

622.232

П-71



НАДЕЖНОСТЬ
И КАЧЕСТВО

**Предупреждение
разрушения
деталей
забойного
оборудования**

• НЕДРА •

622.232 | 42.332
17-71

Тресту "Средне-
волжский" дет. со-
зд. 1985 | 1985 | 1985
2 02 | 17-71 | 19-80

Книга должна быть возвращена не
позже указанного здесь срока

Количество предыдущих выдач _____

3.03.02-71

9005

622.6.03
17-71



НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО

Межиздательская серия

Предупреждение разрушения деталей забойного оборудования

Под редакцией В. И. Морозови



ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА	1
Изд. № 42392	

МОСКВА „НЕДРА“ 1985

Предупреждение разрушения деталей забойного оборудования/ Н. Б. Шубина, Б. П. Грязнов, И. М. Шахтин и др. — М., Недра, 1985, 215 с.

Рассмотрены особенности условий эксплуатации очистного оборудования, фактические показатели надежности очистных комбайнов, забойных конвейеров, механизированных крепей, насосных станций и их основных сборочных единиц. Приведены главные причины, вызывающие снижение надежности очистного оборудования. Описана методика анализа разрушенных деталей. Даны рекомендации по повышению надежности очистного оборудования при изготовлении и ремонте и по поддержанию надежности в эксплуатации. Рассмотрен порядок организации входного контроля качества оборудования и оформления актов рассмотрения аварий на шахте.

Для механиков шахт, конструкторов и технологов горного оборудования. Табл. 32, ил. 39, список лит. — 50 назв.

Рецензент: Ю. А. Зислин, канд. техн. наук (ИГД им. А. А. Скочинского)

Авторы:

*Н. Б. Шубина, Б. П. Грязнов, И. М. Шахтин,
В. И. Морозов, В. Г. Березкин*

ВВЕДЕНИЕ

В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года [1] поставлена задача в области технических наук сосредоточить усилия на решении ряда проблем, важнейшими из которых являются повышение качества, надежности, экономичности и производительности, уменьшение шума и вибрации машин, оборудования и других изделий машиностроения, снижение их материалоемкости и энергопотребления.

Интенсификация добычи угля подземным способом во многом зависит от надежности очистного оборудования. Анализ простоев очистных забоев показывает, что удельный вес простоев из-за аварий с машинами и механизмами доходит до 20 % длительности рабочей смены. Поэтому повышение надежности машин на стадиях конструирования и изготовления, поддержание их надежности в эксплуатации, восстановление надежности при капитальных ремонтах продолжают оставаться актуальными вопросами.

Повышением надежности широко занимаются у нас в стране и за рубежом. В ведущих проектно-конструкторских и научно-исследовательских институтах угольной промышленности нашей страны созданы отделы и лаборатории надежности, на машиностроительных заводах и заводах по ремонту горно-шахтного оборудования организованы подразделения надежности. Это позволило совместными усилиями определить терминологию в области надежности горно-шахтного оборудования; установить минимальную необходимую номенклатуру показателей для нормирования основных свойств надежности; разработать методы планирования наблюдений, порядок учета, сбора и обработки исходных данных по оценке надежности.

Уже на протяжении третьей пятилетки на основе разработанных методических положений заводы-изготовители, проектно-конструкторские и научно-исследовательские институты начали систематические исследования надежности серийного оборудования. По результатам исследований составлялись годовые и перспективные планы мероприятий по повышению надежности. Однако эти мероприятия не принесли резкого улучшения надежности очистного оборудования (тогда при ее оценке учитывалась в основном качественная сторона).

По мере усложнения машин для обеспечения выбора лучшего варианта конструкции возникла необходимость в количественной оценке надежности. В угольном машиностроении, начиная с 60-х годов, при оценке надежности очистного оборудования за объект оценки, как правило, принимались отдельные типы машин, реже — сборочные единицы и очень редко — детали.

Теоретические исследования [2], выполненные в области физики надежности машин и средств автоматки, показывали, что ее повышение может быть достигнуто за счет изучения физических процессов разрушения деталей — первичных элементов в любой машине. Знание факторов разрушения деталей в эксплуатации позволяет нейтрализовать их вредное влияние на стадии проектирования, изготовления или восстановления деталей.

Для очистного оборудования такой путь подхода к повышению надежности особенно актуален в настоящее время, так как за последнее десятилетие существенно повысился уровень комплексной механизации и автоматизации очистных работ. Так, в Карагандинском угольном бассейне он составляет 93 %. Кроме того, растет единичная мощность очистного оборудования и соответственно его производительность. У комбайна «Донбасс-1Г» часовая мощность электропривода — 105 кВт; у комбайна КШ-3М она составляет уже 300 кВт. Большое разнообразие и усложнение горно-геологических условий требуют постоянной корректировки методов расчета на долговечность элементов машин. При высоком уровне комплексной механизации приходится иметь дело с системами технологически и кинематически увязанных машин, которые изготавливаются и поставляются несколькими машиностроительными предприятиями с различным уровнем технологии. Поэтому выявление слабых элементов у машины позволяет выявить объективно и уровень технологии на заводе-изготовителе и через «слабую» деталь влиять на ее совершенствование.

Очистное оборудование, как правило, — высоконагруженное, физически быстро стареющее. За свою «жизнь» одна и та же машина проходит несколько капитальных ремонтов, в результате которых свойства машины изменяются. Это все требует комплексного решения вопросов надежности с совместным участием проектно-конструкторских организаций, заводов-изготовителей, шахт и производственных объединений по добыче угля, а также ремонтных предприятий. Кроме того, очистное оборудование ввиду уникальности каждого типа машин и небольших партий изготовления требует ведения истории «болезни» каждой машины от момента изготовления и до ее списания с фиксированием всех ее основных свойств.

До настоящего времени для очистного оборудования отсутствуют методы выбора оптимальных показателей (норм) надежности, в том числе на стадиях проектирования машин. Не установлены критерии предельных состояний как для машины в целом, так и для их составных частей. Необходимы дополнительные исследования физической природы отказов, включая стендовые и лабораторные, отказавших деталей и сборочных единиц, а также совершенствование методов поддержания надежности в процессе эксплуатации оборудования (техническое обслуживание и текущий ремонт) и капитального ремонта.

Указать все причины, снижающие надежность, в одном издании не представляется возможным. Некоторые вопросы надежности

освещены в ранее выпущенных работах и в нормативно-технической документации, разработанной ИГД им. А. А. Скочинского совместно с отраслевыми научно-исследовательскими институтами и Гипроуглемашем совместно с проектно-конструкторскими институтами и заводами-изготовителями.

В настоящей книге рассмотрены вопросы выбора оптимальных показателей надежности, дан анализ видов и причин разрушения деталей очистного оборудования, освещены методы обеспечения надежности деталей на стадии изготовления, ее поддержания при эксплуатации и капитальном ремонте.

Под разрушением деталей очистного оборудования понимается процесс частичного или полного разрыва межатомных связей в материале детали под действием нагрузки и (или) внешней среды. Результатами процесса разрушения являются повреждение и (или) отказ машины, ее составной части, сборочной единицы, детали.

В соответствии с ГОСТ 27.002—83 «Надежность в технике. Термины и определения» под повреждением понимают событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния. В справочном приложении к ГОСТу разъясняется, что если объект переходит в неисправное, но работоспособное состояние, то это событие называется повреждением; если объект переходит в неработоспособное состояние, то это событие считается отказом. Переход объекта в предельное состояние влечет за собой временное или окончательное прекращение применения объекта по назначению.

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

Повреждение и отказ могут происходить в процессе деформации детали, когда изменяются ее форма, размеры и взаимное расположение поверхностей, и в процессе разрушения. Поэтому можно сказать, что повреждение детали является результатом процессов деформации и (или) разрушения, при которых деталь не достигает своего предельного состояния; отказ является результатом процессов деформации и (или) разрушения, при которых деталь достигает своего предельного состояния. Повреждение проявляется в виде износов, коррозии, деформации деталей. Здесь деформация выступает как результат одноименного процесса. Отказ проявляется в виде поломок, износов, коррозии и деформации.

Отказ детали влечет за собой более тяжелые последствия для машины, чем повреждение. Однако любое повреждение, если его своевременно не предотвратить, может привести к отказу. При повреждениях и отказах главную роль играет процесс разрушения. В научно-технической литературе часто используют понятие «разрушенная деталь», подразумевая под этим такое состояние детали, когда она не может выполнять свои функции.

В данной книге рассматриваются виды и причины разрушения

1. НАДЕЖНОСТЬ ОЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.1. ОСОБЕННОСТИ УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

деталей забойного оборудования, как наиболее важного для обеспечения процесса добычи угля. Знание причин разрушения, особенно ответственных деталей, позволяет своевременно разработать и реализовать мероприятия по обеспечению и поддержанию надежности машины, которая закладывается при их проектировании.

Основной характеристикой процесса разрушения является работа разрушения, на базе которой выводятся: условие для замены деталей и сборочных единиц забойного оборудования для предотвращения их внезапных отказов, критерий для оценки ресурса деталей, сборочных единиц и составных частей по эквивалентному времени; показатели удельной работы разрушения и равноресурсности деталей. Введение данных показателей позволит более обоснованно разрабатывать рекомендации по повышению надежности очистного оборудования.

При работе над книгой использованы результаты самостоятельных исследований, проведенных авторами в Гипроуглемаше и Московском горном институте, а также совместных с работниками других организаций и предприятий.

Авторы с благодарностью примут замечания и пожелания по содержанию книги, чтобы учесть их в своей повседневной работе связанной с повышением надежности и качества очистного оборудования.

Введение написано Б. П. Грязновым совместно с В. И. Морозовым; 1.1, 1.2, 1.3 — В. Г. Березкиным совместно с Б. П. Грязновым; 1.4, 1.5 — Б. П. Грязновым; 1.6 — В. И. Морозовым совместно с Е. В. Денисенко; 1.7 — В. И. Морозовым; 1.8 — В. Г. Березкиным; 2.1 — В. И. Морозовым совместно с Н. Б. Шубиной; 2.2, 2.3 — Н. Б. Шубиной совместно с Б. П. Грязновым, И. М. Шахтиным, В. Г. Березкиным и В. И. Морозовым; 3.1 — 3.3 — Н. Б. Шубиной совместно с В. И. Морозовым; 4.1 — Н. Б. Шубиной; 4.2 — Б. П. Грязновым; 4.3 — В. И. Морозовым совместно с Е. В. Денисенко; 4.4 — В. И. Морозовым; 5.1 — И. М. Шахтиным совместно с Н. Б. Шубиной; 5.2 — И. М. Шахтиным; заключение — В. И. Морозовым.

Оборудование очистных забоев создается для эксплуатации в определенных горно-геологических условиях. Режимы и условия эксплуатации и технического обслуживания оборудования обуславливаются нормативно-технической документацией (руководствами по эксплуатации, формулярами и др.).

По определению ГОСТ 27.002—83 «Надежность в технике. Термины и определения» надежность — это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Однако реальные условия эксплуатации очистного оборудования весьма сложны и различны, что существенно влияет на надежность работы оборудования.

К числу основных факторов, влияющих на надежность работы очистного оборудования, следует отнести: длину лавы; угол падения пласта; вынимаемую мощность пласта; сопротивляемость углю резанию; наличие прослоек породы и твердых включений в пласте угля; устойчивость боковых пород; гипсометрию пласта; обводненность пласта; агрессивность воды; запыленность; загазованность среды и др.

Кроме горно-геологических и горнотехнических условий эксплуатации на надежность работы очистного оборудования существенное влияние оказывают такие факторы, как возраст оборудования, сложность его конструкции, его габариты и удобство доступа к отдельным деталям; квалификация эксплуатационного и ремонтного персонала; режим работы очистного оборудования; наличие запасных частей, инструмента, технической документации и др. Учитывая то, что очистное оборудование эксплуатируется в различных горно-геологических и горнотехнических условиях, рекомендуется при определении показателей надежности осуществлять дифференцированный подход к оборудованию, эксплуатирующемуся до и после капитального ремонта, а также эксплуатирующемуся в условиях, оговоренных нормативно-технической документацией, и в более «жестких» условиях. Это подтверждается исследованиями, которыми установлено, что у оборудования очистных механизированных комплексов, эксплуатирующегося в более «жестких» по сравнению с «паспортными» условиях наработка на отказ в 1,2—1,5 раз ниже, чем у оборудования комплексов, эксплуатирующихся в «паспортных» условиях. Ресурсные показатели очистных комбайнов, работавших до первого капитального ремонта

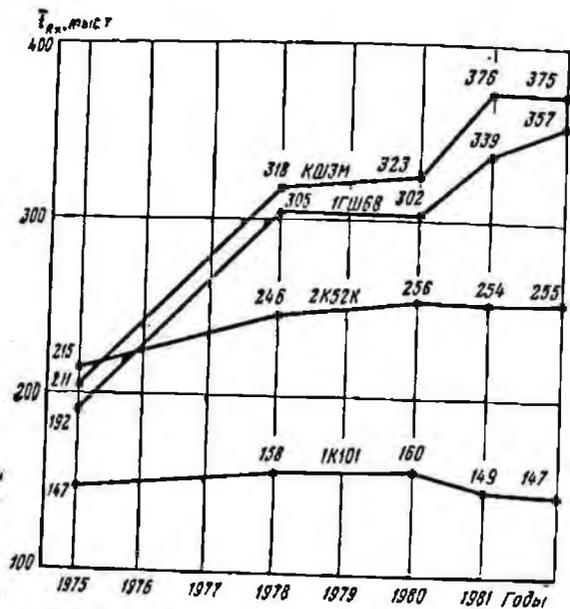


Рис. 1. Средний ресурс очистных комбайнов до первого капитального ремонта $T_{р.ч}$

та, в 1,3—1,6 раза выше, чем у комбайнов, работавших между капитальными ремонтами (рис. 1 и 2). За период с 1975 г. по 1983 г. средний ресурс до первого капитального ремонта очистных комбайнов КШ-3М, 1ГШ68 2К52М увеличился в 1,19—1,86 раз. Средний ресурс комбайна 1К101 за этот период практически не

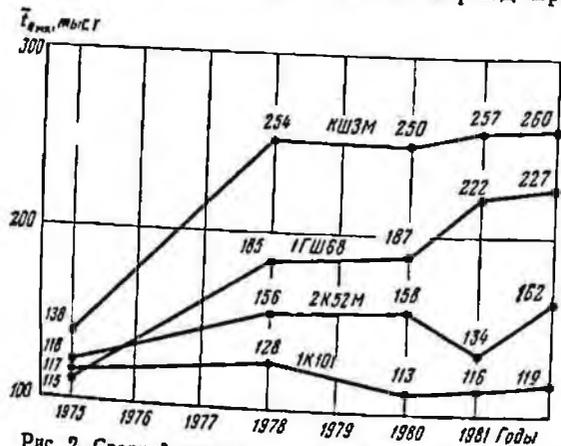


Рис. 2. Средний ресурс очистных комбайнов между капитальными ремонтами

менился. Средний ресурс очистных комбайнов КШЗМ, 1ГШ68, 2К52М после капитального ремонта за этот период времени увеличился в 1,37—1,97 раза. Однако он был ниже, чем у новых комбайнов (на 21—57 %).

Учитывая, что в настоящее время парк действующего оборудования очистных механизированных комплексов состоит как из новых, так и отремонтированных изделий, возраст и состояние оборудования и, следовательно, его надежность будут влиять на технико-экономические показатели работы очистных забоев.

1.2. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ОЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Целью получения информации о надежности очистного оборудования является: определение количественных значений показателей надежности; выявление характера отказов очистного оборудования и возможных причин, приводящих к отказам оборудования; выявление наименее надежных сборочных единиц и деталей, лимитирующих надежность очистного оборудования; выявление влияния условий и особенностей эксплуатации на надежность оборудования; оценка технико-экономических показателей в зависимости от уровня надежности; разработка мероприятий по устранению недостатков очистного оборудования; совершенствование методов эксплуатации и технического обслуживания очистного оборудования; совершенствование системы ремонтов; накопление сведений, необходимых для разработки норм расхода запасных частей; уточнение технической документации.

Основными источниками получения информации, необходимой для оценки надежности очистного оборудования, являются: специальные длительные хронометражные наблюдения с периодами продолжительностью не менее 10 сут (непрерывно) и кратковременные (1—2-суточные) хронометражные наблюдения, проводимые нормативно-исследовательскими станциями (НИСами) производственных объединений по добыче угля;

постоянные длительные (до передачи оборудования в капитальный ремонт или до отработки столба) наблюдения за работой подконтрольного оборудования, осуществляемые специально выделенными для этой цели людьми.

Дополнительными источниками получения информации являются: данные диспетчерского учета работы очистных забоев, наряды-рапорты, книги нарядов начальника и механика участка, наряд-путевки горных мастеров, книги учета ремонтов и простоев, различные формы механизированного учета, в том числе имеющиеся в ИВЦ объединения данные ремонтных предприятий и др.

Результаты постоянных длительных эксплуатационных наблюдений о заменах отказавших сборочных единиц и деталей рекомендуются записывать в форму-накопитель. Примером такой записи может служить табл. 1.

Для оценки влияния надежности различных элементов комп-

Таблица 1

Форма-накопитель сведений о заменах сборочных единиц и деталей

Объединение _____ шахта _____ лава _____

Крепь М87Э, комбайн 2К52М (зав. № 195), конвейер СП87П (зав. № 124), насосная станция СНУ5 (зав. № 177)

Дата замены	Наименование изделия, обозначение, характер повреждения, число замененных элементов (новый или отремонтированный)	Продолжительность замены, ч	Число исполнителей, чел.	Объем добычи с начала работы, тыс. т.	Срок службы до
01.10.80.	Секция крепи 11, 16, 17-я (3 шт.); сорваны крепления боковых щитков перекрытия, заменены болты (новые)	6	2	35	1,
10.10.80.	Секция крепи 70-я (1 шт.); в блоке управления М87Э 20.47.000 образовались переточки по золотнику М87Э.20.47.005; заменен блок (новый)	2	1	38,5	1,

Например, комбайн составляют: режущая часть, механизм почи, электродвигатель, тяговая цепь, опорная часть, погрузочное устройство.

Конвейер составляют: приводная головка, рештачный став, тяговая цепь, концевая головка, электродвигатель, гидромуфта.

Крепь составляют: гидростойки, гидродомкраты, перекрытия, дроблоки, гидрораспределители, магистральный трубопровод, снования, насосная станция.

В свою очередь насосную станцию составляют: насосные группы, подпиточная группа, система фильтрации, аппаратура регулирования, контрольно-измерительная аппаратура, аппаратура управления, бак.

Исследуемые объекты должны быть равномерно распределены по всему диапазону горно-геологических и горнотехнических условий, предусмотренных нормативно-технической документацией (НТД), а также в предельных условиях, отличных от тех, которые предусмотрены нормативно-технической документацией, если имеет место эксплуатация оборудования в таких условиях. В последнем случае обработка результатов наблюдения за оборудованием производится отдельно от результатов наблюдений за оборудованием, работающим в условиях, соответствующих НТД.

Для оценки надежности очистного оборудования широко используются статистические и расчетно-статистические методы. Распространенные методы оценки надежности находятся в стадии разработки и не получили широкого распространения.

Для получения данных о надежности проводятся исследования двух видов: систематические и периодические углубленные. Целью как тех, так и других исследований является выявление факторов, снижающих надежность: конструктивных, технологических и эксплуатационных (в том числе в изготовлении и капитальном ремонте). Однако при периодических углубленных исследованиях шире применяются методы анализа влияния факторов.

Для оценки безотказности и ремонтпригодности деталей используется план наблюдения $[NRr]$, т. е. наблюдения подлежат N объектов; после каждого отказа работоспособность отказавшего объекта восстанавливается, наблюдения ведутся до возникновения r отказов с учетом всех объектов.

Для оценки долговечности машин используется план наблюдения $[NUN]$, т. е. наблюдения ведутся за N объектами до возникновения предельного состояния у всех объектов.

Показатели надежности оцениваются для отдельных машин с относительной ошибкой $\delta=0,1$ при доверительной вероятности $\beta=0,8$, для основных сборочных единиц — соответственно с $\delta=0,2$ и $\beta=0,8$.

Для оценки надежности с такой точностью (0,2 и 0,8) необходимо при экспоненциальном законе и коэффициенте вариации $V=1,0$ наблюдать 27 реализаций случайной величины (отказа). При

лекса на работу выемочной машины и сравнения элементов по надежности принята общая для всех элементов комплекса (комбайна, конвейера, крепи) единица измерения параболки — машинное время работы комбайна или объем добычи.

