) = [\Phi(x)]^{F/F_0}.$$

При необходимости определения максимального вероятного размера дефекта  $x$  задают допустимую вероятность (риск) наличия такого дефекта  $1 - \Phi_F(x)$  и вычисляют  $x$ .

Индивидуальная оценка надежности оборудования путем сплошного контроля дефектов и повреждений, возникших на его поверхностях, очень трудоемка, а иногда и невозможна из-за недоступности отдельных участков оборудования, причем 100%-ный контроль не гарантирует выявления всех дефектов. Доля случайности при применении даже наилучших современных методов дефектоскопии все еще велика, и надежность обнаружения даже больших трещин составляет лишь около 80 % при высокой вероятности необнаружения этих же трещин во время второй проверки.

Как видно из данных табл. 4.1, при высокой требуемой достоверности оценки и малой величине допустимой ошибки требуется большое число измерений. Измерения максимальных глубин на участках определенной площади возможно определить при выраженной неравномерности разрушений, когда повреждения максимальной глубины выявляются уже при внешнем осмотре. В этом случае необходимо определить площадь поверхности  $S_0$ , приходящуюся на одно независимое измерение, и площадь поверхности  $S_1$ , охватываемую однократным осмотром (обычно величина  $S_1$  составляет 1–10 дм<sup>2</sup>). По величине отношения  $S_1/S_0$  определяется ориентировочный коэффициент вариации максимальных глубин  $V_h$  (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Определение коэффициента  $V_h$

$S_1/S_0$	10	$10^2$	$10^3$	$10^4$
$V_h$	0,3	0,2	0,15	0,1

Затем по данным табл. 4.2 определяется необходимое число точек  $N$  для измерения максимальных глубин. После выполнения измерений вычисляют фактическое  $V_h$  и при необходимости уточняют  $N$ . Далее по графикам (рис. 4.3) определяют значение коэффициента вариации полного распределения глубин разрушения, принимая  $M = \frac{S_1}{S_0}$ .

Значение средней глубины разрушения  $h$  может быть определено по величине среднего значения измеренных максимальных глубин  $h$  с использованием графиков (рис. 4.4).

Для этого от значения  $M$  восстанавливают перпендикуляр до пересечения с кривой, соответствующей определенному значению  $V_h$ , и по точке пересечения определяют на оси ординат значение  $E_{h\max}$ , по которому вычисляют  $h$ .