При обработке хронометражных наблюдений учитываются отказы продолжительностью от 1 мин и больше. Объединение кратковременных отказов при их многократном повторении в один отказ с общим временем восстановления не допускается.

Операции, проводимые в начале каждой смены и цикла в соответствии с инструкциями по техническому обслуживанию, не считаются отказами.

Отказы, вызванные взаимодействием элементов следует относить к комплексу в целом, а не к одной какой-либо машине. К тем отказам относится, например, заклинивание комбайна на решетках.

Показатели надежности рассчитываются с учетом всех отказов машины и непосредственно связанного с ней оборудования, приведших к простое лавы. Например, для комбайна учитываются отказы самого комбайна, магистрального рукава орошения, оборудования энергоснабжения (от пускателя на штреке до комбайна).

При определении показателей долговечности оборудования комплексов рекомендуется разделить машины комплексов (комбайны, конвейеры, крепи) на сборочные единицы и подсчитывать ресурсы и сроки службы для комбайна в целом, каждой его сборочной единицы и сборочных единиц конвейеров и крепей.

Таблица 2

Показатели надежности очистного оборудования

Наименование показателя	Обозначение показателя	Изделия, для которых определяется показатель			
		комплекс очистного (проходческого) оборудования	машины, входящие в комплекс	составные части, сборочные единицы	

Показатели долговечности

Средний ресурс до капитального ремонта (между капитальными ремонтами)	$\bar{t}_{Rk(R_{м.к})}$	-	+	+	-
Гамма-процентный ресурс до капитального ремонта (между капитальными ремонтами)	$t_{R\gamma}$	-	+	+	-
Средний срок службы до капитального ремонта (между капитальными ремонтами)	\bar{t}_K	-	+	+	-
Средний ресурс до снятия (замены)	$t_{R_{сн}}$	-	-	+	+
Средний срок службы до снятия (замены)	$\bar{t}_{сн}$	-	-	+	+

Показатели безотказности

Наработка на отказ	\bar{t}	+	+	+	-
Параметр потока отказов	(ω)	-	-	+	-

Показатели ремонтпригодности

Среднее время восстановления	\bar{t}_B	+	+	+	-
Средняя оперативная продолжительность (трудоемкость) технического обслуживания данного вида	$\bar{t}_{ТОI}$ $(\bar{W}_{ТОI})$	-	+	+	-
Средняя оперативная продолжительность (трудоемкость) планового текущего ремонта данного вида	$\bar{t}_{TPI}^{(n)}$ $(\bar{W}_{TPI}^{(n)})$	-	+	+	-
Число марок применяемых смазочных масел	$n_{м.м}$	+	+	-	-
Число заправочно-сливных отверстий	$n_{з.о}$	-	+	-	-
Число инструментов	$n_{и}$	+	+	+	-
Число типоразмеров крепежных деталей	$n_{кр}$	+	+	-	-
Коэффициент применяемости	$k_{пр}$	-	+	-	-
Удельная относительная стоимость запасных частей	S	-	+	-	-
Коэффициент межпроектной унификации	$K_{м.у}$	-	+	-	-

Продолжение табл. 2

№	Вид исследования		Наименование показателя	Обозначение показателя	Изделия, для которых определяется показатель					Вид исследования	
	систематические	периодические углубленные			комплекс очистного (проходческого) оборудования	машины, входящие в комплекс	составные части, сборочные единицы	детали	систематические	периодические углубленные	

Комплексные показатели

+	+	Кoeffициент готовности	$K_{Г}$	+	+	+	-	+	+
		Кoeffициент неисправности	$K_{Н}$	+	+	+	-	+	+
+	+	Удельная оперативная трудоемкость устранения отказов	$W_{O.T}$	+	+	+	-	-	+
+	+	Удельная суммарная оперативная продолжительность (трудоемкость) технических обслуживаний (плановых ремонтов)	$T_{TO}(W_{TO})$ $T_{TP}(W_{TP})$	+	+	+	-	-	+
+	+	Объединенная удельная оперативная продолжительность (трудоемкость) технических обслуживаний, плановых и текущих ремонтов	$T(W)$	+	+	+	-	-	+

других законах и такой же точности объем наблюдений будет меньше.

По результатам наблюдений рассчитываются показатели надежности очистного оборудования, которые в соответствии с ГОСТ 27.002-83 включают показатели долговечности, безотказности, ремонтпригодности и комплексные.

В табл. 2 приведены показатели надежности очистного оборудования, которые приняты в угольной промышленности. Все показатели по уровню иерархии оборудования очистных механизированных комплексов делятся на четыре уровня: для комплекса очистного оборудования в целом; для отдельных машин, входящих в комплекс; для отдельных составных частей и сборочных единиц; для деталей. Здесь же указано, при каких видах исследований (систематические или периодические углубленные) можно получить данные показатели.

Основными показателями надежности, определяемыми при систематических исследованиях, являются:

для комплекса очистного оборудования — средняя наработка на отказ, среднее время восстановления, коэффициент неисправности или коэффициент готовности;

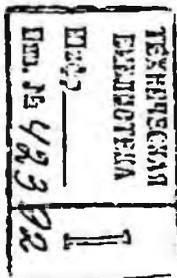
для машин, входящих в комплекс (очистные комбайны, скреповые передвижные конвейеры, механизированные крепи), — средний или гамма-процентный ресурс до капитального ремонта, сред-

Таблица 3

Расчетные формулы для определения показателей надежности

Наименование показателя	Расчетная формула	Обозначение величин, входящих в формулу
Средний ресурс до капитального ремонта (между капитальными ремонтами)	$\bar{t}_{RK(RM.k)} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N t_{RKj(RM.kj)}$	$t_{RKj(RM.kj)}$ — ресурс до первого капитального ремонта (между капитальными ремонтами) j -го изделия, т N — общее число наблюдаемых изделий
Гамма-процентный ресурс до капитального ремонта	Определяется из условия $p(t_{R\gamma}) \frac{\gamma}{100}$	γ — заданный процент изделий, ресурс которых равен или выше t_R p — вероятность
Средний срок службы до капитального ремонта (между капитальными ремонтами), мес.	$\bar{t}_{K(M.k)} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N t_{Kj(M.kj)}$	$t_{Kj(M.kj)}$ — срок службы j -го изделия до первого капитального ремонта (между ремонтами), мес
Средний ресурс до снятия (замены), т	$\bar{t}_{RCH} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N t_{RCHj}$	t_{RCHj} — ресурс j -го изделия до снятия (замены), т
Средний срок службы до снятия (замены), мес	$\bar{t}_{CH} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N t_{CHj}$	t_{CHj} — срок службы j -го изделия до снятия (замены), мес
Наработка на отказ, ч (т)	$\bar{t} = \frac{\sum_{j=1}^N t_{Pj}}{\sum_{j=1}^N n_j}$	$\sum_{j=1}^N t_{Pj}$ — суммарная наработка j -го изделия за период наблюдений; для оборудования очистного комплекса в часах работы комбайна
Параметр потока отказов	$\omega = \frac{\sum_{j=1}^N n_j}{\sum_{j=1}^N t_{Pj}}$	тоннах добытого угля; для проходческого оборудования — в часах работы или тоннах разрушенной или погруженной массы; n_j — число отказов j -го изделия за период наблюдений
Среднее время восстановления, ч	$\bar{t}_B = \frac{\sum_{j=1}^N t_{Bj}}{\sum_{j=1}^N n_j}$	$\sum_{j=1}^N t_{Bj}$ — суммарное время восстановления j -го изделия, ч
Средняя оперативная продолжительность (трудоемкость) технического обслуживания данного вида, ч (чел.-ч)	$\bar{t}_{TO} = \frac{\sum_{j=1}^N t_{TOj}}{\sum_{j=1}^N m_j}$	$\sum_{j=1}^N t_{TOj} (W_{TOj})$ — суммарная оперативная продолжительность (трудоемкость) технического обслуживания данного вида у j -го изделия за определенный период, чел.-ч m_j — число технических обслуживаний данного вида j -го изделия за тот же период
Средняя оперативная продолжительность (трудоемкость) планового текущего ремонта данного вида, ч (чел.-ч)	$\bar{t}_{TP}^{(n)} = \frac{\sum_{j=1}^N t_{TPj}}{\sum_{j=1}^N l_j}$	$\sum_{j=1}^N t_{TPj} (W_{TPj})$ — суммарная оперативная продолжительность (трудоемкость) текущего ремонта данного вида j -го изделия за определенный период, чел.-ч

Наименование показателя	Расчетная формула	Обозначение величин, входящих в формулу
<p>Коэффициент готовности</p> <p>Коэффициент неисправности</p> <p>Удельная оперативная трудоемкость устранения отказов, чел.-ч/ч</p>	$\bar{W} = \frac{\sum_{j=1}^N W_{TPj}}{\sum_{j=1}^N l_j}$ $K_r = \frac{\sum_{j=1}^N t_{pj}}{\sum_{j=1}^N t_{pj} + \sum_{j=1}^N t_{bj}}$ <p>или $K_r = \frac{\bar{i}}{\bar{i} + \bar{i}_b}$</p> $K_n = \frac{\sum_{j=1}^N t_{bj}}{\sum_{j=1}^N t_{pj}} \quad \text{или} \quad K_n = \frac{\bar{i}_b}{\bar{i}_p}$ $W_{o.t} = \frac{\sum_{j=1}^N W_{o.tj}}{\sum_{j=1}^N t_{pj}}$	<p>l_j — количество текущих ремонтов данного вида j-го изделия</p> <p>$W_{o.tj}$ — суммарная оперативная трудоемкость устранения отказов j-го изделия за наработку t_{pj}</p>
<p>Удельная суммарная оперативная продолжительность технических обслуживаний (плановых текущих ремонтов), чел.-ч/ч</p> <p>Удельная суммарная оперативная трудоемкость технических обслуживаний (плановых текущих ремонтов), чел.-ч/ч</p> <p>Объединенная удельная оперативная продолжительность (трудоемкость) технических обслуживаний, плановых текущих ремонтов, чел.-ч/ч</p>	$T_{TO(TP)} = \frac{\sum_{j=1}^N t_{TOj(TPj)}}{\sum_{j=1}^N t_{pj}}$ $W_{TO(TP)} = \frac{\sum_{j=1}^N W_{TOj(TPj)}}{\sum_{j=1}^N t_{pj}}$ $T = \frac{\sum_{j=1}^N t_{TOj} + \sum_{j=1}^N t_{TPj}}{\sum_{j=1}^N t_{pj}}$ $W = \frac{\sum_{j=1}^N W_{TOj} + \sum_{j=1}^N W_{TPj}}{\sum_{j=1}^N t_{pj}}$	<p>$t_{TOj(TPj)}$ — суммарная оперативная продолжительность технических обслуживаний (плановых текущих ремонтов) j-го изделия за наработку t_{pj}</p> <p>$W_{TOj(TPj)}$ — суммарная оперативная трудоемкость технических обслуживаний (плановых текущих ремонтов) j-го изделия за наработку t_{pj}</p>



ний срок службы до капитального ремонта, средняя наработка на отказ, среднее время восстановления, коэффициент надежности, удельная относительная стоимость запасных частей, коэффициент неисправности или коэффициент готовности;

для составных частей и сборочных единиц — средний или процентный ресурс до капитального ремонта, средний ресурс до снятия (замены), средний срок службы до снятия (замены); для деталей — средний ресурс до снятия (замены), средний срок службы до снятия (замены).

При периодических углубленных исследованиях оборудования круг показателей, характеризующих свойства надежности, значительно шире.

Расчетные формулы для определения показателей надежности также обозначения и определения величин, входящих в формулы, приведены в табл. 3.

Применяемый в последние годы для оценки степени надежности очистного оборудования коэффициент неисправности (предложен А. Д. Гридиным) вместо коэффициента готовности позволяет наиболее полно и «тонко» оценивать главное проявление недостаточной надежности очистного оборудования в эксплуатации, каким является снижение производительности участка или званое отказами оборудования в работе; установить потери времени на простой очистного оборудования из-за отказов комбайнов (струга). Коэффициент неисправности наиболее сопоставим в различных условиях и режимах эксплуатации очистного оборудования и пригоден как для анализа работы действующего, так и расчетов проектируемого оборудования.

1.3. ВЫБОР, НОРМИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

Как известно, надежность является комплексным свойством, включающим в себя долговечность, безотказность, ремонтопригодность и сохраняемость. Каждое из этих свойств может характеризоваться либо одним, либо несколькими показателями.

Показатель, оценивающий каждое из свойств, может быть групповым, оценивающим надежность только совокупности изделий либо условно индивидуальным, оценивающим надежность как совокупности изделий, так и каждого изделия из совокупности. В этом не следует понимать, что условно индивидуальный показатель по своей величине должен оценивать надежность конкретного изделия данного наименования. По своему смыслу этот показатель равен минимальной или максимальной величине показателя для совокупности изделий и, как следствие, величина этого показателя относится к каждому члену совокупности.

В настоящее время дискутируется вопрос о целесообразности введения для оценки надежности наряду со средними значениями условно индивидуальных показателей, которые чаще называются установленными.

В пользу введения условно индивидуальных показателей применяются следующие доводы: потребителю каждого конкретного изделия необходимо знать, какую минимальную или максимальную ичину (в зависимости от смысла показателя) будет иметь изделие; органы Госстандарта должны контролировать надежность каждого конкретного изделия, заложенную в этом изделии изготовителем, и поддерживаемую затем потребителем путем соблюдения требований нормативно-технической документации.

Вряд ли эти доводы справедливы. Потребителю, действительно, хотелось бы знать, какой показатель надежности будет иметь его изделие. Однако, как сказано выше, условно индивидуальный показатель оценивает минимальное или максимальное значение показателя, фактическое значение которого для конкретного изделия может отличаться на порядок. Оценка показателя долговечности перед началом эксплуатации для конкретного изделия вообще невозможна в силу постановки неразрешимой задачи; оценка того показателя долговечности предполагает исчерпание ресурса конкретного изделия, которое, естественно, имеет место после окончания эксплуатации этого изделия.

Таким образом, введение в нормативно-техническую документацию условно индивидуальных показателей (минимального или максимального в зависимости от смысла показателя) может ввести в заблуждение и даже принести вред потребителю конкретного изделия, так как он спланирует все необходимые средства исходя из минимальной или максимальной величины показателя, а фактически эта величина может оказаться на порядок выше.

Вопрос контроля показателей надежности конкретного изделия, исключением показателей долговечности, проще решается при использовании для оценки надежности показателей совокупности изделий (средних или гамма-процентных), так как в этом случае достаточно на одном изделии пронаблюдать несколько реализаций случайной величины. В то же время для контроля условно индивидуальных показателей необходимо иметь в достаточном объеме минимальные или максимальные значения случайной величины, что трудно осуществить на нескольких изделиях, т. е. в этом случае условно индивидуальный показатель проявляет свою двойственную природу как групповой.

Из приведенного выше следует, что для целей планирования регламента поддержания уровня надежности у конкретного потребителя и контроля этого регламента следует использовать групповые показатели совокупности: средний или гамма-процентный ресурс до первого капитального ремонта, наработку на отказ, среднее время восстановления, объединенную удельную оперативную трудоемкость технических обслуживаний и текущих ремонтов и др.

Следующий вопрос, который необходимо рассмотреть, это нормирование надежности для изделий и входящих в него составных частей, сборочных единиц и деталей.

В настоящее время, как правило, нормируются показатели на-

дежности для изделия в целом (очистной комбайн, забойный веер, механизированная крепь и т. п.), так как функциональная машина обеспечивает конечный результат выполняемого процесса.

Методически не представляет труда для машины в целом нормировать ту или иную номенклатуру показателей для своей безотказности и ремонтпригодности. Иное положение с нормированием долговечности. Машина состоит из составных частей сборочных единиц и деталей. Эти элементы имеют различную долговечность, например, у конвейера СП202 долговечность скреповой цепи в 1,6 выше чем звездочки, возможны и более существенные отличия. Поэтому наряду с нормированием показателей долговечности последних для машины в целом возникает необходимость нормирования показателей долговечности основных составных частей машины, например редукторов режущей части и механизма подачи у очистных комбайнов, решетчатого става и привода у скреповых конвейеров и других составных частей и сборочных единиц.

Перед нормированием показателей долговечности необходимо решить вопрос о предельном состоянии изделия или сборочных единиц, иными словами количественно и качественно охарактеризовать нарушение работоспособного состояния изделия.

Показатели надежности следует нормировать на стадии технического задания: устанавливать путем расчета, исходя из директивно заданного объема производимой продукции, или, что более целесообразно, так как не обеспечивается оптимальная величина показателя, задавать директивно непосредственно показатели.

На стадии технического задания нормируются показатели отказности и долговечности; показатели ремонтпригодности нормируются вообще, а регламентируются в технологических картах, начиная со стадии технического проекта, т. е. с момента, когда известна конструкция изделия и можно определить меры по техническому обслуживанию. Уровень технического обслуживания установленный в технологических картах на изделие, должен быть таким, чтобы данная конструкция, приобретенная потребителем за определенную цену, обеспечила ему заданный в техническом задании уровень долговечности и безотказности.

Итак, метод нормирования свойств надежности подобен методу построения размерной цепи, в которой обязательно должен быть свободный размер. Поясним это положение на примере реляционной модели безотказности тяговой цепи комбайна, в которой результирующим фактором является наработка на отказ (разрыв тяговой цепи комбайна), а факторами — признаками являются три группы факторов: несущая способность (разрыв усилии) цепи, определяемая ее конструктивным исполнением; нагруженность цепи, определяемая горно-геологическими и горно-техническими условиями эксплуатации; поддержание заложенной цепи надежности, определяемой качеством эксплуатации и организацией работы в лаве (рис. 3).

На всех стадиях, последующих за техническим заданием,

Результирующий фактор-наработка цепи на отказ (1)		
Несущая способность	Нагруженность (1)	Поддержание надежности (2)
Конструктивное исполнение	Условия эксплуатации	Качество эксплуатации

3. Размерная цепь факторов, влияющих на наработку на отказ тяговой цепи очистных комбайнов:

1 — нормируемых на стадии технического задания; 2 — то же, неформируемых

Показатели надежности контролируются: на стадиях разработки чертежей на опытный образец, установочную серию, установившего серийное производство — путем расчета с использованием аналитических зависимостей, например, регрессионных; на стадиях испытаний опытных образцов, установочных серий, установившего серийного производства — путем испытаний.

Нормируемые и контролируемые показатели надежности должны устанавливаться в следующей нормативно-технической документации:

в стандартах и технических условиях (общие технические условия);

в технических требованиях (общие технические требования);

в технических заданиях;

в расчетных записках к техническому проекту;

в расчетных записках к рабочему проекту;

в программах и методиках испытаний, в картах технического обслуживания и качества.

Во всех перечисленных документах, за исключением программ методик испытаний, должны указываться номенклатура показателей и их величины; в этих же документах должны указываться условия эксплуатации и (или) испытаний и уровень качества эксплуатации, при которых обеспечиваются значения показателей надежности.

Выбор номенклатуры нормируемых, регламентируемых и в последующем контролируемых показателей надежности возможен на основе профессионально-логических соображений с учетом следующих предпосылок: каждое из свойств надежности (долговечность, безотказность, ремонтпригодность) * должно оцениваться показателем, наиболее полно характеризующим это свойство; общая номенклатура показателей должна быть возможно минимальной.

В руководстве этими предпосылками, для очистного оборудования принята следующая номенклатура показателей, включаемых в нормативно-техническую документацию:

средний ресурс до первого капитального ремонта, характеризующий свойство долговечности; этот показатель нормируется на стадии технического задания и контролируется на последующих стадиях;

* Свойство сохраняемости в угольном машиностроении не имеет практического применения, так как изделия не подвергаются длительному хранению.

коэффициент неисправности, характеризующий свойства безотказности и ремонтпригодности, или наработка на отказ, характеризующая свойство безотказности; эти показатели нормируются на стадиях технического задания и контролируются на последующих стадиях;

объединенная удельная оперативная трудоемкость технического обслуживания и текущих ремонтов;

удельная относительная стоимость запасных частей. Последние два показателя характеризуют свойство ремонтпригодности и регламентируются в нормативно-технической документации с учетом конструктивного исполнения машины, на основании которой разрабатывается технический проект (объединенная удельная оперативная трудоемкость технического обслуживания и текущих ремонтов) и после года промышленной эксплуатации серийного оборудования (удельная относительная стоимость запасных частей).

Нормированию показателей надежности должен предшествовать прогноз показателей на перспективу. Прогноз выполняется путем выявления тенденции изменения показателей надежности в ретроспективном периоде и экстраполяции этой тенденции на перспективу, при этом чем больше величина ретроспективного периода, тем точнее прогноз.