$$E_{h\max} = \frac{h_{\max}}{h}.$$

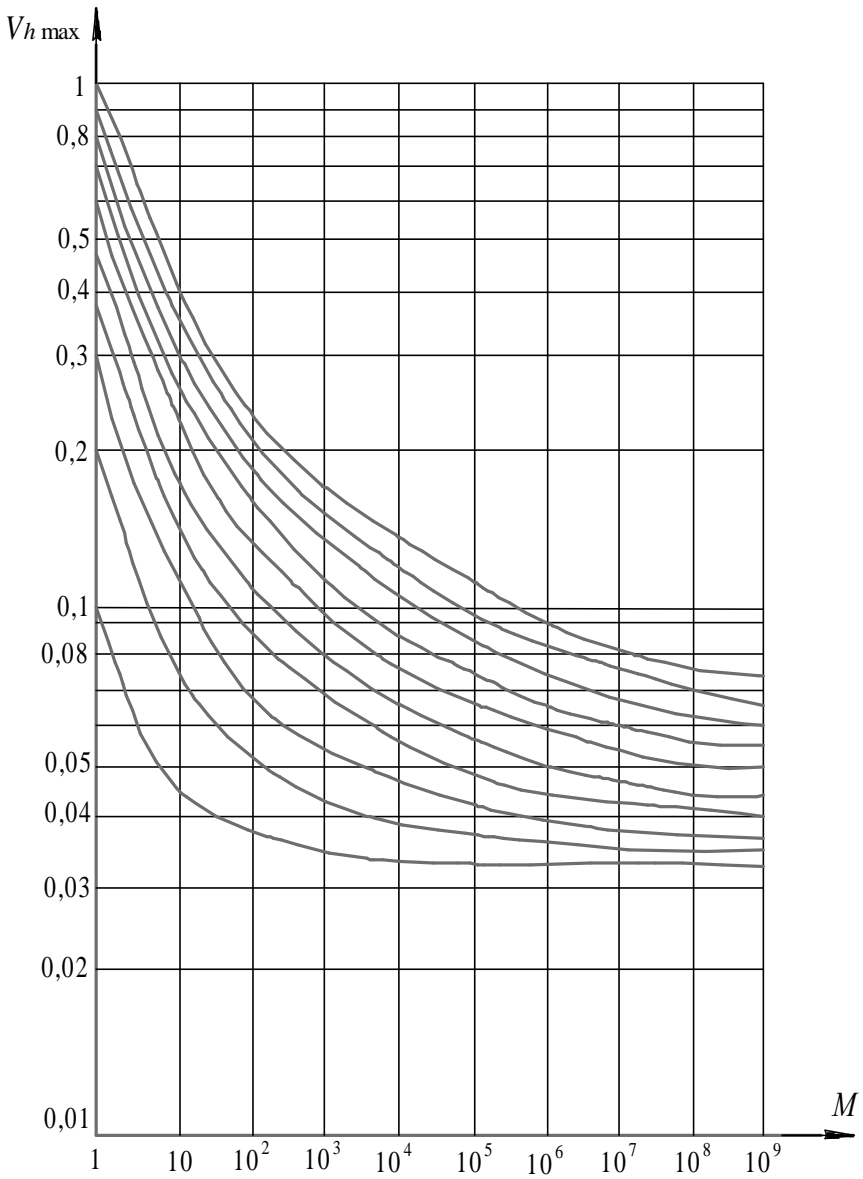


Рис. 4.3. График определения значения коэффициента вариации полного распределения глубин разрушения