Номенклатура показателей долговечности и безотказности, установленная в ТЗ на опытный образец, действует на всех стадиях создания изделия: опытный образец, установочная серия, серийное производство.

Величины показателей долговечности и безотказности коррелируются по результатам их контроля в зависимости от стадий создания изделия: ТЗ на опытный образец, ТЗ на установочную серию, технические условия (ТУ) на серийное производство.

Величины показателей долговечности и безотказности коррелируются по результатам их контроля в зависимости от стадий создания изделия: ТЗ на опытный образец, ТЗ на установочную серию, технические условия (ТУ) на серийное производство.

При отсутствии исходных данных для определения некоторых показателей в период разработки ТЗ на опытный образец, можно нормировать эти показатели на последующих стадиях разработки изделия (технический проект, рабочий проект, эксплуатация опытного образца и др.).

Нормирование (задание) величин показателей долговечности и безотказности производится путем расчета по зависимости, связывающим их с показателем эффективности изделий (годовой нагрузка на лаву). Показатели эффективности изделий принимаются в соответствии с заданием, установленным в отрасли на определенный год перспективного периода.

Расчетные нормированные показатели сопоставляются с прогнозируемыми. Первые должны быть ниже вторых за тот же период, что свидетельствует об их технической достижимости. Уясним методику расчета на примере.

Пример расчета * показателей надежности очистного комбайна и сопоставление их с данными прогноза.

Предположим, что запланирована годовая добыча угля из пластов мощностью 1—1,6 м в объеме 73 млн. т. Для выемки угля из пластов этой мощности предназначен комбайн унифицированного ряда типоразмера ПУ10. Среднее-всего число комбайнов на год планируется 300 шт. при соотношении их парке: 100 новых и 200 отремонтированных. Коэффициент восстановления ресурса комбайнов при ремонте составляет 0,9. Норматив среднего ресурса должны быть выработаны за один год. Время эффективной работы комбайна по норме, заручке и зачистке планируется не менее 30 % времени смены, при этом остон из-за отказов оборудования механизированного комплекса, в том числе комбайна, должны составлять не более 15 % времени смены.

Необходимо определить: норматив среднего ресурса комбайна до первого капитального ремонта при определенных условиях эксплуатации; норматив коэффициента неисправности на всем сроке службы комбайна до первого капитального ремонта при определенных условиях эксплуатации.

Расчет ведется в следующей последовательности.

1. Для определения нормативов среднего ресурса составляется уравнение

$$0,7 \bar{t}_{Rk} + 200 \bar{t}_{R.к} = 73\,000 \text{ тыс. т.}$$

$$\bar{t}_{R.к} = 0,9 \bar{t}_{Rk},$$

где \bar{t}_{Rk} — норматив среднего ресурса до первого капитального ремонта комбайна при определенных условиях эксплуатации; $\bar{t}_{R.к}$ — норматив среднего ресурса между капитальными ремонтами комбайна при определенных условиях эксплуатации, тыс. т.

Из уравнения находится \bar{t}_{Rk} :

$$0,7 \bar{t}_{Rk} + 0,9 \cdot 200 \bar{t}_{Rk} = 73\,000 \text{ тыс. т.}$$

$$\bar{t}_{Rk} = \frac{73\,000}{280} = 260,7 \approx 261 \text{ тыс. т.}$$

Сопоставляя $\bar{t}_{Rk} = 261$ тыс. т с величиной среднего прогнозируемого на год ресурса — 300—400 тыс. т, увидим, что расчетный показатель меньше прогнозируемого. Отсюда можно сделать вывод, что на расчетный период он технически достижим.

2. Норматив коэффициента неисправности очистного механизированного комплекса рассчитывается по аналогии с формулой, приведенной в табл. 3, с учетом условий задачи:

$$K_n = \frac{0,15 t_{см}^n}{0,3 t_{см}^n} = 0,5,$$

где $t_{см}$ — длительность рабочей смены, ч; n — число рабочих смен, за которые получен объем добычи, равный 73 млн. т.

Многолетние наблюдения и полученные статистические данные показали, что коэффициент неисправности у очистного комбайна и забойного конвейера примерно равны между собой; у механизированной крепи коэффициент неисправности в два раза ниже, чем у комбайна и конвейера. Исходя из этого условия получено значение $K_n = 0,5$ можно распределить между машинами комплекса: очистной комбайн $K_n = 0,2$; забойный конвейер $K_n = 0,2$; механизированная крепь $K_n = 0,1$.

2.1. Проверим, обеспечивает ли уровень коэффициента неисправности очистного комбайна, равный 0,2, расчетный объем добычи (73 млн. т) при следующих условиях: средняя вынимаемая мощность пласта $m_{ср} = 1,3$ м, захват комбайна $h = 0,63$ м, скорость подачи комбайна $v = 2,5$ м/мин, плотность угля в целике $\rho = 1,2$ т/м³.

* Здесь и далее цифровые данные в примерах являются условными.

Для этой цели определяются:
эффективное время работы комбайна за год

$$\Phi = D_{\text{раб}} / \text{раб} K_M,$$

где $D_{\text{раб}} = 307$ — число рабочих дней в году; $t_{\text{раб}} = 18$ — продолжительность работы в добычных сменах, ч; $K_M = 0,3$ — коэффициент машинного времени раб комбайна;

$$\Phi = 307 \cdot 18 \cdot 0,3 = 1657,8 \text{ ч}$$

часовая производительность комбайна

$$Q_{\text{час}} = m_{\text{ср}} N \nu,$$

или $Q_{\text{час}} = 1,3 \cdot 0,63 \cdot 2,5 \cdot 1,2 = 2,46 \text{ т/мин} = 147,4 \text{ т/ч}$;
объем добычи одним комбайном в год

$$Q_{\text{год}} = 147,4 \cdot 1657,8 = 244 \text{ тыс. т.}$$

суммарный объем добычи 300 комбайнами в год

$$Q_{\text{сум}} = 244 \cdot 300 = 73,3 \text{ млн. т.}$$

Вывод: заданный уровень коэффициента неисправности очистного механизма заданного комплекса равный 0,5, и очистного комбайна, равный 0,2, обеспечивают установленный объем добычи.

2.2. Заданный уровень коэффициента неисправности очистного комбайна сопоставляется с прогнозируемой величиной данного коэффициента, установленного в отрасли для очистных комбайнов. Если заданный уровень коэффициента неисправности выше прогнозируемого его значения, то задание по объему добычи угля будет выполнено; если ниже — задание выполнено не будет.

При контроле показателей долговечности изделия в целом (среднего ресурса до первого капитального ремонта $\bar{t}_{\text{жк}}$, среднего срока службы до первого капитального ремонта $\bar{t}_{\text{к}}$) на стадии разработки чертежей рассчитывается оптимальная долговечность при условии минимума текущих затрат на единицу произведенной продукции за весь срок службы изделия до списания, т. е. при минимальной себестоимости произведенной продукции.

Исходные данные для определения двух основных составляющих суммарной функции потребителя (начальная стоимость изделия и удельные эксплуатационные затраты) принимаются по ближайшему аналогу создаваемого изделия с учетом темпов изменения удельных эксплуатационных расходов в прогнозируемом периоде. При этом принимается, что темпы изменения удельных эксплуатационных расходов равны темпам изменения коэффициента неисправности. Методика и пример расчета оптимального среднего ресурса до первого капитального ремонта для вновь создаваемого очистного комбайна приведены ниже.

Контроль показателей долговечности изделия в целом на стадиях испытаний и промышленной эксплуатации осуществляется по статистическим данным в соответствии с ГОСТ 16468—79, ГОСТ 27.502—83 (средний ресурс до первого капитального ремонта и средний срок службы до первого капитального ремонта).

Контроль показателей долговечности основных сборочных единиц — среднего ресурса до первого капитального ремонта и сред-

него срока службы до первого капитального ремонта производится путем сопоставления этих показателей, полученных при испытании опытного образца (нормирование), испытаниях установочной серии и при промышленной эксплуатации (контроль). Оценка показателей производится в соответствии с ГОСТ 16468—79, ГОСТ 27.502—83.

Показатели долговечности принимаются как средние наработки и сроки службы до предельного состояния (ПС) для каждой рассматриваемых сборочных единиц.

1.4. РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО СРЕДНЕГО РЕСУРСА ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В качестве критерия оптимальности примем минимальную себестоимость угля за срок службы оборудования до списания [5], т. е. запишем

$$\min n = a + 2 \sqrt{\frac{S_n + \sum_{i=1}^{n-1} R_i}{\frac{1}{b_1} + \frac{1}{b_{\text{кр}}} (n-1)}}, \quad (1)$$

где a — удельные эксплуатационные расходы в начале первого и каждого из межремонтных периодов, руб/т; S_n — стоимость (цена) нового оборудования, руб.; R_i — стоимость (цена) однократного капитального ремонта, руб.; b_1 — скорость нарастания удельных эксплуатационных затрат в первый период работы, руб/т²; $b_{\text{кр}}$ — скорость нарастания удельных эксплуатационных затрат в межремонтные периоды, руб/т²; i — число периодов (до первого капитального ремонта и межремонтных) эксплуатации оборудования; $i = 1, 2, 3, \dots$ — номер капитального ремонта.

Оптимальный ресурс оборудования до первого капитального ремонта определяется по формуле [5]

$$= \frac{1}{b_1} \sqrt{\frac{S_n + \sum_{i=1}^{n-1} R_i}{\frac{1}{b_1} + \frac{1}{b_{\text{кр}}} (n-1)}}. \quad (2)$$

Оптимальный ресурс оборудования в межремонтные периоды определяется по формуле [5]:

$$= \frac{1}{b_{\text{кр}}} \sqrt{\frac{S_n + \sum_{i=1}^{n-1} R_i}{\frac{1}{b_1} + \frac{1}{b_{\text{кр}}} (n-1)}}. \quad (3)$$

В [5] показано, что зависимости (1)—(3) справедливы для случая, когда удельные эксплуатационные расходы до капиталь-

ного ремонта и между капитальными ремонтами изменяются линейному закону и начальная величина удельных эксплуатационных затрат для всех межремонтных периодов будет одной.

Исследования показали, что эти условия имеют место при эксплуатации очистных комбайнов и, следовательно, зависимости (1) — (3) могут быть использованы при оптимизации показателя долговечности.

Как видно из указанных зависимостей, необходимые исходные данные включают:

стоимость нового оборудования $S_{\text{н}}$, которая представляет собой отпускную цену с учетом стоимости доставки его на шахту (франкошахта) и принимается по действующим прейскурантам; удельные эксплуатационные расходы a (руб/т) в начале первого и каждого из межремонтных периодов, которые определяются как

$$a = C_{\text{уб}} q,$$

где $C_{\text{уб}}$ — убытки от часа простоя оборудования; q — удельное время восстановления в начале первого и каждого из межремонтных периодов.

Величина $C_{\text{уб}}$ зависит от условно-постоянных расходов, к которым относятся:

зарплата обслуживающего персонала и другие составляющие, определяется по методике [6];

скорость нарастания b_1 (руб/т²) удельных эксплуатационных расходов в первый период работы

$$b_1 = C_{\text{уб}} \frac{k_1}{2};$$

скорость нарастания $b_{\text{кр}}$ (руб/т²) удельных эксплуатационных расходов в межремонтные периоды

$$b_{\text{кр}} = C_{\text{уб}} \frac{k_{\text{кр}}}{2}.$$

где k_1 и $k_{\text{кр}}$ — соответственно скорости нарастания удельного времени восстановления в первый и межремонтные периоды (ч/10 тыс. т)².

Для определения q , k_1 и $k_{\text{кр}}$ необходимо на основе статистических данных об эксплуатации оборудования построить график изменения удельного времени восстановления $t_{\text{в.уд}}$ в зависимости от наработки оборудования в интервалах по 10 тыс. т (рис. 4) нового или отремонтированного оборудования.

Полученные зависимости по методу наименьших квадратов аппроксимируются прямыми линиями:

для нового оборудования (в ч/10 тыс. т)

$$t_{\text{в.уд}} = q + k_1 l,$$

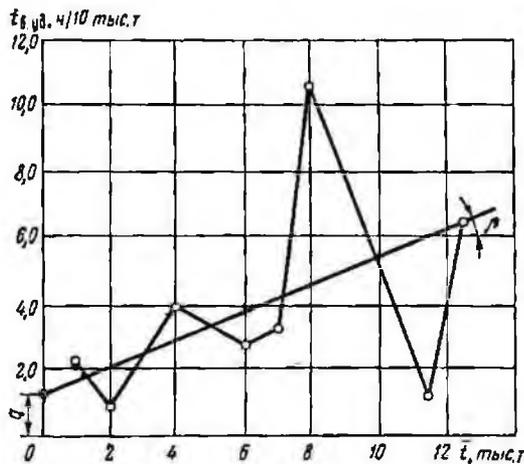


Рис. 4. Зависимость удельного времени $t_{\text{в.уд}}$ восстановления очистных комбайнов от наработки на отказ l

оборудования, прошедшего капитальный ремонт (в ч/10 тыс. т),

$$t_{\text{в.уд}} = q + k_{\text{кр}} l, \quad (8)$$

l — наработка комбайна, 10 тыс. т.

Стоимость (цена) однократного капитального ремонта принимается по данным рудоремонтных заводов.

Для очистных комбайнов стоимость (цена) капитального ремонта может быть рассчитана по зависимости

$$R_{\text{отп}} = 0,5R_{\text{отп}} + 0,25R_{\text{отп}}(i - 1), \quad (9)$$

где $R_{\text{отп}}$ — отпускная стоимость (цена) однократного капитального ремонта, принимается по прейскуранту предприятия, ремонтирующего очистной комбайн, на который разрабатывается норма; $i = 1 \div 5$ — номер капитального ремонта.

Определение оптимальной величины среднего ресурса оборудования данной модели выполняется в следующем порядке:

по статистическим данным определяются зависимости удельного времени восстановления от наработки оборудования, которые аппроксимируются линейными зависимостями [см. формулы (7) и (8)];

на основании полученных зависимостей находятся начальная величина удельного времени восстановления q и скорость его нарастания в период работы изделий до и между капитальными ремонтами k_1 и $k_{\text{кр}}$;

находятся величины начальных удельных эксплуатационных затрат a , скорости нарастания удельных эксплуатационных за-

трат b , в период эксплуатации до капитального ремонта и в между ремонтами по формулам (5) и (6);

рассчитывается стоимость капитальных ремонтов по формуле (9);

рассчитываются величины себестоимости добытого угля одним, двух, трех и т. д. периодах эксплуатации оборудования, срок его службы по формуле (1);

путем сравнения рассчитанных величин находится то число периодов эксплуатации, при котором себестоимость угля будет минимальной;

рассчитывается оптимальная величина наработки (ресурса) оборудования до капитального ремонта и между ремонтами по формулам (2) и (3).

Для построения зависимости удельного времени восстановления от наработки комбайна необходимо иметь данные о потерях времени из-за отказов в каждом из интервалов по 10 или 20 тыс. т на протяжении всей наработки от начала эксплуатации до замены оборудования. Допускается иметь «пустые» (без отказов) интервалы. Для сокращения объема наблюдений рекомендуется иметь интервалы с отказами и без отказов через один. В таблице приведен пример регистрации данных о потерях времени при учете норматива ресурса очистного комбайна в интервале наработки 0—20 тыс. т, данные в остальных интервалах (21—40, 41—60 тыс. т и т. д.) регистрируются аналогичным образом (допускается табл. 4 заполнять данными по машинам, переданным на капитальный ремонт в предыдущий перед наблюдениями год).

В каждом интервале наработки с отказами должно быть зарегистрировано не менее пяти отказов оборудования. Общее число отказов в интервалах на всей наботке оборудования до замены составляет не более 20 (при наработке до замены 400 тыс. т и величине интервала 20 тыс. т); 10 из них могут быть с отказами и 10 без отказов, т. е. общее число зарегистрированных отказов должно составлять не менее 50. Для одного из самых надежных видов оборудования — комбайнов, у которых случается один отказ в четырех сменах, — продолжительность наблюдений составит 200 смен.

За оптимальную величину норматива ресурса $t_{РК, норм}$ (тыс. т) принимается величина среднего ресурса с отклонением 10% (с большей и меньшую стороны):

$$t_{РК, норм} = t_{РК, норм} \pm 0,1 t_{РК, норм}$$

Пример расчета оптимальных величин нормативов среднего ресурса очистного комбайна до первого капитального ремонта и между ремонтами (норматива среднего ресурса аналога создаваемого комбайна).

Для определения зависимости времени восстановления от наработки комбайна использовались данные хронометражных наблюдений и сведения о ресурсах новых и отремонтированных комбайнов.

При статистической обработке исходных данных все наблюдавшиеся комбайны разделены на группы в зависимости от наработки комбайна на момент хронометража. Величина интервала каждой группы принята 20 тыс. т (табл. 5).

Таблица 4

Исходные данные для определения изменения удельного времени восстановления

Заводской номер комбайна	Среднесуточная производительность, т*	Нарботка на момент хронометража, т*	Данные из хронокарт				Среднее время простоя, мин	Число отказов	Время восстановления, мин
			добыча за время наблюдения, т	Продолжительность наблюдений					
				смен	мин				
1059	380	9 500	212	2	720 (6)	167	—	20	
1175	532	13 300	332	2	720 (6)	228	1	6	
1171	537	13 400	315	3	1080 (6)	128	1	8	
							1	25	
904	566	14 150	462	4	1440 (6)	284	—	—	
942	580	14 500	1441	4	1440 (6)	634	—	—	
1131	593	14 800	1141	4	1440 (6)	634	—	—	
1131	593	14 800	1141	4	1440 (6)	634	—	—	
1479	625	15 600	709	4	1440 (6)	502	1	21	
893	628	15 700	826	4	1440 (6)	302	1	4	
893	628	15 700	815	4	1440 (6)	287	1	3	
			799,4				7	87	

* Для комбайна и конвейера принимается по данным учетной документации шахты (т/сут); средн. — в графе указывается всегда наработка 24 ч/сут;
* Получена умножением данных третьей колонки на продолжительность работы оборудования (сут) на момент начала хронометража.

Таблица 5

Результаты расчета удельного времени восстановления очистных комбайнов

Группы	Величина наработки в интервале, тыс. т	Удельное время восстановления, ч/10 тыс. т	№ 1-й группы	Величина наработки в интервале, тыс. т	Удельное время восстановления, ч/10 тыс. т
1	0—20	1,8	10	181—200	6,1
2	21—40	1,75	11	201—220	13,75
3	41—60	6,6	12	221—240	Н. д.
4	61—80	3,3	13	241—260	6,25
5	81—100	4	14	261—280	6,85
6	101—120	8,35	15	281—300	Н. д.
7	121—140	8,5	16	301—320	12,25
8	141—160	Н. д.	17	321—340	Н. д.
9	161—180	6,6	18	341—360	12,3

По каждой из i групп определены средние значения времени восстановления \bar{t}_{ai} (ч) и добычи \bar{Q}_i (т), приходящиеся в среднем на один комбайн:

$$\bar{t}_{ai} = \frac{\sum_{j=1}^N t_{aij}}{N_i}$$

$$\bar{Q}_i = \frac{\sum_{j=1}^N Q_{ij}}{N_i}$$

где t_{aij} — время восстановления отказов j -го комбайна в i -й группе; Q_{ij} — добыча j -го комбайна в i -й группе; N_i — число комбайнов в каждой из i групп.

Удельное время восстановления $t_{в.уд}$ в час на 10 тыс. т наработки комбайна в каждой из i -й групп, определено по формуле

$$t_{в.удi} = \frac{\bar{t}_{ai} \cdot 10^4}{\bar{Q}_i}$$

Результаты расчета удельного времени восстановления приведены в табл. 5. По данным табл. 5 можно строить график изменения удельного времени восстановления $t_{в.удi}$ в зависимости от наработки комбайна до первого капитального ремонта (аналогично рис. 4).

График аппроксимируется прямой

$$t_{в.удi} = 2,79 + 0,27i$$

Таким же образом определена зависимость удельного времени восстановления $t_{в.уд.кр}$ (ч/10 тыс. т) от наработки для отремонтированных комбайнов

$$t_{в.уд.кр} = 2,79 + 0,31i$$

Из уравнений регрессии (13) и (14) следует, что начальная величина удельного времени восстановления q и скорости его нарастания в первый k_1 и $k_{кр}$ ремонтные периоды составляют:

$$q = 2,79 \text{ ч/10 тыс. т}; \quad k_1 = 0,27 \text{ ч/(10 тыс. т)}^2;$$

$$k_{кр} = 0,30 \text{ ч/(10 тыс. т)}^2;$$

Величина убытков от 1 ч простоя лавы в добычную смену согласно [6] данным Донгипроуглемаша принимается $C_{тв} = 123$ руб/ч.

Величины стоимости капитальных ремонтов определены по формуле

$$R_i = 0,5R_{отп} + 0,25R_{отп}(i-1),$$

где $R_{отп}$ — отпускная стоимость (цена) капитального ремонта, руб.; $i=1$ — порядковый номер капитального ремонта.

Предположим, цена нового комбайна S_n с механизмом подачи по прейскуранту составляет 18,8 тыс. руб., а с учетом стоимости доставки на шахту — 20,2 тыс. руб.

Значения a , b_i , R_i , которые являются исходными для определения удельных величин среднего ресурса до капитального ремонта и в межремонтные периоды, приведены в табл. 6.

Величины оптимальных средних ресурсов комбайна до капитального ремонта $t_{к.опт}$ и между капитальными ремонтами $t_{м.к.опт}$ определяются по формулам (2) и (3).

Эти показатели для оцениваемого комбайна до капитального ремонта составляют $t_{к.опт} = 223$ тыс. т, а между капитальными ремонтами $t_{м.к.опт} = 203$ тыс. т.

Таблица 6

Расчетные значения периодов эксплуатации очистных комбайнов

Наименование данных	Число периодов эксплуатации				
	I	II	III	IV	V
Стоимость i -го капитального ремонта R_i , руб.		2595	3893	5190	6490
Удельные эксплуатационные затраты a , коп/т	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43
Скорость нарастания удельных эксплуатационных затрат b_i	$16,6 \cdot 10^{-6}$	$18,2 \cdot 10^{-6}$	$18,2 \cdot 10^{-6}$	$18,2 \cdot 10^{-6}$	$18,2 \cdot 10^{-6}$

Учитывая, что экстремум суммарной функции затрат неярко выражен, для малой величины среднего ресурса допускаются отклонения $\pm 10\%$.

$$t_{к.опт} = 223 \pm 22 \text{ тыс. т} = 201 \div 245 \text{ тыс. т};$$

$$t_{м.к.опт} = 203 \pm 20 \text{ тыс. т} = 183 \div 223 \text{ тыс. т}.$$

Норматив величины среднего ресурса вновь создаваемого комбайна необходимо рассчитывать с учетом темпа изменения удельных эксплуатационных затрат.

Согласно прогнозу характеристик надежности механизированных комплексов изменения (уменьшения) удельных эксплуатационных затрат в перспективном периоде составит 1,5, т. е. будет в 1,07 раза ниже, чем средний темп в предыдущих пятилетках. Скорость изменения удельных эксплуатационных затрат в период до первого капитального ремонта и в межремонтные периоды составит соответственно $15,5 \cdot 10^{-6}$ и $17,0 \cdot 10^{-6}$ коп/т². Рассчитанная по этим данным величина оптимального среднего ресурса комбайна до капитального ремонта составит 231 тыс. т.

1.5. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Контроль показателей безотказности для изделия в целом (наработка на отказ \bar{t} , комплексный показатель \bar{t}^* / \bar{t}) осуществляется по известным в теории надежности зависимостям с использованием результатов оценки сборочных единиц.

В табл. 7 приведены причины отказов для трех систем и двух элементов комбайна, которые по данным хронометражных наблюдений вызывают 88,8% отказов комбайна в добычные смены продолжительностью их устранения 91,2% общей продолжительности. Эти причины наиболее существенно влияют на безотказность комбайна. Кроме того, сход комбайна и разрыв цепи могут привести к травмированию людей и требуют для своего устранения значительных затрат тяжелого физического труда.

Расчет показателей безотказности для основных сборочных единиц осуществляется с использованием множественных регрессионных моделей, построенных с учетом трех составляющих, оп-

Таблица 7

Причины отказов очистных комбайнов

Система или элемент	Возможные причины отказа	Число отказов, % общего	Продолжительность, % общей
Система энергоснабжения	Износ, вырывы обкладки кабеля	15	20
	Не срабатывает контакт пускателя	8,2	5
Система орошения	Разрыв рукава	7	8
	Засорение форсунки	17,9	8,5
Гидросистема	Засорение насоса	3	2
	Повреждение гидроразводки	1	3,9
	Нарушение герметичности домкрата	5,7	18
	Нарушение герметичности блока управления	3,4	7
Неполночный отказ	Сход комбайна	25,3	13,9
	Тяговая цепь	2,3	3,6
Прочие	Разрыв цепи	11,2	8,8
Итого по комбайну		100	100

типов комбайнов (1К101, 2К52, 1ГШ68 и др.), что расширит диапазон действия модели, и, во-вторых, рассматривать четыре фактора, т. е. помимо горно-геологических и горнотехнических учесть в модели конструкцию машины и организацию работ по ее эксплуатации, что повысит достоверность модели.

Для возможности расчета надежности вновь создаваемого комбайна необходимо обеспечить высокую дифференциацию факторов и разработать модели расчета надежности по каждому элементу (по каждой причине) в отдельности: сход комбайна с направляющих, разрыв тяговой цепи, повреждение рукава орошения п.

Если во вновь создаваемом комбайне отказы какого-либо типа будут исключены, то это можно легко учесть при расчете надежности комбайна в целом.

Для определения правомерности применения множественной регрессионной модели следует указывать типы машин, включенных в модель, и диапазон варьирования факторов.

В качестве результирующего фактора следует принимать один из тех же показателей надежности для всех причин отказов, с тем чтобы получить в итоге показатель надежности комбайна в целом. Основные этапы построения множественной регрессионной модели отдельных единиц очистных комбайнов не отличаются от общепринятых методов, изложенных, например, в [7].

К группе факторов условий эксплуатации, определяющих надежность машины, относятся вынимаемая мощность пласта m , угол его падения α , сопротивляемость угля резанию A , длина лаза L . К факторам, которые связаны с конструкцией комбайна и определяют его несущую способность, относятся разрывное усилие тяговой цепи, масса комбайна, разрывное давление рукава орошения, длина незащищенного участка гидроразводки и др. Организацию работ при эксплуатации очистного оборудования можно отразить через коэффициент использования машинного времени K_m , продолжительность работы бригады с данным типом комбайна через P_p (квалификация бригады), среднесуточную продолжительность технического обслуживания через T_0 .

С учетом изложенного разработаны множественные регрессионные модели для наименее надежных сборочных единиц очистных комбайнов: опорных лыж (сход комбайна с направляющих) и тяговой цепи (разрыв).

Наработка на отказ из-за схода комбайна с направляющих (мин) составит

$$= 6805 - 300m - 111\alpha - 6L + 43K_m - 12\bar{A} + 42P_p - 1188T_0 + 100 \quad (17)$$

коэффициенте детерминации $d=0,87$.

Наработка на отказ из-за разрыва тяговой цепи $t_{\text{разр}}$ (мин) составляет

определяющих надежность: несущей способности, нагруженности и качества эксплуатации*. Модели должны быть построены для каждой причины отказа рассматриваемой сборочной единицы. Установление объективных количественных связей между конструктивным исполнением и надежностью очистных комбайнов имеет большое практическое значение. Такие зависимости позволяют при проектировании оборудования рассчитать надежность различных вариантов конструкции и выбрать из них наиболее оптимальный.

Большинство ранее предложенных множественных регрессионных моделей включают три или четыре фактора, характеризующих только условия эксплуатации (нагруженность машины) и отражают конструкционные факторы (несущую способность машины). Кроме того, в известных моделях не учтены показатели, отражающие организацию работы в лаве и качество эксплуатации (степень поддержания заложенной в машине надежности). Принципиальный подход к построению множественной регрессионной модели надежности элементов очистных комбайнов заключается в следующем. Целесообразно, во-первых, рассчитывать надежность отдельных типов сборочных единиц (опорные лыжи, тяговая цепь и др.) для совокупности анали-

* Под показателями качества эксплуатации здесь понимаются факторы K_m , P_p и T_0 в зависимостях (17) и (18).

Таблица 8

Факторы, влияющие на наработку очистных комбайнов на отказ

Факторы	Размах варьирования аргумента	Математическое ожидание	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент
X_1 — вынимаемая мощность пласта m , м	0,8—1,8	1,19	0,31	
X_2 — угол падения пласта α , градус	3—27	14,86	7,45	
X_3 — длина лавы L , м	120—334	214,54	58,21	
X_4 — коэффициент машинного времени K_M , %	12—57	32,27	15,45	
X_5 — сопротивляемость угля резанию \bar{A} , кН/м	126—300	192,95	59,81	
X_6 — продолжительность работы бригады с данным типом комбайна Π_P , лет	2—8	3,82	2,3	
X_7 — удельное время технического обслуживания ТО, ч (ТО)/ч(добычной смены)	0,07—0,43	Динамический ряд значений по осн абсцисс: 0,07; и 0,43		
X_8 — масса комбайна G , т	7,50—9,7	То же, 7,5; 8,8; 9,7		
X_9 — разрывное усилие цепи $P_{\text{разр}}$, МН	0,35—0,80	То же, 0,35; 0,66 и		

$$t_{\text{разр}} = 5247 - 61m^2 - 34\alpha + 6,3L + 17,5K_M - 13,4\bar{A} + 50,4\Pi_P - 155,9\text{ТО} + 8,3P_{\text{разр}}$$

при коэффициенте детерминации $d=0,8$.

Диапазон факторов, для которых действительны зависимости (17) и (18), приведен в табл. 8.

Множественный регрессионный анализ позволил также считать уравнения регрессии, характеризующие изменения результирующего фактора при изменении только одного из рассматриваемых факторов, а остальные из них закреплены на уровне их значений. Приведем зависимости (рис. 5, 6) для четырех факторов, наиболее существенно влияющих на сход комбайна и управляющих и разрыв цепи

$$t_{\text{сх}\alpha} = 6465 - 111\alpha;$$

$$t_{\text{разр}\alpha} = 5705 - 34\alpha;$$

$$t_{\text{сх}L} = 6102 - 6L;$$

$$t_{\text{разр}L} = 3711 + 6,3L;$$

$$t_{\text{сх}K_M} = 3428 + 43K_M;$$

$$t_{\text{разр}K_M} = 4398 + 17,5K_M;$$

$$t_{\text{сх}\bar{A}} = 7131 - 12\bar{A};$$

$$t_{\text{разр}\bar{A}} = 7016 - 13,4\bar{A}.$$

Для оценки качества множественных регрессионных моделей сопоставим результаты расчета по зависимости (18) и эксперимента. При определении расчетных значений в зависимость подставлены значения факторов в соответствии с исследованиями проведенными в Гипроуглемаше.

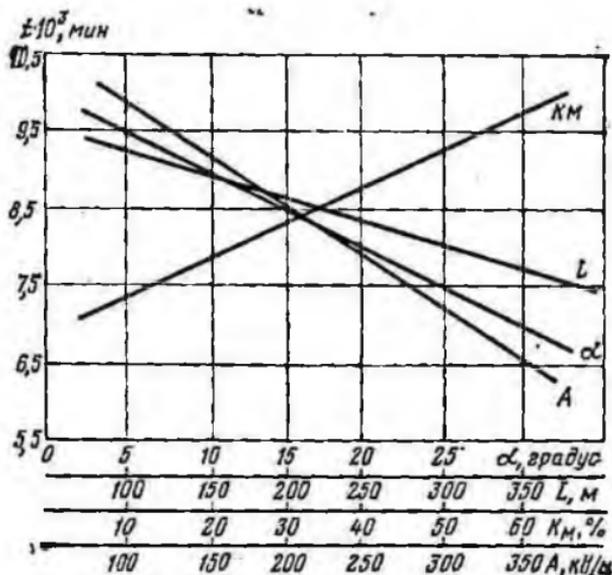


Рис. 5. Зависимость наработки на отказ \bar{t} по причине схода очистных комбайнов с направляющих от основных факторов

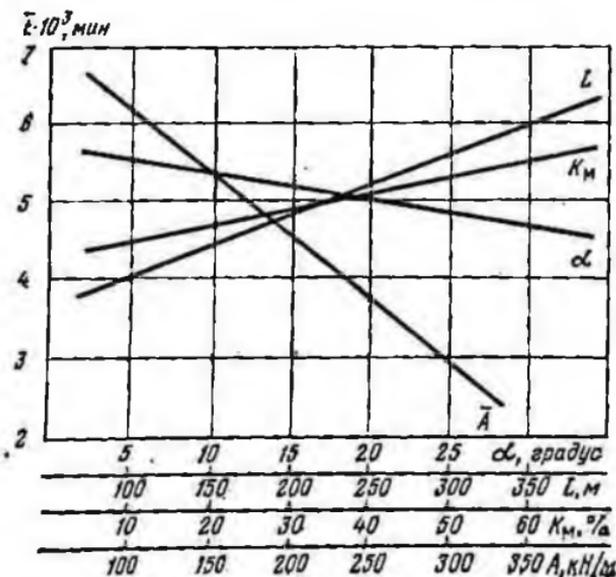


Рис. 6. Зависимость наработки на отказ \bar{t} по причине разрыва тяговой цепи очистных комбайнов от основных факторов

Расчет наработки (в минутах) на отказ по причине разрыва цепи комбайнов:

По модели	5010
По экспериментальной выборке	4903
Ошибка, %	-2,2

Сопоставление попарно расчетных и экспериментальных наработок на отказ из-за разрыва цепи дает удовлетворительную сходимость результатов — ошибка не превышает 1%. Следует заметить, что эта ошибка включает в себя и естественное несоответствие математических ожиданий случайных выборок.

Предлагаемая методика разработки множественных регрессионных моделей для отдельных причин отказов очистных комбайнов с учетом факторов условий эксплуатации, организации работ и конструкции оборудования позволила существенно повысить достоверность моделей, сократив долю неучтенных факторов до 13—20%.

Из уравнений (17—19) следует, что преобладающее влияние на наработку на отказ из-за схода комбайна оказывают следующие факторы: условия эксплуатации (нагруженность), конструкция (несущая способность) и организационные вопросы технического обслуживания.

Так, увеличение угла падения пласта на 1°, длины лавы на 10 м, сопротивляемости угля резанию на 10 кН/м снижает наработку на отказ из-за схода комбайна соответственно на 111, 120 мин. Увеличение угла падения пласта на 1° и сопротивляемости угля резанию на 10 кН/м снижает наработку на отказ из-за разрыва цепи соответственно на 34 и 134 мин; увеличение длины лавы на 10 м увеличивает наработку на отказ на 63 мин.

Уровень организации работ в лаве, отражающийся в коэффициенте машинного времени, взаимосвязан с наработкой на отказ комбайна по каждой анализируемой причине уравнениями

Методика и уравнения множественной регрессии могут использоваться для оценки надежности при проектировании очистных комбайнов аналогичной конструкции, в частности комбайнов унифицированного ряда.

Принципиальный подход к построению множественной регрессионной модели может быть использован при расчете безотказности при проектировании других видов оборудования.

Контроль показателей ремонтпригодности осуществляется путем сопоставления требуемого и фактического значений показателя объединенной удельной оперативной трудоемкости технического обслуживания и ремонта. В случае отсутствия данных о трудоемкости можно сопоставлять данные о регламентированном фактическом количестве ремонтных смен. Фактические данные должны быть равными и несколько выше нормативных. Только в этом случае потребитель вправе предъявлять претензии к изготовителю в том, что не выдерживается уровень долговечности и безотказности, установленный техническими условиями.

1.6. ОЦЕНКА РЕСУРСА ОЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО ЭКВИВАЛЕНТНОМУ ВРЕМЕНИ

Как видно из изложенного выше, в настоящее время принято оценивать ресурс очистного оборудования по календарно-машинному времени, объему добычи.

В соответствии с ГОСТ 27.002—83 под техническим ресурсом (ресурсом) понимают наработку объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта определенного вида до схода в предельное состояние.

Для очистного оборудования, как указывалось выше, принято считать и оценивать средний или γ %-ресурс. Поэтому в дальнейшем под ресурсом очистного оборудования понимается средний или γ %-ресурс.

Для очистного оборудования оценка ресурса начинается с момента окончания монтажа и наладки оборудования на месте; ресурс оборудования указывается в нормативно-технической документации. Например, в соответствии с [8] в настоящее время установлен следующий ресурс для очистного оборудования

(табл. 9):

Таблица 9
Нормативные значения ресурса очистного оборудования на 1980—1985 гг. [8]

Наименование и тип оборудования	Значения ресурса, ч (мес)	
	до 1-го капитального ремонта	между капитальными ремонтами
<i>Механизированные крепи, ч (мес)</i>		
Э, П, ВМ, ДГ; 2М87 (А, ДГА), М88, Басс*; 2М81Э, М130; МК75, 20КП70, К. 2АНЦ, 1АЦМ, КПКЛ Сильные станции СНУ-5	20 000 (28)	16 000 (22)
	5 000 (12)	4 000 (10)
<i>Очистные комбайны, тыс. т (мес)</i>		
	210 (12)	168 (10)
	270 (12)	216 (10)
	305 и 360 (12)	244 и 288 (10)
	215 (12)	172 (10)
	450 (12)	360 (10)
<i>Скреповые конвейеры (привод или конвейер в целом), тыс. т (мес)</i>		
	300 (12)	240 (10)
	420 (12)	336 (10)
	420 (12)	336 (10)
	480 (12)	384 (10)
	500 (12)	400 (10)

Ресурс очистного оборудования оценивается по календарному времени, времени работы машины — время включенного времени объекта (машинное время), объему добычи. Для машинных крепей и крепей сопряжения время их работы (машинное время) и календарное время использования крепи совпадают, так как крепь, как только она смонтирована, постоянно испытывает нагрузку (меньшую, большую). Кроме того, в тех случаях, когда выемка угля не производится, элементы оборудования работают с меньшей интенсивностью. Для очистных комбайнов, насосных станций и аппаратуры управления ресурс оценивается по календарному и машинному времени, различным, так как сказываются режим и условия, в которых они работают. Коэффициент вариации ресурса, например, для комбайнов и забойных конвейеров по машинному времени в 1,5—2 раза меньше, чем по объему добычи, и в 2,5—6 раз меньше, чем по календарному времени, и в тоже время для данного оборудования коэффициент вариации ресурса по машинному времени довольно значительный. По данным [9] для комбайна 2К-5 коэффициент вариации составляет 0,07—0,51, причем большие значения коэффициента вариации приходятся на высоконагруженные сборочные единицы очистных комбайнов (редуктор, шнеки).

Это объясняется тем, что данные показатели не учитываются свойствами рабочей среды, в которой оборудование работает, что приводит к большому разбросу значений по ресурсу для одного же типа машин. Большое значение коэффициента вариации ресурса отрицательно влияет на планирование горных работ и работ по обслуживанию и ремонту, ведет к увеличению простоев оборудования из-за внезапных отказов, недоиспользованию отдельных деталей и сборочных единиц. Поэтому необходим критерий оценки ресурса, которые бы точно соответствовали фактическому техническому состоянию машины и обеспечивали бы меньшую величину коэффициента вариации ресурса. Можно использовать критерий оценки ресурса очистного оборудования, связан с физическими процессами повреждения, которые происходят в деталях этого типа машин, и будет учитывать напряженности в деталях.

В настоящее время расчет ресурса машин ведут по базисным данным (корпуса редукторов, основания и перекрытия механизированных крепей, линейные секции забойных конвейеров и т. д.) и по тяжело нагруженным деталям и сборочным единицам (зубчатые колеса, подшипники качения, решетчатый став) к ресурсу очистных комбайнов рассчитывают по тяжело нагруженным зубчатым колесам и подшипникам качения и принимают для них ресурс 5000 ч; для решетчатого става забойных конвейеров при нагрузке угля в зависимости от типа конвейера он составляет от 700 тыс. т угля до первого капитального ремонта.

Проведенный анализ (см. табл. 19—21) показал, что внезапные степенные отказы очистного оборудования вызываются изнашиванием, поломкой или деформацией деталей. При всем кажущемся различии данные процессы можно описать с единой энергетической точки зрения. Деталь отказывает или достигает своего предельного состояния в тех случаях, когда выполняется условие:

$$E_{M(i/k)} > [E_{M(i/k)}] \quad (20)$$

где $E_{M(i/k)}$ — фактическая энергия, затраченная на деформацию, изнашивание, поломки k -й поверхности j -й детали i -й сборочной единицы. Данная энергия — это работа процесса деформации и разрушения, с которой связано повреждение или износ детали: $[E_{M(i/k)}]$ — энергия, запасенная в k -й поверхности детали i -й сборочной единицы, или расчетная энергия, которую должны иметь элементы машины, чтобы отработать расчетный ресурс (t_p).