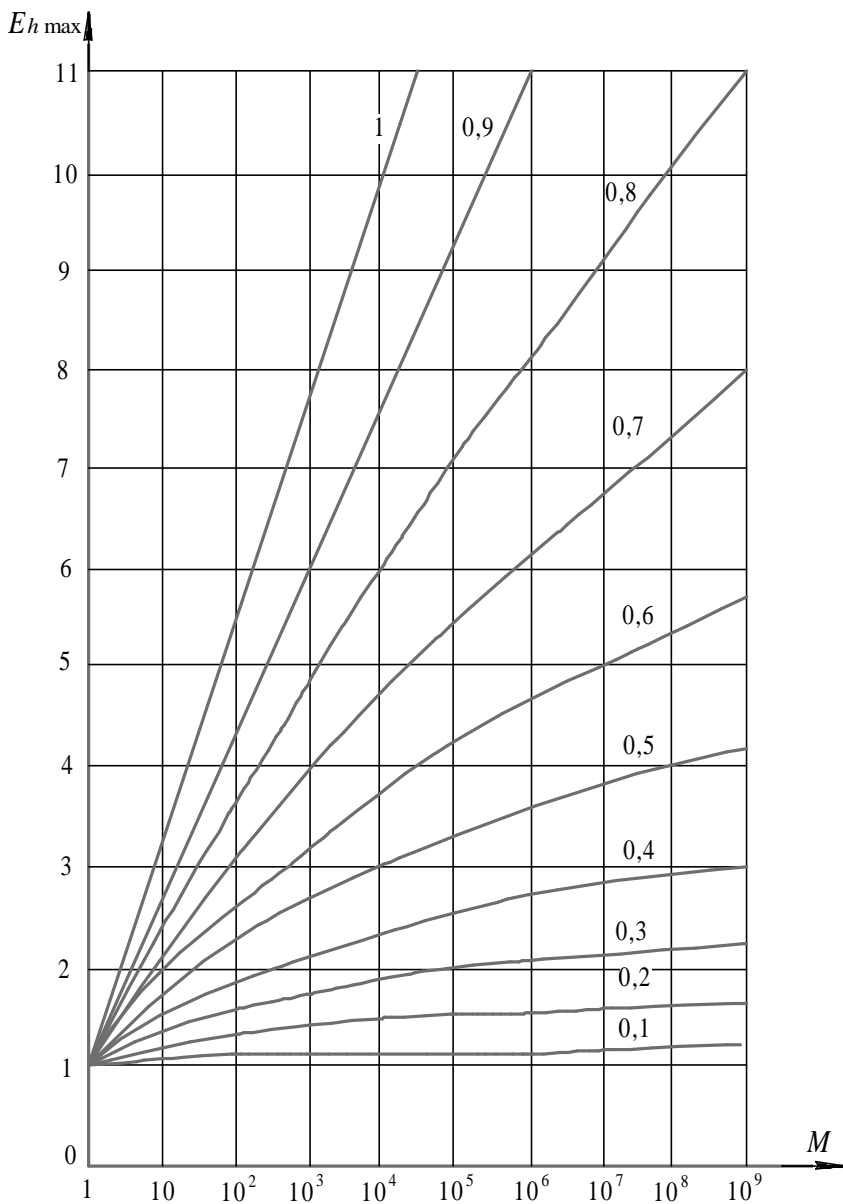


Рис. 4.4. График определения значения средней глубины разрушения

Среднее значение максимального дефекта и его коэффициент вариации можно определить из выражений:

$$\bar{h}_{\max} = \sum_{i=1}^N \frac{h_{\max}}{N},$$

$$\sigma_{h_{\max}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (h_{\max i} - \bar{h}_{\max})^2}{N - 1}},$$

$$V_{h_{\max}} = \frac{\sigma_{h_{\max}}}{h_{\max}}.$$

Значение средней глубины разрушения определяется по формуле

$$\bar{h} = \frac{\bar{h}_{\max}}{E_{h_{\max}}}.$$

Вероятную максимальную глубину разрушения можно определить по формуле

$$h_{\max} = \bar{h} E_{h_{\max}}.$$

#### **4.5. Критерии необходимости капитального ремонта машин и оборудования в животноводстве**

Критериями необходимости капитального ремонта машин и оборудования в животноводстве служит определение объемов работ необходимых для ремонта и технического обслуживания оборудования животноводческих ферм и комплексов.

Исходными данными для расчета этих объемов работ служат:

- ожидаемое количество скота и птицы на расчетный период;
- нормативы удельной трудоемкости;
- количество имеющегося основного наиболее сложного оборудования.

Число капитальных ремонтов наиболее сложного оборудования животноводческих ферм определяют с учетом коэффициента охвата оборудования этим ремонтом:

$$N_{\text{ко}} = N_o K_o,$$

где  $N_o$  – ожидаемое число отдельных видов сложного оборудования;  
 $K_o$  – коэффициент охвата капитальным ремонтом отдельных видов сложного оборудования.

Общую трудоемкость капитального ремонта сложного оборудования животноводческих ферм и комплексов  $T_{\text{ко}}$  определяют по формуле

$$T_{\text{ко}} = N_{\text{ко}} H_{\text{ко}},$$

где  $H_{\text{ко}}$  – трудоемкость (нормативная) капитального ремонта оборудования по отдельности каждого вида, чел.-ч.

С достаточной точностью объем капитального ремонта оборудования определяют при помощи удельной трудоемкости ремонта в расчете на 1000 голов скота или птицы. По таким же нормативам рассчитывают объемы работ по техническому обслуживанию и текущему ремонту оборудования. Общую трудоемкость работ по техническому обслуживанию, текущему и капитальному ремонту оборудования находят умножением ожидаемого количества скота и птицы на соответствующие удельные нормативы. Удельная трудоемкость по капитальному ремонту включает в себя и объемы работ по капитальному ремонту сложного оборудования животноводческих ферм и комплексов.

Потребность в капитальных вложениях при совершенствовании организации технического обслуживания животноводческого оборудования возникает в том случае, если технологические расчеты свидетельствуют о необходимости проведения технического обслуживания и капитального ремонта.

Капитальные вложения на ремонт машин и оборудования определяются как сумма работ, связанных с проведением капитального ремонта оборудования, стоимости приобретаемых узлов и деталей, установленных при ремонте оборудования, а также с учетом затрат на его монтаж (демонтаж) и пуско-наладочные работы.

Капитальные вложения в организацию технического обслуживания и капитального ремонта можно определить по формуле

$$KB_{\text{то}} = C_{\text{кр}} + C_{\text{дет}} + C_{\text{мп}},$$

где  $C_{кр}$  – стоимость работ, связанных с проведением капитального ремонта оборудования, руб.;

$C_{дет}$  – стоимость приобретаемых узлов и деталей, установленных при ремонте оборудования, руб.;

$C_{мр}$  – затраты на монтаж (демонтаж) и пуско-наладочные работы оборудования, руб.