Здесь и далее принимается: показатель в круглых скобках характеризует значениями, которые соответствуют фактическим условиям работы. Показатели в квадратных скобках являются расчетными значениями, которые соответствуют условиям работы. Последние исследования по усталости материалов, трению и износу деталей машин показывают, что каждый материал в зависимости от своих физико-механических свойств имеет критическую энергию разрушения, по достижении которой он теряет свою работоспособность, т. е. каждый материал имеет свой энергетический ресурс. Скорость расходования последнего будет определять время работы детали. Однако скорость расходования энергетического ресурса зависит от множества факторов, и время работы одной же детали с одинаковыми физико-механическими свойствами материала будет разным.

Очистное оборудование состоит из большого количества деталей, которые можно типизировать по группам нагружения и условиям, в которых они работают:

- 1-я — детали не испытывают динамических нагрузок, но подвержены старению (коррозионная среда) и теряют свои физические свойства от длительности эксплуатации. К ним относятся кабели, рукава механизированных крепей;
- 2-я — детали испытывают постоянные (статическое сжатие) и переменные нагрузки, подвержены старению (коррозионная среда) и механическому изнашиванию, а также изменяют свои физические свойства от длительности эксплуатации. Это — упругие элементы (резиновые манжеты, кольца), картонные и паранитовые прокладки, эластичные элементы муфт, сальниковые войлочные уплотнения и т. д.;
- 3-я — детали не испытывают нагрузок (или нагрузки очень малы).

В настоящее время расчет ресурса машин ведут по базисным данным (корпуса редукторов, основания и перекрытия механизированных крепей, линейные секции забойных конвейеров и т. д.) и по тяжело нагруженным деталям и сборочным единицам (зубчатые колеса, подшипники качения, решетчатый став) к ресурсу очистных комбайнов рассчитывают по тяжело нагруженным зубчатым колесам и подшипникам качения и принимают для них ресурс 5000 ч; для решетчатого става забойных конвейеров при нагрузке угля в зависимости от типа конвейера он составляет от 700 тыс. т угля до первого капитального ремонта.

лы) и пассивны к окружающей среде. Это — стаканы крышки, лабиринтные кольца и т. д.;

4-я — детали испытывают значительные знакопеременные нагрузки, превышающие иногда расчетные. К ним относятся цепи очистных комбайнов и забойных конвейеров, металлоручки забойных конвейеров, основания и перекрытия секций механизированных крепей и т. д.;

5-я — детали испытывают значительные постоянные и знакопеременные нагрузки и подвержены многим видам изнашивания (механическое, усталостное, абразивное, изнашивание при трении-коррозии и др.). Сюда относятся практически почти все основные детали очистных комбайнов и забойных конвейеров (шестерни, валы и вал-шестерни, подшипники качения, муфты и т. д.);

6-я — детали испытывают знакопеременные нагрузки и подвержены гидроабразивному изнашиванию, кавитации, абразивному или абразивному или фреттинг-коррозии. Данная группа включает в себя гидроцилиндры и штоки гидродомкратов очистных комбайнов и гидравлические стойки механизированных крепей, клапаны и седла клапанов, золотники гидрораспределителей и т. д.;

7-я — детали испытывают значительные ударные нагрузки и подвержены интенсивному абразивному изнашиванию (износ в абразивной горной массе) изнашиванию. Это относится к шнекам очистных комбайнов;

8-я — детали подвержены интенсивному механическому и абразивному изнашиванию. Сюда можно отнести опорные направляющие и решетки забойных конвейеров, башмаки и утюги очистных комбайнов.

Данное деление деталей на группы условно, но оно показывает, что работа практически любой детали протекает в определенных условиях, и эти условия необходимо учитывать при оценке ресурса.

Как показывают многочисленные исследования [10], если учитывать только один вид изнашивания, то средние значения экспериментальной интенсивности изнашивания I_p с вероятностью не менее 90% группируются вокруг расчетных значений интенсивности изнашивания I_p в интервале $2,6I_p \geq I_p \geq 0,4I_p$.

На практике это приводит к значительному (почти в 6,5 раз) отклонению фактических показателей ресурса одних и тех же деталей однотипных машин от расчетных.

Анализ отказов деталей очистного оборудования показывает, что внезапные поломки, как правило, вызываются: конструктивными недостатками машин; нарушениями технологии изготовления, монтажа, ремонта оборудования; резким изменением условий эксплуатации; низкой квалификацией машинистов. Такими поломками происходят внезапно и их практически нельзя предупредить. Доля данных отказов в среднем для очистного оборудо-

вания составляет 5—12% в общей их структуре. Основная часть отказов вызвана постепенно в результате изменения физико-механических свойств материала в наружных слоях деталей или в слоях, расположенных близко к поверхности.

Как указывает Д. Н. Решетов, при оценке ресурса машин необходимо большое внимание обращать на постепенные отказы, так как их интенсивность многократно выше, чем внезапных. В известном оборудовании число внезапных поломок можно уменьшить за счет улучшения конструкции, технологии изготовления и становления, улучшения управления машинами и механиз-

Из (20) следует вывод, что критерием оценки наработки деталей сборочных единиц, составных частей и машин в целом должна быть работа разрушения, так как соотношение между количеством запасенной энергии, определяющей расчетный ресурс, фактической энергией, затрачиваемой на повреждение, будет определять в конечном итоге работоспособность машины.

В настоящее время существует приближенный метод расчета на уровне образцов [11]. Для реальных деталей этот расчет несет большую погрешность, так как сказывается влияние табного фактора, конструктивных и технологических коэффициентов напряжений. Поэтому важно получить хотя бы в первом приближении конкретное значение $[E_{m(t/h)}]$ и вывести обобщенную зависимость для расчета ресурса очистного оборудования, учитывая, что планирование работы очистного оборудования проводится по календарному времени, данные зависимости должны учитывать и время.

Хевиленд в 1957 г. сформулировал гипотезу [12] о том что для любого объекта, изменяющегося со временем, скорость изменения свойств этого объекта является функцией энергии реакций, исходящих в пределах этого объекта. Из этой гипотезы для оборудования очистных механизированных комплексов (ОМК) вытекает вывод, чем сильнее оно загружено в процессе работы, тем быстрее расходует энергию $[E_{m(t/h)}]$, тем меньше будет календарное время до его капитального ремонта.

Хевиленд связал время работы объекта с влиянием изменения энергии среды при условии, что энергия влияет на скорость изменения объекта. Он ввел понятие эквивалентного времени для интервала времени работы объекта

$$= \Delta t_1 \left(\frac{E_t}{E_0} \right)^m \quad (21 \text{ а})$$

на основании чего можно рассчитать эквивалентное время работы объекта за период t

$$= \sum_{i=1}^n \Delta t_i \quad (21 \text{ б})$$

где Δt_i — i -й интервал времени, в котором на объект действует энергия E_i ; E_e — суммарная внешняя энергия, которая вызывает за рассматриваемый период времени t такое же старение объекта, как и последовательные интервалы энергии $E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_n$; $n=1, 2, 3, \dots$ — число интервалов времени, в течение которого объект подвергался воздействию энергии E_i ; m — показатель наклона кривой усталости в двойных логарифмических координатах.

Так как $\Delta t_1' = \Delta t_2' = \dots = \Delta t_i' = \dots = \Delta t_n'$, то Р. Хевиленд получил уравнение эквивалентного значения E_e , которое вызывает старение объекта:

$$E_e = \left[\frac{1}{n} (E_1^m + E_2^m + \dots + E_i^m + \dots + E_n^m) \right]^{\frac{1}{m}}. \quad (22)$$

Как отмечает Р. Хевиленд зависимость (21а) выведена на основании предположения, что уравнение долговечности $\left[N = N_r \left(\frac{S_r}{S} \right)^m \right]$ соблюдается достаточно точно, если объект не находится на грани отказа. В данном уравнении долговечности: N — выносливость; S — нагрузка; r — индекс, показывающий, что N_r и S_r относятся к стандартным условиям работы.

Приведенное уравнение долговечности подобно известному уравнению кривой усталости

$$\bar{N}_i = N_0 \left(\frac{\bar{\sigma}_{-1d}}{\sigma_i} \right)^m, \quad (23)$$

где \bar{N}_0 — число циклов работы детали с нагрузкой, соответствующей $\bar{\sigma}_{-1d}$; \bar{N}_i — число циклов работы детали с нагрузкой, соответствующей σ_i ; $\bar{\sigma}_{-1d}$ — напряжения, соответствующие пределу выносливости детали; σ_i — рабочие напряжения в детали.

Из сравнения уравнений для определения N и \bar{N}_i следует, что стандартные условия работы для детали могут характеризоваться средним значением предела усталости детали ($\bar{\sigma}_{-1d}$) и долговечностью, соответствующей точке перегиба кривой усталости в двойных логарифмических координатах. Уравнения (21а) и (23) подобны. Вопрос заключается в том, что выражает уравнение (21а) и можно ли его связать с условием (20), так как и в (21а), и в (20) входит энергия. Для этого необходимо выдвинуть требования к критерию оценки ресурса очистного оборудования. Наряду с требованием более высокой объективности критерий оценки ресурса должен говорить о том, насколько израсходован расчетный ресурс машины. С этой целью уравнение (23) преобразуем относительно N_0 с учетом эквивалентных напряжений $\sigma_{акв}$

$$N_0 = \bar{N}_i \left(\frac{\sigma_{акв}}{\bar{\sigma}_{-1d}} \right)^m. \quad (24)$$

Используя (21а), уравнение (24) можно записать в виде:

$$t_{\text{экив}} = t_{\text{м}} \left(\frac{E_{\text{ф}}}{E_{\text{р}}} \right)^m, \quad (25)$$

где $E_{\text{р}}$ — расчетная энергия, запасенная в детали (машине); $E_{\text{ф}}$, $t_{\text{м}}$ — фактические затраты энергии и машинное время работы детали (машины).

С достаточным приближением уравнения (21а), (23) и (25) можно записать в терминах расчетной и эквивалентной мощности

$$t_{\text{экив}t} = t_t \left(\frac{P_t}{P_{\text{экив}}} \right)^m; \quad (26 \text{ а})$$

$$t'_{\text{м}} = t_{\text{р}} \left(\frac{P_{\text{р}}}{P_{\text{экив}}} \right)^m; \quad (26 \text{ б})$$

$$t_{\text{экив}} = t_{\text{м}} \left(\frac{P_{\text{экив}}}{P_{\text{р}}} \right)^m, \quad (26 \text{ в})$$

где $t'_{\text{м}}$ — расчетное машинное время работы детали (объекта).

Эквивалентная мощность $P_{\text{экив}}$ (кВт) рассчитывается по формуле

$$P_{\text{экив}} = \sqrt[m]{\frac{P_1^m t_1 + \dots + P_5^m t_5}{t_1 + \dots + t_5}}, \quad (27)$$

где P_1, \dots, P_5 — уровни нагрузки, кВт. Например, для очистных комбайнов

$$P_1 = (1,6 \div 3,88) [P_{\text{р}}]; \quad P_2 = (1,3 \div 2,44) [P_{\text{р}}]; \quad (28)$$

$$P_3 = [P_{\text{р}}]; \quad P_4 = (0,3 + 0,5) [P_{\text{р}}]; \quad P_5 = \left(1 - \prod_{i/j=1}^q \eta_{ij} \right) [P_{\text{р}}],$$

$\prod_{i/j=1}^q \eta_{ij}$ — общий кпд комбайна; число уровней нагрузки (1—5), ко-

торые необходимо контролировать, обосновано в [13]. Данные уровни характеризуют перегрузки комбайна, нагрузки при номинальных режимах, при работе по зачистке лавы и на холостом ходу; t_1, \dots, t_5 — время работы комбайна соответственно на уровнях P_1, \dots, P_5 , ч.

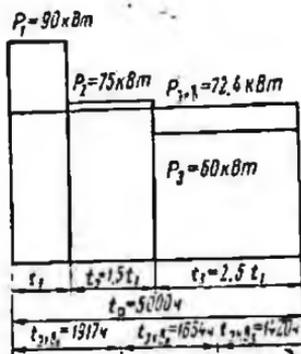
При расчете $t_{\text{экив}}$ можно вместо мощности использовать расчетные и эквивалентные значения момента или активного тока электропривода комбайна, для деталей — расчетные и фактические рабочие напряжения.

Однако расчет по мощности примерно на 15—18 % точнее, чем по активному току [14].

Для обоснования выбора вида уравнения из (26) с целью оценки ресурса очистных комбайнов решим следующий условный пример.

* Численные значения уровней нагрузки установлены Е. В. Денисенко [15].

Рис. 7. Гистограмма нагрузки комбайна



Пример расчета. Расчетная долговечность комбайна $t_p = 5000$ ч. Показатель наклона кривой усталости $m = 3$, так как долговечность комбайна рассчитывается по зубчатым колесам, которые повреждаются из-за контактного усталостного изнашивания. Длительная мощность электродвигателя 75 кВт. Гистограмма нагрузки комбайна приведена на рис. 7. Необходимо найти эквивалентное время работы комбайна при каждом режиме работы.

По формуле (27) находим эквивалентную мощность согласно гистограмме (см. рис. 7)

$$P_{\text{экв}} = \sqrt[3]{\frac{90^3 t_1 + 75^3 \cdot 1.5 t_1 + 60^3 \cdot 2.5 t_1}{5 t_1}} = 72,45 \text{ кВт.}$$

2. Рассчитываем эквивалентное время работы комбайна при P_1 , P_2 и P_3 :

$$t_{\text{экв}1} = 1000 \left(\frac{90}{72,45} \right)^3 = 1917 \text{ ч,}$$

$$t_{\text{экв}2} = 1500 \left(\frac{75}{72,45} \right)^3 = 1664 \text{ ч,}$$

$$t_{\text{экв}3} = 2500 \left(\frac{60}{72,45} \right)^3 = 1420 \text{ ч.}$$

Согласно формуле (21б)

$$t_{\text{э}} = t_{\text{экв}1} + t_{\text{экв}2} + t_{\text{экв}3} = 1917 + 1664 + 1420 \approx 5000 \text{ ч.}$$

Из приведенного расчета следует:

время t_1 , t_2 , t_3 — это время работы комбайна при соответствующих режимах P_1 , P_2 и P_3 , т. е. это машинное время комбайна $t_{м1}$, $t_{м2}$, $t_{м3}$;

в зависимости от режима работы комбайна эквивалентное время может быть больше машинного ($t_{\text{экв}1} > t_{м1}$, и $t_{\text{экв}2} > t_{м2}$) или меньше машинного времени ($t_{\text{экв}3} < t_{м3}$);

суммарное эквивалентное время не должно быть больше расчетного ресурса.

Оно может быть меньше или равно расчетному ресурсу, т. е. $\sum_{i=1}^n t_{\text{экв}i} \leq t_p$;

эквивалентное время — величина аддитивная.

Согласно формуле (26 б)

$$t_{\text{м}} = 5000 \left(\frac{75}{72,45} \right)^3 = 5546,7 \text{ ч.}$$

Данный расчет показывает, сколько смог бы проработать комбайн при нагрузке меньшей, чем расчетная. Для планирования процессов эксплуатации и ремонта такая информация является полезной, но недостаточной. Остаточный ресурс, в зависимости от нагрузки, нельзя подсчитать, так как $t_{\text{м}}$ — это фактическая долговечность комбайна.

По формуле (26 в):

$$t_{\text{э}} = 5000 \left(\frac{72,45}{75} \right)^3 = 4507 \text{ ч; } t_{\text{ост}} = 493 \text{ ч;}$$

$$t_{\text{экв}1} = 5000 \left(\frac{90}{75} \right)^3 = 8640 \text{ ч; } t_{\text{ост}1} = 0, \quad t_{\text{экв}1} = 5000, \text{ так как } t_{\text{экв}1} < t_p$$

$$t_{\text{экв}} = 5000 \left(\frac{75}{75} \right)^3 = 5000 \text{ ч}; \quad t_{\text{ост}} = 0.$$

$$t_{\text{экв}} = 5000 \left(\frac{60}{75} \right)^3 = 2560 \text{ ч}; \quad t_{\text{ост}} = 2440 \text{ ч}.$$

Расчет показывает, как используется ресурс комбайна по отношению к стандартным условиям. С увеличением мощности величина $t_{\text{экв}}$ растет. Однако суммарная величина $t_{\text{экв}}$ не должна превосходить t_p , поэтому при работе комбайна при нагрузке, эквивалентной мощности $P=90$ кВт, он отработает только 5000 ч. При $P=60$ кВт у комбайна остаточный ресурс составит 2440 ч. Так как эквивалентное время — величина аддитивная, то, ведя его учет при использовании комбайна по назначению, сможем постоянно учитывать величину израсходованного ресурса и оценивать остаточный ресурс.

Например, новый комбайн с начала эксплуатации отработал три смены. В первую смену $t_{\text{м}1}=1,5$ ч, $P_{\text{экв}1}=90$ кВт, во вторую смену $t_{\text{м}2}=2$ ч, $P_{\text{экв}2}=75$ кВт, в третью смену $t_{\text{м}3}=1,8$ ч, $P_{\text{экв}3}=72,4$ кВт. Нормативные условия $P_p=75$ кВт, $t_p=5000$ ч, $m=3$. Определяем наработку комбайна по эквивалентному времени за сутки и его остаточный ресурс:

$$t_{\text{экв}} = t_{\text{экв}1} + t_{\text{экв}2} + t_{\text{экв}3} = 1,5 \left(\frac{90}{75} \right)^3 + 2 \left(\frac{75}{75} \right)^3 + 1,8 \left(\frac{72,4}{75} \right)^3 = 2,59 + 2 + 1,62 = 6,2 \text{ ч}; \quad t_{\text{ост}} = 5000 - 6,2 = 4993,8 \text{ ч}.$$

На основании анализа проведенных расчетов можно сделать следующие общие выводы.

1. В формулах (26а)—(26в) время в левой части находится с учетом действующей нагрузки по сравнению с определенными расчетными (стандартными) условиями, т. е. оно приводится к этим условиям.

2. Формулы (26а) и (26в) несут равнозначную информацию. В (26а) к расчетным условиям относится $P_{\text{экв}}$, к фактическим — t_i и P_i , в (26в) к расчетным условиям относится P_p , к фактическим — t_m и $P_{\text{экв}}$. В обеих формулах t_i и t_m — время использования объекта по назначению (для машины — это время включенного состояния). Сравнивая один и тот же объект, использующийся по назначению, видим, что при разных интервалах времени использования по назначению (t_i или t_m) с разной нагрузкой на каждом интервале (P_1, P_2 или $P_{\text{экв}1}, P_{\text{экв}2}$) он будет иметь одно и то же значение эквивалентного времени ($t_{\text{экв}1}$ или $t_{\text{экв}}$).

3. В формулах (26а)—(26в) показатель наклона кривой усталости m в двойных логарифмических координатах зависит от геометрических и физико-механических свойств объекта, а также от условий внешней среды. Данные формулы описывают усталостные поломки и другие виды повреждения, которые подчиняются гипотезе линейного суммирования размеров повреждения. В тех случаях, когда показатель m достаточно полно учитывает влияние внешней среды на интенсивность повреждения, можно пользоваться при расчете $t_{\text{экв}}$ формулой (26в). В случае отсутствия полных данных по m или когда значение m неизвестно, расчет

эквивалентного времени можно вести по формуле

$$t_{\text{эв}} = t_{\text{м}} \left(\frac{[E_{\text{м}}]}{[E_{\text{м}}]} \right) k_{\text{усл}}, \quad (29)$$

где $k_{\text{усл}}$ — коэффициент, учитывающий влияние внешней среды.

Здесь принята гипотеза, что при равных условиях для $[E_{\text{м}}]$ и $(E_{\text{м}})$ размеры повреждения прямо пропорциональны энергии, затраченной на это повреждение. Чем больше затрачено энергии, тем значительнее размеры повреждения. Внешние условия могут увеличивать или уменьшать расчетную величину $t_{\text{эв}}$ в зависимости от того, какие условия брались в качестве нормативных. При «жестких» расчетных условиях $k_{\text{усл}} \leq 1,0$, при «мягких» расчетных условиях $k_{\text{усл}} > 1,0$.