Стоимость затрат на монтаж (демонтаж) и пуско-наладочные работы отремонтированного оборудования принимаются в размере 10 % от его стоимости:

$$C_{мр} = 0,1C_0,$$

где  $C_0$  – стоимость устанавливаемого оборудования, руб.

Затратный подход реализуется в двух наиболее распространенных практических методах – ресурсном и базисно-индексном. Ресурсный метод определения стоимости монтажных работ – калькулирование ресурсов (элементов затрат), необходимых для выполнения этих работ путем составления локальной сметы на конкретный комплекс работ. Базисно-индексный метод предполагает сочетание ресурсного метода с системой устанавливаемых ценовых индексов на потребляемые материальные, трудовые, энергетические, аппаратные и другие ресурсы.

Все затраты рассчитываются с применением установленных норм расхода ресурсов и действующих на момент составления сметы цен, тарифов и тарифных ставок в отношении этих ресурсов.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 20736–75. Статистический приемочный контроль по количественному признаку. Планы контроля / Государственный комитет СССР по стандартам. – Введ. 01.01.76. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1976. – 91 с.

2. ГОСТ 23942–80. Оценка показателей качества продукции по изменениям контролируемого параметра / Государственный комитет СССР по стандартам. – Введ. 10.01.80. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1980. – 28 с.

3. ГОСТ 24628–81. Техническая диагностика. Диагностирование машин и оборудования для животноводства и кормопроизводства. Общие технические требования / Государственный комитет СССР по стандартам. – Введ. 27.02.81. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1981. – 8 с.

4. ГОСТ 25859–83. Сосуды и аппараты стальные. Нормы и методы расчета на прочность при малоцикловых нагрузках / Государственный комитет СССР по стандартам. – Введ. 01.07.84. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. – 36 с.

5. ГОСТ 27.204–83. Надежность в технике. Технологические системы. Технические требования к методам оценки надежности по параметрам производительности / Государственный комитет СССР по стандартам. – Введ. 01.01.85. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. – 27 с.

6. ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения / Государственный комитет СССР по стандартам. – Введ. 01.07.90. – М. : Издательство стандартов, 1990. – 24 с.

7. ГОСТ 14249–89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность / Государственный комитет СССР по стандартам. – Введ. 18.05.89. – М. : Издательство стандартов, 1990. – 55 с.

8. ОСТ 26-291–87. Сосуды и аппараты стальные сварные. Технические требования. – Введ. 01.01.89. – М. : ВНИИНефтемаш, 1987. – 347 с.

9. РД 50-650–87. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований к надежности / Государственный комитет СССР по стандартам. – Введ. 01.07.88. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 23 с.

10. РД 26-10–87. Методические указания. Оценка надежности химического и нефтяного оборудования при поверхностном

разрушении / Министерство химического и нефтяного машиностроения СССР. – Введ. 28.08.87. – М. : ВНИИНефтемаш, 1988. – 51 с.

11. РД 26.260.004–91. Методические указания. Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации / Министерство химического и нефтяного машиностроения СССР. – Введ. 01.01.92. – М. : ВНИИхиммаш, 1991. – 38 с.

12. РД 24-112-5Р–2002. Руководящий документ по оценке остаточного ресурса кранов мостового типа. – Введ. 01.01.2002. – М. : ВНИИПТМАШ, 2002. – 24 с.

13. РД 50-423–83. Методические указания. Надежность в технике. Методика прогнозирования остаточного ресурса машин и деталей, подверженных изнашиванию / Государственный комитет СССР по стандартам. – Введ. 06.09.83. – М. : Издательство стандартов, 1984. – 38 с.

14. МУ 22-28-05–99. Оценка остаточного ресурса грузоподъемных кранов. Методические указания. – Введ. 01.10.1999. – М. : ФГУП СКТБ БК, 1999. – 16 с.

15. Бердышев, В. Е. Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства / В. Е. Бердышев [и др.]. – М. : Колос, 2000. – 532 с.

16. Буш, С. Статистика отказов сосудов, работающих под давлением, и трубопроводов / С. Буш // Труды ASME. Современное машиностроение. Сер. Б / пер. с англ. – 1989. – № 6. – С. 1–13.

17. Ежевский, А. А. Инновационная техника для животноводства / А. А. Ежевский, В. Ф. Федоренко. – М. : Колос, 2013. – 256 с.