Как показали исследования Ю. В. Ли на шахте им. 50-летия Октябрьской революции п.о. «Карагандауголь» и Н. А. Стрекалова на шахтах п.о. «Тулауголь» и «Новомосковскуголь», коэффициент условий внешней среды для очистных комбайнов и забойных конвейеров, которые выпускаются в настоящее время, должен учитывать число включений, агрессивность и абразивность внешней среды через свои коэффициенты ($k_{\text{вкл}}$, $k_{\text{агр}}$, $k_{\text{аб}}$), т. е.

$$k_{\text{усл}} = k_{\text{вкл}} k_{\text{агр}} k_{\text{аб}}. \quad (30)$$

При установлении других значимых факторов они могут быть учтены соответствующим коэффициентом. Нормативные значения коэффициентов учитывают те условия среды, для которых рассчитывается ресурс машины. Фактические значения данных коэффициентов могут быть больше или меньше нормативных значений в зависимости от «жесткости» среды, для которых ведется расчет. Значения коэффициентов (по данным Ю. В. Ли и Н. А. Стрекалова) при расчете $t_{\text{эв}}$ выбираются по «слабой» детали, отказ которой ведет к остановке машины, нарушению условий ее функционирования или снижению безопасности работы на ней (табл. 10). Данные коэффициенты введены в связи с тем, что существующие технические средства контроля работы горных машин позволяют пока учитывать только режим работы машины через работу ее электродвигателя, а не все многообразие условий внешней среды.

Показатель m при расчете $t_{\text{эв}}$ устанавливается по «слабому» элементу машины; при оценке остаточного ресурса — по той группе деталей и тому виду повреждения, которые были приняты при установлении $t_{\text{р}}$. Отсюда следует, что правомерно говорить об остаточном ресурсе, привязанном к определенному объекту (определенной группе деталей, сборочных единиц или составных частей).

При расчете $t_{\text{эв}}$ наибольшую трудоемкость вызывает получение значения показателя наклона кривой усталости m . Это объясняется тем, что для многих деталей очистного оборудования данных для m нет.

Таблица 10

Значения показателя наклона кривой усталости m и коэффициентов $K_{вкл}$, $K_{аг}$, $K_{аб}$ для основных деталей очистных комбайнов [15]

Наименование составных частей, сборочных единиц, деталей	По данным ГОСТ 25.504—82, 21354—75, ОСТ 12.44.098—78	Коэффициенты		
		$K_{вкл}$	$K_{аг}$	$K_{аб}$
<i>Электродвигатель</i>				
Подшипники качения:				
шариковые	3	1—1,2	1—1,1	1—1,15
роликовые	3,3	1—1,1	1—1,1	1—1,15
Валы	6—9	1—1,1	1	1
Обмотки статора, ротора	1	1—1,1	1	1
<i>Режущая часть</i>				
Зубчатые колеса:				
усталостное контактное изнашивание	3	1—1,4	1—1,1	1—1,2
выносливость при изгибе	6—9	1—1,3	1	1
Подшипники качения:				
шариковые	3	1—1,3	1—1,2	1—1,2
роликовые	3,3	1—1,3	1—1,2	1—1,2
Валы	6—9	1—1,2	1	1
<i>Подводящая часть</i>				
Зубчатые колеса:				
усталостное контактное изнашивание	3	1—1,1	1	1
выносливость при изгибе	6—9	1—1,05	1	1
Подшипники качения:				
шариковые	3	1—1,2	1—1,1	1—1,15
роликовые	3,3	1—1,2	1—1,1	1—1,15
Валы	6—9	1—1,2	1	1
Прочие детали, повреждающиеся из-за изнашивания	1	1—1,3	1—1,1	1—2

В общем случае В. П. Когаев рекомендует рассчитывать m для деталей по формуле

$$m = C/K_{\sigma_d} \quad (31)$$

где $C=12$ — для сварных соединений; $C=12+20$ — для деталей из углеродистых сталей; $C=12+35$ — для деталей из легированных сталей; $K_{\sigma_d} = \sigma_{-1}/\bar{\sigma}_{-1d}$ — суммарный коэффициент, учитывающий влияние всех факторов на сопротивление усталости детали; σ_{-1} — предел выносливости лабораторных образцов из стали, из которой изготовлена деталь; $\bar{\sigma}_{-1d}$ — предел выносливости натурной детали.

Показатель m можно рассчитывать по ГОСТ 25.504—82 «Рас-

четы и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости».

Для деталей, которые разрушаются из-за изнашивания, можно брать $m=1$. Если для деталей неизвестны конкретные значения m , то в этом случае $m=1$. В общем случае можно руководствоваться значениями m , которые приведены в табл. 10.

4. Эквивалентное время обладает свойством аддитивности и является общесистемным свойством. Поэтому для технических и производственных систем, в которых горное оборудование выступает как орудие труда, эквивалентное время можно рассчитать как

$$t_{\text{экр}} \xi = t_{\text{ф}} \xi \left(\frac{P_{\text{ф}} \xi}{P_{\text{р}} \xi} \right)^m k_{\text{усл}} \xi, \quad (32)$$

где $t_{\text{ф}} \xi$ — время использования системы по назначению в течение календарного периода ξ ; $P_{\text{р}}$, $P_{\text{ф}}$ — соответственно расчетное и фактическое значение основного параметра системы P , от которого зависит время жизни системы или время ее функционирования.

Так как жизнь системы зависит от энергии, потребляемой этой системой, ибо [16] «...всякое повышение информативности, улучшение управления, оптимизация структуры претендуют на энергетическое «вознаграждение», и энергия [17] «...всеобщая основа, источник и средство управления всеми природными процессами, даже культуры и всей деятельности человека», то в качестве основного параметра системы необходимо брать энергию или ее производные, или параметры, которые хорошо коррелируют с ней.

В формуле (32) коэффициент условий $k_{\text{усл}} \xi$ учитывают в тех случаях, когда при установлении численного значения $P_{\text{ф}} \xi$ условия внешней среды отличаются от тех, при которых устанавливалось значение $P_{\text{р}} \xi$. Значения $t_{\text{ф}}$, $P_{\text{р}}$ и $P_{\text{ф}}$ при расчете $t_{\text{экр}}$ должны браться за один и тот же календарный период времени.

В зависимости от свойств системы и условий, в которых она используется, $t_{\text{экр}} \xi \geq t_{\text{ф}} \xi$ или $t_{\text{экр}} \xi < t_{\text{ф}} \xi$, $t_{\text{экр}} \xi \leq t_{\text{к}} \xi$ ($t_{\text{к}} \xi$ — рассматриваемый календарный период времени).

5. Для очистного оборудования эквивалентное время можно связать с (20) и рассчитывать:

на уровне поверхности детали

$$t_{\text{экр}(l/k)} \xi = t_{\text{м}(l/k)} \xi \left(\frac{E_{\text{м}(l/k)} \xi}{[E_{\text{м}(l/k)} \xi]} \right)^m k_{\text{усл}} \xi;$$

на уровне детали

$$t_{\text{экр}(l)} \xi = t_{\text{м}(l)} \xi \left(\frac{E_{\text{м}(l)} \xi}{[E_{\text{м}(l)} \xi]} \right)^m k_{\text{усл}} \xi; \quad (33)$$

на уровне сборочной единицы и т. д.

$$t_{\text{экив}}(l)\xi = t_{\text{м}}(l)\xi \left(\frac{E_{\text{м}}(l)\xi}{[E_{\text{м}}(l)\xi]} \right)^m k_{\text{усл}}\xi; \quad (33)$$

на уровне машины эквивалентное время можно выразить через мощность, потребляемую электродвигателем, т. е.

$$t_{\text{экив}} = \sum_{\xi} t_{\text{м}}\xi \left(\frac{P_{\text{экив}}\xi}{P_{\text{р}}\xi} \right)^m k_{\text{усл}}\xi; \quad (34)$$

или

$$t_{\text{экив}} = \sum_{\xi} t_{\text{к}}\xi K_{\text{м.}}\xi \left(\frac{P_{\text{экив}}\xi}{P_{\text{р}}\xi} \right)^m k_{\text{усл}}\xi;$$

В (33) и (34) индекс ξ показывает, что значения всех показателей, которые входят в формулы, должны браться за один и тот же временной период. Для очистного оборудования таким периодом может быть смена, сутки, неделя и т. д., а также межремонтный период, ремонтный цикл, т. е. те временные интервалы, которые используются при управлении производством на шахтах и в производственных объединениях.

В дальнейшем это будем иметь в виду и индекс ξ опустим. Время, в течение которого энергия расходуется на работу машины, будем называть машинным временем $t_{\text{м}}$. Оно включает в себя время холостой работы машины (без нагрузки) и время работы под нагрузкой. Время работы машины под нагрузкой, когда она выполняет свои функции, будем называть полезным временем. Иногда, описывая процесс использования техники по назначению, объединяют понятия «машинное время» и «время использования машины по назначению».

6. Условия отказа элемента машины или самой машины при достижении ими предельного состояния можно записать по аналогии с (20):

$$\text{для поверхности детали } (t_{\text{экив}}(l/k)) > t_{\text{р}}(l/k) \text{ если } [t_{\text{экив}}(l/k)] = t_{\text{р}}(l/k) \quad (35)$$

$$\text{для детали } t_{\text{экив}}(l) > t_{\text{р}}(l) \text{ если } [t_{\text{экив}}(l)] = t_{\text{р}}(l)$$

$$\text{для сборочной единицы } t_{\text{экив}}(l) > t_{\text{р}}(l), \text{ если } [t_{\text{экив}}(l)] = t_{\text{р}}(l).$$

Из (33) — (35) видно, что в выполнении условия отказа элемента машины или наступления его предельного состояния участвуют три критерия, характеризующих ресурс машины: машинное время ($t_{\text{м}}$), которое принято в настоящее время для оценки фактического ресурса очистного оборудования; время работы машины при расчетной нагрузке ($t_{\text{р}}$), или, как иногда его называют, расчетный ресурс; эквивалентное время ($t_{\text{экив}}$).

Расчетный ресурс (t_p) — это наработка детали (сборочной единицы, составной части, машины) в часах до предельного состояния, которую данный объект должен иметь при расчетной нагрузке (мощности) и определенных условиях внешней среды (расчетные значения $k_{вкл.р}$; $k_{аг.р}$ $k_{аб.р}=1,0$).

Расчетная нагрузка, условия внешней среды и расчетный ресурс задаются конструктором на стадии проектирования машины.

Фактический ресурс, выраженный в машино-часах функционирования объекта (t_m) — это наработка детали (сборочной единицы, составной части, машины) до предельного состояния, которую данный объект имеет при нагрузке (мощности) меньше или больше расчетной ($P_{экр} \cong [P_p]$; условия рабочей среды не учитываются, т. е. фактические значения $k_{вкл.ф}$; $k_{аг.ф}$; $k_{аб.ф}=1,0$).

Фактический ресурс, выраженный в эквивалентных часах функционирования объекта ($t_{экр}$), — это наработка детали (сборочной единицы, составной части, машины) до предельного состояния, которую данный объект имеет при нагрузке (мощности), меньшей или большей расчетной ($P_{экр} \leq [P_p]$, и учитываемых условиях внешней среды, т. е. $k_{вкл.ф}$; $k_{аг.ф}$; $k_{аб.ф} \cong k_{вкл.р}$; $k_{аг.р}$; $k_{аб.р}$).

В табл. 11 дана графическая интерпретация соотношений между ресурсами расчетным (t_p), по машинному (t_m) и эквивалентному ($t_{экр}$) времени.

Из таблицы видно, что при полной методике расчета ресурса, когда учитываются все наиболее важные факторы, влияющие на условия работы детали, $t_{экр}$ должно быть равно t_p и не должно его превышать.

В то же время соотношение между ресурсами по машинному и эквивалентному времени может быть различным ($t_m < t_{экр}$, $t_m = t_{экр}$; $t_m > t_{экр}$). Это определяется конкретными условиями работы оборудования.

При неполной методике расчета ресурса, когда не учитывается влияние условий внешней среды, могут быть случаи: $t_m < t_p$ и $t_{экр} < t_p$ или $t_m = t_p$ и $t_{экр} > t_p$. Это позволяет сделать вывод, что контроль за ресурсом оборудования по эквивалентному времени позволяет уточнять методику расчета ресурса машины и ее элементов на стадии проектирования.

По данным, полученным Е. М. Шмарьяном совместно с В. П. Батурой [9] на комбайне 2К52М, коэффициент вариации ресурса по $t_{экр}$ был на (40—70) % меньше аналогичного коэффициента при оценке ресурса по t_m .

При изготовлении, использовании и восстановлении очистного оборудования необходимо стремиться к тому, чтобы $t_p = t_{экр} = t_m$, т. е. расчетный ресурс машины был использован полностью при максимуме получения полезного продукта в конкретных условиях.

7. Формулы (33) можно распространить как на отдельную функционально самостоятельную машину (например, очистной комбайн, забойный конвейер, насосная станция, механизированная крепь), так и на систему кинематически или конструктивно увя-

Таблица 11

Графическая интерпретация соотношений между ресурсами расчетным $t_{расч}$, по машинному t_M и эквивалентному $t_{эвб}$ времени

Условия расчета	Графическая интерпретация
Расчетный ресурс, $t_{расч}$	
1. $P_{дл} = P_{эвб}; m = 2,3$ (для радиальных качения); $K_{вкл} = K_{ог} = K_{об} = 1,0$.	
Величина ресурса по t_M и $t_{эвб}$	
2. $P_{дл} = P_{эвб}; K_{вкл} = K_{ог} = K_{об} = 1,0$	
$P_{дл} = P_{эвб}; K_{вкл}, K_{ог}, K_{об} > 1,0$	
3. $P_{дл} > P_{эвб}; K_{вкл} = K_{ог} = K_{об} = 1,0$	
$P_{дл} > P_{эвб}; K_{вкл}, K_{ог}, K_{об} > 1,0$	
4. $P_{дл} < P_{эвб}; K_{вкл} = K_{ог} = K_{об} = 1,0$	
$P_{дл} < P_{эвб}; K_{вкл}, K_{ог}, K_{об} > 1,0$	
5. $P_{дл} < P_{эвб}; K_{вкл} = K_{ог} = K_{об} = 1,0$	
$P_{дл} < P_{эвб}; K_{вкл}, K_{ог}, K_{об} > 1,0$	
При неполной методике расчета	
5. $P_{дл} = P_{эвб}; K_{вкл} = K_{ог} = K_{об} > 1,0$	

занных машин и связать их с конечным полезным результатом функционирования данных машин, т. е. с объемом добытого угля.

Формула (34) была проверена при расчете эквивалентного времени очистных комбайнов типа 1К101 при их ускоренных стендовых испытаниях в испытательном центре Гипроуглемаша на стенде СТ-13 и комбайне типа ГШ68 на шахте им. 50-летия Октябрьской революции п. о. «Карагандауголь». При шахтных наблюдениях контроль за режимом работы очистных комбайнов велся с помощью устройств «Импульс-1» и «Импульс-2», которые разработаны в МГИ совместно с шахтой.

Устройство «Импульс-1» контролирует машинное время и число включений комбайна; устройство «Импульс-2» фиксирует время включенного состояния комбайна, суммарный расход электроэнергии, расход электроэнергии на двух уровнях ($P_1 > 0,5[P_p]$, $P_2 > [P_p]$).

При стендовых испытаниях сравнивались значения ресурса, полученные по формуле (34), в которой вместо расчетной эквивалентной мощности брались расчетный и эквивалентный момен-

Таблица 12

Параметры блока нагружения, принятые для расчета $t_{экв}$ комбайна 1К101

По методике [18]			По формуле (34)		
уровень нагрузки	момент на выходном валу, кН·м	время работы	уровень нагрузки	момент на выходном валу, кН·м	время работы, ч
1	9,4	1 ч 30 мин	1	9,4	90
2	10,4	4 ч 36 мин	2	10,4	276
3	12	2 ч 30 мин	3	12	150
4	13,5	1 ч	4	13,5	60
5	15,2	18 мин	5	15,2	18
6	16,8	6 мин	6	16,8	6

ты для форсированного режима испытания, предлагаемые в методике [18], со значениями эквивалентного ресурса, рассчитанными по методике Гипроуглемаша и ИГД им. А. А. Скочинского [18]. В обоих случаях $m=3$; $t_m=600$ ч; $k_{вкл}$, $k_{ар}$, $k_{аб}=1,0$. При расчете $t_{экв}$ по формуле (34) вместо принятого Гипроуглемашем режима нагружения брался эквивалентный блок нагружения (табл. 12) на основании свойства аддитивности $t_{экв}$.

По методике число блоков нагружений за $t_m=600$ ч, составило 60. При расчете по формуле (34) брался один эквивалентный блок нагружения при $t_m=600$ ч.

В обоих случаях $t_{экв}=1775$ ч.

При расчете наработки комбайна ГШ68 по эквивалентному времени исходные данные были следующими:

наработка комбайна по машинному времени до капитального ремонта — 1660 машино-ч;

слабое звено — зубчатые колеса, выходящие из строя из-за контактного изнашивания (питтинга); $m=3$; $k_{вкл}$, $k_{ар}$, $k_{аб}=1$;

расчетная мощность 250 кВт (для двух электродвигателей комбайна);

эквивалентная мощность равнялась средней мощности и принималась 210 кВт.

На основании расчетов по (34) наработка комбайна до капитального ремонта составила 984 ч. Это не противоречит данным [15] о том, что средневзвешенная фактическая наработка очистных комбайнов до капитального ремонта составляет 876 ч.

В настоящее время нет технических средств, которые позволяли бы непрерывно контролировать и учитывать режим работы очистного оборудования, особенно очистных комбайнов и забойных конвейеров. При разработке автоматизированных и автоматических систем учета и анализа режима работы очистного оборудования необходимо, чтобы они позволяли знать: режим работы машины не менее чем на пяти уровнях, время работы машины на каждом уровне, число реализаций каждого уровня нагрузки.

Период оценки нагруженности машины необходимо брать длительностью не менее одной смены. По результатам наблюдений за смену рассчитывается величина $P_{\text{эвб}}$ для базовой детали, сборочной единицы, по которой рассчитывается ресурс машины и оценивается сменная наработка по $t_{\text{эвб}}$.

Повышение надежности очистных комбайнов во многом зависит от объективности расчета коэффициента готовности (K_r), который согласно ГОСТ 27.002—83 является комплексным показателем надежности.

Стандартом рекомендуется рассчитывать K_r по формуле

$$K_r = 1/(1 + \rho), \text{ где } \rho = \bar{t}_n / \bar{t}, \quad (36)$$

где \bar{t} , \bar{t}_n см. табл. 3.

Из анализа (36) следует, что \bar{t} и \bar{t}_n должны иметь одинаковую размерность и одну и ту же шкалу измерения и объективно отражать условия работы машины и ее свойства. Хотя в справочном приложении к ГОСТ 27.002—83 разъясняется, что наработка может измеряться в единицах времени, объема и других единицах, но учитывая, что K_r является безразмерным параметром, а t_n — временным параметром, можно сделать вывод: при расчете K_r наработка на отказ и среднее время восстановления должны быть временными параметрами. В процессе использования по назначению очистное оборудование находится в различных состояниях: работает на холостом ходу (с нагрузкой), в нормальном режиме, с перегрузкой. Длительность каждого состояния может быть различна. При расчете коэффициента готовности необходимо учитывать эти состояния оборудования. Это можно сделать, если оценку работы машин производить по эквивалентному времени. С учетом (34) и рекомендаций ГОСТ 27.002—83 коэффициент готовности можно рассчитывать по формуле

$$K_{r,t_{\text{эвб}}} = \frac{\sum_{\xi}^n t_{\text{н}}(K_{\text{м}}) \xi \left(\frac{P_{\text{эвб}\xi}}{P_{\text{р}\xi}} \right)^m k_{\text{внл}} k_{\text{аг}} k_{\text{аб}}}{\sum_{\xi}^n t_{\text{н}}(K_{\text{м}}) \xi \left(\frac{P_{\text{эвб}\xi}}{P_{\text{р}\xi}} \right)^m k_{\text{внл}} k_{\text{аг}} k_{\text{аб}} + \sum_{\xi}^n t_{\text{в}\xi}} \quad (37)$$

Анализ формулы (37) показывает следующее.

1. Коэффициент готовности, рассчитанный по $t_{\text{эвб}}$, является более стабильной величиной по сравнению с коэффициентом готовности рассчитанным по $t_{\text{н}}$.

Пример расчета. Очистной комбайн одного типа работает при трех режимах: первый — $P_{\text{эвб}} = [P_{\text{р}}]$; второй — $P_{\text{эвб}} = 0,8[P_{\text{р}}]$; третий $P_{\text{эвб}} = 1,1[P_{\text{р}}]$. Требуется определить коэффициент готовности, рассчитанный по $t_{\text{н}}$ ($K_{r,t_{\text{н}}}$), и коэффициент готовности, рассчитанный по $t_{\text{эвб}}$, $K_{r,t_{\text{эвб}}}$ при одних и тех же расчетных значениях показателей: наработка на отказ при $P_{\text{эвб}} = [P_{\text{р}}]$; $t_{\text{р}} = 0,25 t_{\text{н}}$; $t_{\text{в}} = 0,03 t_{\text{н}}$; $m = 1,0$; $k_{\text{внл}} = k_{\text{аг}} = k_{\text{аб}} = 1,0$.