18. Елисеев, А. Г. Анализ отказов и видов износов отечественного и зарубежного оборудования свинокомплексов / А. Г. Елисеев, С. В. Васильев // Свиноводство. – 2013. – № 3. – С. 14-16.

19. Елисеев, А. Г. Оптимальные технологические параметры – основа прогрессивных технических решений / А. Г. Елисеев, А. В. Топчин // Машинно-технологическая станция. – 2012. – № 1. – С. 12–15.

20. Елисеев, А. Г. Направления совершенствования технического сервиса свиноводческого оборудования / А. Г. Елисеев, С. В. Васильев, И. В. Ранцева // Вестник ВНИИМЖ. – 2013. – № 4 (12). – С. 65–71.

21. Елисеев, А. Г. Роль технического сервиса технологического оборудования скотоводческих ферм и комплексов в экономике производства продукции / А. Г. Елисеев, С. В. Васильев, И. В. Ранцева // Вестник ВНИИМЖ. – 2013. – № 4. – С. 72–80.

22. Казаровец, Н. В. Современные технологии и технический сервис в животноводстве / Н. В. Казаровец, В. П. Миклуш, М. В. Колончук. – Минск : БГАТУ, 2008. – 788 с.

23. Китун, А. В. Машины и оборудование в животноводстве : учебник / А. В. Китун, В. И. Передня, Н. Н. Романюк. – Минск : БГАТУ, 2019. – 501 с.

24. Коба, В. Г. Механизация и технология производства продукции животноводства / В. Г. Коба [и др.]. – М. : Колос, 1999. – 528 с.

25. Курочкин, А. А. Технологическое оборудование для переработки продукции животноводства / А. А. Курочкин, В. В. Ляшенко. – М. : Информагротех, 1998. – 249 с.

26. Маннапов, Р. Г. Прогнозирование ресурса оборудования по изменению параметров технического состояния / Р. Г. Маннапов // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1992. – № 3. – С. 15–17.

27. Маннапов, Р. Г. Методы оценки надежности оборудования, подвергающегося коррозии / Р. Г. Маннапов // Обзорн. информ. Сер. ХМ-9. – М. : ЦИНТИхимнефтемаш, 1990. – 48 с.

28. Миклуш, В. П. Технический сервис машин и оборудования в животноводстве : учебное пособие / В. П. Миклуш [и др.]; под ред. В. П. Миклуша. – Минск : БГАТУ, 2013. – 448 с.

29. Митрофанов, А. В. Расчет остаточного ресурса трубопроводов, эксплуатирующихся на объекте предприятия «Оренбурггазпрома» / А. В. Митрофанов, С. Б. Киченко // Безопасность труда в промышленности. – М. : Стройиздат, 2001. – № 3. – С. 30–32.

30. Нуртаев, Ш. Н. Техника для фермерских (крестьянских) хозяйств : учебное пособие / Ш. Н. Нуртаев. – Алматы : Агроуниверситет, 1998. – 170 с.

31. Передня, В. И. Технические средства для приготовления и раздачи кормов на фермах крупного рогатого скота / В. И. Передня, А. В. Китун; НАН Беларуси; РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск : Беларуская навука, 2014. – 140 с.

32. Федоренко, И. Я. Оборудование для доения коров и первичной обработки молока : учебное пособие / И. Я. Федоренко, А. В. Борисов, А. Н. Матвеев, А. А. Смышляев. – Барнаул : Изд-во АГАУ, 2005. – 235 с.

33. Черноиванов, В. И. Технический сервис технологического оборудования животноводческих ферм и комплексов как условие повышения эффективности отраслей животноводства / В. И. Черноиванов, А. Г. Елисеев // Вестник ВНИИМЖ. – 2013. – № 2 (10). – С. 35–42.

Учебное издание

**Швед** Илья Михайлович,  
**Кольга** Дмитрий Федорович

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

Учебное пособие

Ответственный за выпуск *А. В. Китун*  
Редактор *Т. В. Каркоцкая*  
Компьютерная верстка *Д. А. Значёнок*  
Дизайн обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 12.10.2020. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 6,97. Уч.-изд. л. 5,45. Тираж 98 экз. Заказ 478.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий  
№ 1/359 от 09.06.2014.  
№ 2/151 от 11.06.2014.  
Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.