Приступим к решению. Первый режим: $t_p = t_{\text{эвк}} = t_m = 0,25 t_k$;

$$K_{\text{гт}_m} = \frac{0,25 t_k}{0,25 t_k + 0,03 t_k} = 0,89; \quad K_{\text{гт}_{\text{эвк}}} = K_{\text{гт}_m}.$$

Второй режим:

согласно (26 б) $t_m = t_p \left(\frac{P_p}{P_{\text{эвк}}} \right)^m k_{\text{усл}}$ или

$$t_m = 0,25 t_k 1,25 = 0,312 t_k; \quad K_{\text{гт}_m} = \frac{0,312 t_k}{0,312 t_k + 0,03 t_k} = 0,91;$$

$$t_{\text{эвк}} = 0,312 t_k \left(\frac{0,8 [P_p]}{[P_p]} \right) = 0,25 t_k, \quad K_{\text{гт}_{\text{эвк}}} = 0,89$$

Третий режим:

$$t_m = 0,25 t_k \left(\frac{1,0}{1,1} \right) = 0,23 t_k;$$

$$K_{\text{гт}_m} = \frac{0,23 t_k}{0,23 t_k + 0,03 t_k} = \frac{0,23 t_k}{0,26 t_k} = 0,88.$$

$$t_{\text{эвк}} = 0,23 t_k \left(\frac{1,1}{1,0} \right) = 0,25 t_k; \quad K_{\text{гт}_{\text{эвк}}} = 0,89.$$

Из решения видно, что в зависимости от изменения режима работы наработка на отказ по t_m будет изменяться и соответственно изменяется величина $K_{\text{гт}_m}$. В то же время величина коэффициента готовности, рассчитанная в зависимости от $t_{\text{эвк}}$, остается постоянной.

2. Так как в формулу (34) входит K_m , то повышение надежности очистного оборудования при одних и тех же организационных условиях его использования будет увеличивать значение K_m и, соответственно $K_{\text{гт}_{\text{эвк}}}$.

3. На коэффициент готовности влияет время восстановления. Так как оно зависит от организации процесса устранения отказа и физического старения машины, необходимо различать нормативные и фактические значения K_g . Нормативные значения K_g необходимо устанавливать: при $P_{\text{эвк}} = [P_p]$ и определенных значениях коэффициентов m , $k_{\text{вкл}}$, $k_{\text{вг}}$, $k_{\text{аб}}$, определяемых на стадии проектирования очистного оборудования; при нормативных значениях t_p , которое должно учитывать условия максимального совмещения работ по устранению отказов во времени и уровень физического старения машины. Так как на трудоемкость работ по устранению отказа влияют горно-геологические условия (угол наклона и мощность пласта и др.) и эргономические условия (освещенность, влажность, температура и др.) при расчете t_p необходимо оговаривать формы организации работ, горно-геологические и эргономические условия эксплуатации.

4. Так как ОМК состоит из функционально самостоятельных машин, которые, в свою очередь, состоят из составных частей, сборочных единиц, деталей, то, используя (37), необходимо оце-

нивать K_r не только для ОМК в целом, а связывать его с отказами конкретных функциональных машин и его элементов. Зная виды отказов этих элементов и причины, которые вызывают повреждение, можно влиять на величину K_r . Так же, как при расчете K_r , использование $t_{\text{эки}}$ позволяет уточнить расчет коэффициента неисправности (K_n):

$$K_{n'_{\text{эки}}} = \frac{\bar{t}_a}{t_{\text{эки}}} = \frac{\sum_{\xi}^n t_{n\xi}}{\sum_{\xi}^n t_{n\xi} \left(K_{m\xi} \left(\frac{P_{\text{эки}\xi}}{P_{p\xi}} \right)^m \right) k_{\text{вкл}\xi} k_{\text{ар}\xi} k_{\text{аб}\xi}} \quad (38)$$

Значения коэффициента неисправности, рассчитанные по $t_{\text{эки}}$ и по t_m , будут разными. Из приведенного выше примера имеем: в первом режиме $K_{n'_{\text{м}}} = 0,12$ и $K_{n'_{\text{эки}}} = 0,12$; во втором режиме $K_{n'_{\text{м}}} = 0,096$ и $K_{n'_{\text{эки}}} = 0,12$; в третьем режиме $K_{n'_{\text{м}}} = 0,13$ и $K_{n'_{\text{эки}}} = 0,12$.

Из приведенных данных следует, что при расчете коэффициента неисправности по $t_{\text{эки}}$ величина данного коэффициента более стабильна, чем при расчете по $K_{n'_{\text{м}}}$. При задании значения K_n в нормативно технической документации необходимо оговаривать условия и режим работы оборудования (изменяется величина $t_{\text{эки}}$) и формы организации работ по устранению отказа (изменяется величина t_a).

Проведенный анализ и исследования показали, что эквивалентное время учитывает энергию, затрачиваемую машиной и ее элементами на выполнение своих функций, и является обобщенным показателем оценки ресурса для всех групп деталей, оно является и более объективным показателем для объектов, подверженных усталостному разрушению. Пользуясь $t_{\text{эки}}$ для оценки ресурса машин и ее элементов, можно уточнить методы расчета ресурса машин на стадии проектирования. Так как достоверность фактических значений $t_{\text{эки}}$ связана с получением объективной информации о значениях показателей, которые входят в $t_{\text{эки}}$, необходимо проводить дальнейшие исследования в части уточнения значений m , $k_{\text{вкл}}$, $k_{\text{ар}}$, $k_{\text{аб}}$ для конкретных машин, работающих в определенных условиях, и разрабатывать технические средства контроля значений этих показателей в процессе работы машины. Пока достаточно точно контролируются t_m и K_m . Хотя $t_{\text{эки}}$ и позволит повысить точность планирования работ по техническому обслуживанию и ремонту, но, учитывая, что коэффициент вариации ресурса при $t_{\text{эки}}$ остается значительным, необходимо совершенствовать планирование работ по техническому обслуживанию и ремонту, осуществлять их с применением средств технической диагностики.

1.7. ОЦЕНКА РАВНОРЕСУРСНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ОЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Очистное оборудование, как было установлено ранее, относится к классу высоконагруженных машин и механизмов. Для них характерны: небольшая наработка на отказ, широкое применение высококачественных конструкционных материалов, небольшой ремонтный цикл до капитального ремонта (1—2-го года); высокий остаточный ресурс до первого капитального ремонта (до 50 % расчетного); большая масса машины и отдельных механизмов. Поэтому существенному повышению надежности очистного оборудования будет способствовать решение вопроса равноресурсности машин. Эта проблема для отдельной машины в настоящее время трудноразрешимая, так как до сих пор не решен вопрос равноресурсности первичного элемента машины — ее детали. Под равноресурсностью детали понимается такое ее состояние после процессов изготовления или восстановления, которое обеспечивает одинаковую паработку всех ее рабочих поверхностей в конкретных условиях применения. Согласно (20) материал каждой рабочей поверхности детали должен иметь столько потенциальной энергии, сколько в конкретных условиях применения должно ее быть израсходовано одновременно у всех поверхностей. Так как каждая рабочая поверхность работает в своих конкретных условиях, то у этих поверхностей должны быть свои значения $[E_M]$ и (E_M) . Для каждой рабочей поверхности согласно (33) можно подсчитать эквивалентное время работы этой поверхности до предельного состояния и рассчитать предельный ее размер [19].

На уровне детали равноресурсность рабочих поверхностей можно оценить по коэффициенту равноресурсности, который может быть расчетным и фактическим:

$$K_{p.p.d} = \frac{[t_{эkv}(l/k)]_{\min}}{[t_{эkv}(l/k)]_{\max}} \leq 1,0 \quad \text{или} \quad K_{p.p.d} = \frac{[t'_{p(l/k)}]_{\min}}{[t'_{p(l/k)}]_{\max}} \leq 1,0 \quad (39)$$

при условии, что ресурс, рассчитанный по $t_{эkv}$, равен расчетному ресурсу

$$K_{p.f.d} = \frac{(t_{эkv}(l/k))_{\min}}{(t_{эkv}(l/k))_{\max}} \leq 1,0,$$

где $K_{p.p.d}$; $K_{p.f.d}$ — соответственно коэффициенты равноресурсности детали: расчетный ($K_{p.p.d}$) и фактический ($K_{p.f.d}$); $[t_{эkv}(l/k)]_{\min}$; $(t_{эkv}(l/k))_{\min}$ — минимальный ресурс лимитирующей рабочей поверхности детали соответственно расчетный и фактический по эквивалентному времени; $[t_{эkv}(l/k)]_{\max}$; $(t_{эkv}(l/k))_{\max}$ — максимальный ресурс рабочей поверхности детали соответственно расчетный и фактический по эквивалентному времени; $[t'_{p(l/k)}]_{\min}$; $[t'_{p(l/k)}]_{\max}$

минимальный и максимальный расчетные ресурсы рабочих поверхностей детали.

Отношение фактического ресурса рабочей поверхности детали к расчетному позволяет рассчитать коэффициент использования ресурса рабочей поверхности детали ($K_{н.р.д}^{t_{экр}}$):

$$K_{н.р.д}^{t_{экр}} = \frac{(t_{экр}(l/k))}{[t_{экр}(l/k)]} \leq 1,0.$$

или

$$K_{н.р.д}^{t_{экр}} = \frac{(t_{экр}(l/k))}{[t_p(l/k)]} \leq 1,0. \quad (40)$$

Сравнивая (39) и (40) можно видеть, что ресурс рабочих поверхностей может быть использован полностью ($K_{н.р.д} = 1,0$), но деталь будет не равноресурсной. Поэтому при проектировании, изготовлении и эксплуатации необходимо стремиться к тому, чтобы у детали значения данных коэффициентов приближались к единице, т. е. чтобы

$$K_{р.р.д} = 1,0; \quad K_{р.ф.д} = 1,0 \text{ и } K_{н.р.д}^{t_{экр}} = 1,0.$$

Для нахождения перечисленных коэффициентов при эксплуатации оборудования на шахте в соответствии формой 6 (ОСТ 12.44.024—82) (см. приложение 1), которая входит в состав эксплуатационных документов, необходимо указывать рабочую поверхность детали, повреждение которой явилось причиной замены, и наработку по $t_{экр}$. Однако в этом случае нельзя оценить, какая это наработка для рабочей поверхности детали — минимальная или максимальная.

Это может быть достигнуто, если будем располагать аналогичной информацией по данной детали, которую можно получить от других шахт, ремонтных заводов, занятых восстановлением деталей, и вести наблюдения за данной группой деталей после их восстановления. Для этого в системах ГШОуголь и Запчастьуголь, которые в настоящее время разрабатываются в угольной промышленности, должна быть предусмотрена подсистема учета и анализа использования ресурса горно-шахтного оборудования.

Равноресурсность сборочных единиц, составных частей и машин можно оценить по аналогичным коэффициентам. Только в этом случае необходимо в качестве знаменателя в (39) брать ресурс базового элемента, по отношению к которому будут считываться данные коэффициенты. В качестве базового элемента выступают: на уровне сборочной единицы — деталь или сборочная единица более низкого уровня вхождения (см. в [20] приложение 2); на уровне составной части — сборочная единица; на уровне машины — составная часть или сборочная единица. В качестве базовых необходимо брать элементы с наибольшим ресурсом, т. е. те, по которым производят расчет на долговечность. В настоящее

ремя для очистных комбайнов расчет на долговечность осуществляют по тяжело нагруженной группе деталей: зубчатые колеса, юдшипники качения.

Тогда получим следующие коэффициенты равноресурсности: на уровне сборочной единицы

$$K_{p.p.cб.ед}^{t_{эки}} = \frac{[t_{эки(t)}]_{min}}{[t_{эки(t)}]_б} \leq 1,0 \quad \text{или} \quad K_{p.ф.cб.ед}^{t_{эки}} = \frac{(t_{эки(t)})_{min}}{(t_{эки(t)})_б} \leq 1, \quad (41)$$

$$K_{p.p.cб.ед} = \frac{[t_{p.t}]_{min}}{[t_{p.t}]_б},$$

на уровне составной части

$$K_{p.p.c.ч}^{t_{эки}} = \frac{[t_{эки(t)}]_{min}}{[t_{эки(t)}]_б} \leq 1,0 \quad \text{или} \quad K_{p.p.c.ч}^{t_p} = \frac{[t_p(t)]_{min}}{[t_p(t)]_б} < 1,0;$$

$$K_{p.ф.c.ч}^{t_{эки}} = \frac{(t_{эки(t)})_{min}}{(t_{эки(t)})_б} \leq 1,0.$$

и т. д. для машины, для систем технологически или кинематически увязанных машин.

При некачественном изготовлении или эксплуатации базовых элементов их ресурс может быть меньше ресурса лимитирующих элементов, а значения коэффициентов $K_{p.p.cб.ед}$ и $K_{p.ф.c.ч}$ могут быть в этом случае больше единицы. Это свидетельствует о том, что нужно принимать меры по повышению ресурса базовых элементов. Отношение фактического ресурса базового элемента к его расчетному ресурсу позволяет рассчитать коэффициент использования ресурса сборочной единицы ($K_{п.p.cб.ед}$), составной части ($K_{п.p.c.ч}$), машины ($K_{п.p.м}$). Так как коэффициенты равноресурсности в (39) и (41) в пределе должны быть равны единице, то по их значениям можно установить расчетную и фактическую кратность ресурсов элементов машины. Расчетная кратность должна быть такой: 1,0; 0,5; 0,25; 0,125 и т. д. Однако, чтобы решить вопрос равноресурсности детали, необходимо знать, какими резервами обладает материал, из которого она изготовлена, т. е., как использованы физико-механические свойства материала на каждой рабочей поверхности. Имея данную информацию, можно назначать мероприятия, которые позволят повысить уровень используемых физико-механических свойств материалов. Решение этого вопроса связано с решением вопроса снижения материалоемкости изделия. У равноресурсной машины материалоемкость должна быть минимальной.

В настоящее время ГОСТ 14.205—85 ЕСТН. «Технологичность конструкции изделий. Термины и определения» в качестве дополнительного показателя технологичности предлагает показатель материалоемкости изделия, который рассчитывается как отношение сухой массы изделия к номинальному значению его основного параметра.

За основной параметр ГОСТом рекомендуется принимать мощность или производительность машин, или отношение скорости к мощности машины и т. д.

Удельная материалоемкость изделия рассчитывается по формуле

$$U_m = M_n / P, \quad (42)$$

где M_n — сухая масса изделия, кг; P — основной параметр изделия. Размерность основного параметра может быть: для мощности — кВт; для производительности — т/ч; для отношения скорости к мощности — м/кВт·с.

При выборе основного параметра конструктор и технолог решают, какой параметр принять за основной, ибо до настоящего времени нет теоретического обоснования для выбора основного параметра. Поэтому выбор основного параметра субъективен. Кроме того, данный параметр косвенно характеризует использование физико-механических свойств конструкционных материалов, так как позволяет дать только качественную оценку технологичности конструкции двух однотипных изделий, сравниваемых между собой.

К выбору показателей для оценки уровня использования физико-механических свойств конструкционных материалов можно подойти с позиций термодинамики, которая различает экстенсивные и интенсивные параметры состояния термодинамической системы [21]. Экстенсивные параметры состояния системы — параметры состояния, значения которых определяются суммой параметров состояния, составляющих частей условно разделенной системы. К данным параметрам относятся масса системы (M) или ее объем (V). Экстенсивные параметры состояния определяют размеры системы: чем больше масса машины, тем больше ее размеры.

Интенсивные параметры состояния системы — параметры состояния, значения которых остаются одинаковыми во всех частях однородной системы. Они не зависят от размеров системы. К интенсивным параметрам состояния относятся плотность, давление, удельные величины, например объем, поделенный на массу, энергия, поделенная на массу.

При разделении системы интенсивные параметры состояния остаются неизменными.

Отсюда следует вывод, что для описания состояния системы целесообразно брать интенсивные параметры состояния. Учитывая, что разрушение деталей очистного оборудования связано с расходом энергии, запасенной в материале детали, а характеристикой любого процесса является работа [21], которую необходимо затратить на выполнение данного процесса, можно сделать вывод: процесс разрушения должен характеризоваться работой разрушения. Однако учитывая, что удельные величины более информативны, чем абсолютные, для описания процесса разрушения целесообразно брать именно их. Такой величиной является удельная

работа разрушения, которая используется при описании процессов усталости и изнашивания материалов.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом (ГДР) интенсивно развивается энергетическая теория износа. Проф. Флайшер (ГДР) ввел понятие мнимой плотности энергии трения (e^*):

$$e^* = A_{\text{тр}}/V_{\text{изн}}, \text{ причем } A_{\text{тр}} = fNL_{\text{тр}}. \quad (43)$$

Здесь $A_{\text{тр}}$ — энергия, расходуемая на трение; $V_{\text{изн}}$ — объем изношенного материала; f — коэффициент трения; N — нагрузка; $L_{\text{тр}}$ — путь трения.

Мнимая плотность энергии будет являться интенсивным параметром системы. Формулу (43) можно выразить через массу продуктов изнашивания (при износе) или через массу материала детали, вовлеченного в зону действия рабочих напряжений (при поломках или деформации). Работу трения в формуле (43) можно заменить на энергию, которая расходуется на разрушение поверхности [см. формулу (20)], т. е.

$$[\lambda_{(i/jk)}] = \frac{[E_{\text{м}(i/jk)}]}{[\Delta m_{(i/jk)}]}, \quad (44)$$

$$(\lambda_{(i/jk)}) = \frac{(E_{\text{м}(i/jk)})}{(\Delta m_{(i/jk)})}.$$

Здесь $[\lambda_{(i/jk)}]$; $(\lambda_{(i/jk)})$ — расчетная и фактическая удельная работа разрушения рабочей поверхности детали, Дж/г; $[E_{\text{м}(i/jk)}]$ — потенциальная (запасенная) энергия в рабочей поверхности детали; $(E_{\text{м}(i/jk)})$ — энергия, израсходованная на разрушение рабочей поверхности детали; $[\Delta m_{(i/jk)}]$; $(\Delta m_{(i/jk)})$ — соответственно, расчетная и фактическая масса продуктов изнашивания, или масса материала детали, вовлеченного в зону действия рабочих напряжений.

При изнашивании значения $[\Delta m_{(i/jk)}]$ рассчитывают исходя из предельных размеров детали [19, 20].

Удельную работу разрушения для машины ($\lambda_{\text{м}}$), МДж/кг, можно связать с удельной материалоемкостью изделия ($\gamma_{\text{м}}$), кг/кВт. Для этого формулу (42) запишем в виде

$$\gamma_{\text{м}} = \frac{M_{\text{н}}}{P_{\text{р}}},$$

$$\lambda_{\text{м}} = \frac{E_{\text{м}}}{M_{\text{н}}} = \frac{K P_{\text{р}} t_{\text{р}} \left(1 - \prod_{ij}^q \eta_{ij}\right)}{M_{\text{н}}} = \frac{t_{\text{р}}}{\gamma_{\text{м}}} K \left(1 - \prod_{ij}^q \eta_{ij}\right), \quad (45)$$

где $P_{\text{р}}$ — расчетная мощность электропривода, кВт; $t_{\text{р}}$ — расчетный ресурс, ч; $E_{\text{м}}$ — энергия, затрачиваемая на работу машины,

МДж; $K=3,6$ — коэффициент перевода единиц измерения (из кВт·ч в МДж), $\text{МДж/кВт·ч} \prod_{ij}^n \eta_{ij}$ — общий к.п.д. машины.

Формула (45) введена в связи с тем, что энергия является более информативным параметром, чем мощность, и величина E_m прямо связана со свойствами конструкции машин. В то же время показатели Y_m и λ_m связаны между собой, но если для Y_m трудно установить предельное наименьшее значение, так как всегда $Y_m \neq 0$, то для λ_m это значение можно определить.

Так как параметры $E_{m(ijk)}$ и $\Delta m_{(ijk)}$ обладают свойством аддитивности, то для уровня машины имеем (берем расчетные значения параметров):

$$[\lambda] = \frac{[E_m]}{[M_n]} = \frac{K_n \left[\sum_i \sum_j \sum_k E_{m(ijk)} \right]}{K_E \left[\sum_i \sum_j \sum_k \Delta m_{(ijk)} \right]}, \quad (46)$$

где $K_E = \frac{\left[\sum_i \sum_j \sum_k E_{m(ijk)} \right]}{[E_m]}$ — коэффициент, учитывающий затраты энергии на разрушение изделия

$K_n = \frac{\left[\sum_i \sum_j \sum_k \Delta m_{(ijk)} \right]}{[M_n]}$ — коэффициент, учитывающий использование материала изделия.

Предельные значения коэффициентов K_E и K_n должны быть равны единице, так как только в этом случае свойства материала изделия будут использованы полностью и конструкция изделия будет наименее материалоемкой.

Из выражения (43) вытекает формула (44), а из (46) можно вывести зависимости для расчета удельной работы разрушения на любой ступени вхождения изделия. Уравнение (46) можно связать с эквивалентным временем. Для этого (46) преобразуем относительно E_m и подставим в (29), после чего получим

$$t_{\text{эв}} = t_m \left\{ \frac{(E_m)}{[\lambda][M_n]} \right\}^m K_{\text{Усл}}$$

Из формулы следует, что на наработку по эквивалентному времени при прочих равных условиях влияет материалоемкость изделия и удельная работа разрушения. При снижении материалоемкости изделия для обеспечения одной и той же наработки необходимо повышать величину $[\lambda]$.

Как подчеркивалось ранее, по Y_m нельзя оценить ее предельное значение, в то время как, зная $[\lambda]$, это возможно сделать. В. С. Иванова [11] показала, что на основе гипотезы энергетического подобия разрушения и плавления с учетом энергии тепловых колебаний атомов можно принять: при механическом нагружении энергия предельной пластической деформации при данной температуре T_x равна удельной энергии, которая потребовалась,

Таблица 13

Удельная работа повреждения для стали 40ХН при различных видах термообработки

Вид термообработки	$(E_{i/k})$, Дж	$\Delta m_{i/k}$, г	$(\lambda_{i/k})$, Дж/г	$\sigma(n)$, МПа
Нормализация	22,5	1,45	15,52	720
Закалка + отпуск (400°C)	17	0,66	25,76	—
Закалка + отпуск (550°C)	22,5	0,97	23,2	1000

если бы удалось перевести металл в жидкое состояние не при T_p , а при температуре T_x ниже температуры плавления.

Исходя из данной гипотезы, в [11, табл. 7] приведены расчетные значения удельной работы разрушения для железа: $A_p = 1037 \text{ Н} \cdot \text{мм}/\text{мм}^2$, или $A_p = 132,9 \text{ Дж/г}$.

Анализируя удельную работу разрушения (46), видим, что ее величину для конкретного состояния материала можно определить, используя известные методы механических испытаний. Удельная работа разрушения для одного и того же состояния материала не будет зависеть от метода и схемы нагружения образца (детали), так как в (40) ($E_{m(i/k)}$) и ($\Delta m_{(i/k)}$) определяются при одной схеме нагружения, и в формулу не входит параметр, который определял бы метод и схему нагружения.

В. С. Иванова в [11] подчеркивает, что величина удельной работы разрушения A_p не зависит от вида и условий нагружения и может быть определена по диаграмме «истинное напряжение — истинная деформация».

В МГИ Н. Б. Шубиной и Н. В. Ефимовой экспериментально оценены фактические значения $\lambda_{(i/k)}$ для стали 40ХН ($C=0,43\%$; $Mn=0,7\%$; $Cr=0,6\%$; $Ni=1,2\%$; $Si=0,3\%$) после нормализации, закалки и среднего отпуска ($T=400^\circ\text{C}$), а также закалки и высокого отпуска ($T=500^\circ\text{C}$). Испытания проводились на образцах для растяжения (ГОСТ 1497—73, диаметр образцов в рабочей части 6 мм) на разрывной машине Р-5 (ГОСТ 7855—74) по стандартной методике. Рассчитывались значения: работа деформации и разрушения (Дж); масса образца, вовлеченная в зону разрушения, г. Зона деформации образца замерялась на инструментальном измерительном микроскопе (табл. 13).

Из таблицы видно, что с увеличением предела прочности удельная работа разрушения растет. В зависимости от состояния материала ($\lambda_{(i/k)} = 15,52 \div 25,76 \text{ Дж/г}$ при $A_p = [\lambda_{(i/k)}]_{кр} = 132,9 \text{ Дж/г}$).

Сравнивая фактические значения (λ) и $[\lambda]$ видим, что согласно проведенному эксперименту физико-механические свойства стали 40ХН в данных состояниях используются не полностью, всего на 11,8—19,53%.

В [10] приводятся ссылки на работы ряда зарубежных авторов, в которых говорится, что «в соответствии с энергетической гипотезой прочности накопление энергии происходит в так назы-

ваемом аккумулирующем объеме. Когда энергия достигнет критического значения, в нем развивается пластическое течение. Отношение объемов аккумуляции и пластического течения (разрушения) оценивается сопоставлением значений теоретической и действительной прочности (их отношение порядка 10^3-10^4).

Если учесть, что теоретическая и действительная прочность пропорциональны энергии, запасенной в материале, и энергии, затраченной на разрушение, то это отношение и отношение объемов аккумуляции и пластического течения можно использовать для ориентировочной оценки возможных пределов изменения отно-

шения $\frac{[\lambda_{(l/k)}]}{(\lambda_{(l/k)})}$. Чтобы это установить, примем, что отношение энергий $[E_{M(l/k)}]$ и $(E_{M(l/k)})$ и масс $[\Delta m_{(l/k)}]$ и $(\Delta m_{(l/k)})$ меняются в пределах $10^3 \div 10^4$, т. е.

$$\frac{[E_{M(l/k)}]}{(E_{M(l/k)})} = (10^3 \div 10^4) \quad \text{и} \quad \frac{[\Delta m_{(l/k)}]}{(\Delta m_{(l/k)})} = (10^3 \div 10^4).$$

Если рассмотреть различные сочетания данных отношений (берем предельные значения), то можно получить следующие значения для отношения критической удельной работы разрушения к фактической, т. е.

$$\begin{aligned} \frac{[\lambda_{(l/k)}]_{кр}}{(\lambda_{(l/k)})} &= 1,0, \text{ если } \frac{[E_{M(l/k)}]}{(E_{M(l/k)})} = 10^3 \text{ и } \frac{[\Delta m_{(l/k)}]}{(\Delta m_{(l/k)})} = 10^3; \\ \frac{[\lambda_{(l/k)}]_{кр}}{(\lambda_{(l/k)})} &= 10, \text{ если } \frac{[E_{M(l/k)}]}{(E_{M(l/k)})} = 10^4 \text{ и } \frac{[\Delta m_{(l/k)}]}{(\Delta m_{(l/k)})} = 10^3; \\ \frac{[\lambda_{(l/k)}]_{кр}}{(\lambda_{(l/k)})} &= 0,1, \text{ если } \frac{[E_{M(l/k)}]}{(E_{M(l/k)})} = 10^3 \text{ и } \frac{[\Delta m_{(l/k)}]}{(\Delta m_{(l/k)})} = 10^4. \end{aligned} \quad (47)$$

Могут иметь место только два первых случая. Тогда получим пределы изменения отношения:

$$\frac{[\lambda_{(l/k)}]_{кр}}{(\lambda_{(l/k)})} = 1 \div 10. \quad (48)$$

По данным табл. 13 для стали 40ХН это отношение находится в пределах 5,16—8,56, что подтверждает правомерность применения методов механических испытаний для определения $\lambda_{(l/k)}$.

Анализ показывает, что параметр $\lambda_{(l/k)}$ обладает важным свойством — он должен всегда стремиться к своему максимуму. Поэтому при проектировании конструкции очистного оборудования, технологических процессов изготовления и восстановления деталей этого оборудования необходимо, чтобы расчетные значения удельной работы разрушения $[\lambda]$ были равны или больше фактических значений удельной работы разрушения (λ) .

При изнашивании деталей очистного оборудования предельное

значение массы продуктов износа для рабочей поверхности детали соответствует предельному состоянию этой поверхности и ее приближенно можно рассчитать, воспользовавшись формулами для расчета предельного износа деталей [19]. Значения E рассчитывают исходя из действующей нагрузки, пути трения, коэффициента трения и других факторов [10].

Основные резервы повышения значения $[\lambda]$ заложены в свойствах конструкционных материалов, в частности конструкционных сталей, которые можно улучшить за счет оптимального легирования, подбора и выполнения процессов термической обработки, применения способов поверхностного пластического деформирования.

Зная удельную работу разрушения рабочих поверхностей, можно оценить коэффициент равноресурсности детали по удельной работе повреждения по аналогии с (39, 40, 41). У равноресурсной детали удельные работы разрушения должны быть одинаковые:

$$K_{p.p.d}^{\lambda} = \frac{[\lambda_{(t/k)}]_{\min}}{[\lambda_{(t/k)}]_{\max}} \leq 1,0. \quad (49)$$

В тех случаях, когда вся деталь изготовлена из одного материала, по одной технологии, то согласно (49) $K_{p.p.d}^{\lambda} = 1,0$:

$$K_{p.p.d}^{\lambda} = \frac{(\lambda_{(t/k)})_{\min}}{[\lambda_{(t/k)}]_{\max}} \leq 1,0.$$

Для сталей можно принять $[\lambda_{(t/k)}]_{\max} = [\lambda_{(t/k)}]_{\text{пр}} = 132,9$ Дж/г. На практике $[\lambda_{(t/k)}]_{\max}$ необходимо рассчитывать, так как материал при повреждении редко доводится до T_s . Здесь $[\lambda_{(t/k)}]$, $(\lambda_{(t/k)})$ — соответственно расчетная и фактическая удельная работа разрушения лимитирующей рабочей поверхности детали; $[\lambda_{(t/k)}]_{\max}$, $(\lambda_{(t/k)})_{\max}$ — соответственно расчетная и фактическая максимальная удельная работа разрушения на уровне рабочей поверхности детали;

Коэффициент использования ресурса рабочей поверхности детали по удельной работе разрушения

$$K_{и.p.d}^{\lambda} = \frac{(\lambda_{(t/k)})}{[\lambda_{(t/k)}]} \leq 1,0. \quad (50)$$

Данный коэффициент всегда будет меньше единицы и будет характеризовать уровень использования физико-механических свойств материала детали. Как было показано для стали 40Х, $K_{и.p.d}^{\lambda} = (11,8 \div 19,53) \%$. Коэффициенты равноресурсности по удельной работе разрушения можно подсчитать:

на уровне сборочной единицы

$$K_{p.p.c.g.e.d}^{\lambda} = \frac{[\lambda_{(t)}]_{\min}}{[\lambda_{(t)}]_0} \leq 1,0,$$

$$K_{p.ф.сб.ед}^{\lambda} = \frac{(\lambda_{(i/j)})_{min}}{(\lambda_{(i/j)})_{б}} \leq 1,0;$$

на уровне составной части

$$K_{p.р.с.ч}^{\lambda} = \frac{[\lambda_{(i)}]_{min}}{[\lambda_{(i)}]_{б}} \leq 1,0,$$

$$K_{p.ф.с.ч}^{\lambda} = \frac{(\lambda_{(i)})_{min}}{(\lambda_{(i)})_{б}} \leq 1,0.$$

Если сборочные единицы и составные части включают в себя детали, изготовленные из материала с одинаковыми физико-механическими свойствами по одной технологии $K_{p.р.сб.ед} = 1,0$ и $K_{p.р.с.ч} = 1,0$.

В формуле (51) значения $[\lambda]$ и (λ) с индексом «б» показывают, что их необходимо выбирать по базовым деталям и сборочным единицам, по которым ведется расчет на долговечность.

Оценка использования ресурса детали по эквивалентному времени (коэффициент $K_{н.р.д}^{t_{экив}} = \frac{(t_{экив(i/k)})}{[t_{p(i/k)}]}$ и по удельной работе

разрушения (коэффициент $K_{н.р.д}^{\lambda} = \frac{(\lambda_{(i/k)})}{[\lambda_{(i/k)}]}$) позволяет установить

взаимосвязь между $(t_{экив(i/k)})$ и $(\lambda_{(i/k)})$.

Действительно, коэффициенты $K_{н.р.д}^{t_{экив}}$ и $K_{н.р.д}^{\lambda}$ — величины безразмерные. Если ресурс рабочей поверхности используется полностью, то $K_{н.р.д}^{t_{экив}} = K_{н.р.д}^{\lambda}$ т. е.

$$(t_{экив(i/k)}) = \frac{[t_{p(i/k)}]}{[\lambda_{(i/k)}]} (\lambda_{(i/k)}) \quad (52)$$

или

$$(t_{экив(i/k)}) = \Gamma (\lambda_{(i/k)}); \quad (53)$$

$$\text{где } \Gamma = \frac{[t_{p(i/k)}]}{[\lambda_{(i/k)}]_{кр}},$$

или

$$(\lambda_{(i/k)}) = \gamma (t_{экив(i/k)}).$$

Значение коэффициента γ зависит от величины расчетного ресурса и удельной работы разрушения. Предельные значения коэффициентов Γ и γ для сталей при $[\lambda_{(i/k)}]_{кр} = 132,9$ Дж/г приведены ниже. •

Расчетный ресурс, ч	100	500	1000	2000	3000	4000	5000
Коэффициенты:							
G (г·ч/Дж)	0,75	3,76	7,5	15,0	22,5	30,0	37,6
γ (Дж/г·ч)	1,33	0,27	0,13	0,066	0,044	0,033	0,027

Так как согласно (53) фактический ресурс по эквивалентному времени прямо пропорционален фактической удельной работе разрушения, то можно сделать вывод, что, повышая величину удельной работы разрушения, мы повышаем ресурс рабочей поверхности и соответственно ресурс детали.

Увеличивая сопротивляемость материала детали повреждению, можно уменьшить величину допустимого износа, снижая тем самым материалоемкость детали и изделия в целом. В процессе использования машины по назначению происходит постепенное накопление повреждений за счет увеличения (E_m). Как только (E_m) \geq [E_m], происходит разрушение. Поэтому все мероприятия, которые уменьшают скорость приращения (E_m), являются полезными для полного использования ресурса машины и ее элементов.

Равноресурсность детали можно обеспечить, если все ее рабочие поверхности будут иметь одинаковые или близкие значения удельной работы разрушения. Так как удельная работа повреждения зависит от E_m и Δt , то равноресурсность может достигаться регулированием данных значений на конкретной детали.

Кратность ресурсов рабочих поверхностей одной и той же детали (или деталей) в пределах сборочной единицы обеспечивается кратностью значений λ , т. е.

$$[\lambda_{(i/k)}]_{\min} = n [\lambda_{(i/k)}],$$

где $n = 1,0; 0,5; 0,25; 0,125$ и т. д.

Коэффициент равноресурсности можно рассчитывать по G , t_m . Однако коэффициент $K_{р.ф.}$, рассчитанный по $t_{экр}$, будет более объективным, чем этот же коэффициент, рассчитанный по G или t_m .

Из табл. 14 видно, что коэффициент равноресурсности, рассчитанный по нормативам стойкости, колеблется в пределах 0,5—1,0, причем кратность соблюдается для трех сборочных единиц: нижнего и верхнего шнека, одноплунжерного насоса. Коэффициент равноресурсности, рассчитанный по фактической наработке, изменяется в пределах: 0,386—1,13, когда ресурс оценивается по объему добычи; 0,381—1,11, когда ресурс оценивается по машинному времени; 0,157—0,746, когда ресурс оценивается по эквивалентному времени. Во всех случаях при расчете коэффициента равноресурсности в качестве базовой сборочной единицы принимается редуктор, у которого по нормативам стойкости и эквивалентному времени наибольшая наработка по сравнению с другими сборочными единицами комбайна. Сравнивая фактические значения коэффициента равноресурсности, рассчитанные по G , t_m и $t_{экр}$, видим, что коэффициент равноресурсности по $t_{экр}$ значительно отличается от аналогичных коэффициентов, которые рассчитаны по G и t_m и не превышает в данном случае единицы. По значению

Таблица 14

Значения коэффициента равноресурсности сборочных единиц комбайна 2К52М (исходные данные принятые в расчете приведены в [9])

Сборочная единица	По нормативам стойкости		По фактической обработке		
	Добыча, тыс. т	Машинное время, ч	Добыча, тыс. т	Машинное время, ч	Эквивалентное время, ч
Редуктор	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Нижний шнек	0,5	0,5	0,6	0,589	0,198
Верхний шнек	0,5	0,5	0,386	0,381	0,157
Гидронасос	0,714	0,91	1,13	1,11	0,65
Гидродвигатель	0,714	0,91	1,08	1,007	0,746
Насос одноплунжерный	1,0	1,0	1,0	1,002	0,61

$K_{р.р.сб.ед}^{т_оик}$ можно сказать, что фактические ресурсы сборочных единиц не кратны между собой.

Зная $K_{р.р.сб.ед}^{т_оик}$, можно составить группы для одновременной замены сборочных единиц при ремонте:

1-я группа — нижний и верхний шнек ($K_{р.р.сб.ед}^{т_оик} = 0,157 \div 0,198$);

2-я группа — гидронасос и одноплунжерный насос ($K_{р.р.сб.ед}^{т_оик} = 0,61 \div 0,65$);

3-я группа — гидродвигатель ($K_{р.р.сб.ед}^{т_оик} = 0,746$);

4-я группа — редуктор ($K_{р.р.сб.ед}^{т_оик} = 1,0$).

Чтобы обеспечить кратность коэффициентов равноресурсности сборочных единиц, необходимо рассматривать сборочные единицы более высокой ступени вхождения, доходя до детали и рабочей поверхности.

При анализе отказов машин основное внимание необходимо обращать на выявление причин повреждения рабочих поверхностей деталей, так как «слабые» рабочие поверхности лимитируют в итоге ресурс всей машины. Анализируя разрушенные детали, необходимо выделить причины, связанные с недоработкой конструкции, несовершенством технологии изготовления и восстановления, и причины, связанные с нарушением работы машины, технологии технического обслуживания и ремонта. Заводы-изготовители и ремонтные заводы через свои опорные пункты фирменного

технического обслуживания (ФТО) в состоянии устранить первые две группы причин, горные предприятия — третью группу.

Основной целью районных пунктов ФТО должен являться сбор объективной информации о ресурсах деталей и сборочных единиц, выраженных в $t_{экв}$, и об использовании физико-механических свойств материала деталей (значения λ) в конкретных условиях работы оборудования. Такая информация должна помочь решать три задачи: максимальное повышение значения (λ) и уточнение методики расчета [λ]; повышение уровня равноресурсности деталей и кратности их ресурсов; улучшение конструкции машины с точки зрения ее приспособленности к процессам технического обслуживания и ремонта.

При всем многообразии эксплуатируемых в стране машин и механизмов они состоят из типовых деталей. Анализируя условия работы, виды разрушения типовых деталей очистного оборудования и сравнивая численные значения λ , достигнутые на этих деталях, с численными значениями λ для данных групп деталей машин, изготавливаемых в других отраслях, можно установить лучшие конструкционные материалы и технологические процессы, которые необходимо заимствовать в других отраслях с целью повышения удельной работы разрушения деталей очистного оборудования.

В настоящее время в угольной промышленности страны создаются условия для резкого повышения надежности очистного оборудования за счет перехода к оценке ресурса отдельных деталей, целенаправленного анализа и установления причин разрушения детали. Энергомеханическая служба шахты и производственного объединения должна качественно вести эксплуатационную документацию, предусмотренную ОСТ 12.44.024—82; руководством по техническому обслуживанию и текущему ремонту оборудования шахт с применением нарядов-рапортов; временным положением по организации повторного использования деталей и сборочных единиц на ремонтных предприятиях Минуглепрома СССР.

Качественный и количественный анализ разрушенных деталей должен проводиться в бюро надежности ремонтных заводов, лабораториями надежности и ремонта ГПО бассейновых научно-исследовательских институтов, отделах (лабораториями) надежности заводов угольного машиностроения и проектно-конструкторских институтов. В связи с созданием в отрасли системы государственных испытаний техники можно на стадии ее создания оценивать уровень равноресурсности деталей, сборочных единиц и машин, степень использования свойств материала деталей и принимать меры по совершенствованию конструкции и технологии изготовления очистного оборудования.

1.8. ФАКТИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ ОЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ *

Отечественное угольное машиностроение достигло определенных успехов в области создания и совершенствования горных машин. Современный уровень проектирования и изготовления очистного оборудования позволяет выпускать изделия угольного машиностроения с достаточно высоким уровнем надежности, обеспечивающих суточную нагрузку на очистной забой 1000 т угля и более.

В результате проведенных в течение последних 10 лет работ по повышению уровня безотказности, технического обслуживания и текущего ремонта простой лав из-за отказов очистного оборудования снизились с 18—20 до 10—15 % времени смены (рис. 8) и в настоящее время уже не относятся к основным факторам, сдерживающим нагрузку на забой.

В то же время долговечность и ремонтпригодность оборудования серпильных комплексов повышаются медленно и не удовлетворяют растущим потребностям эксплуатации.

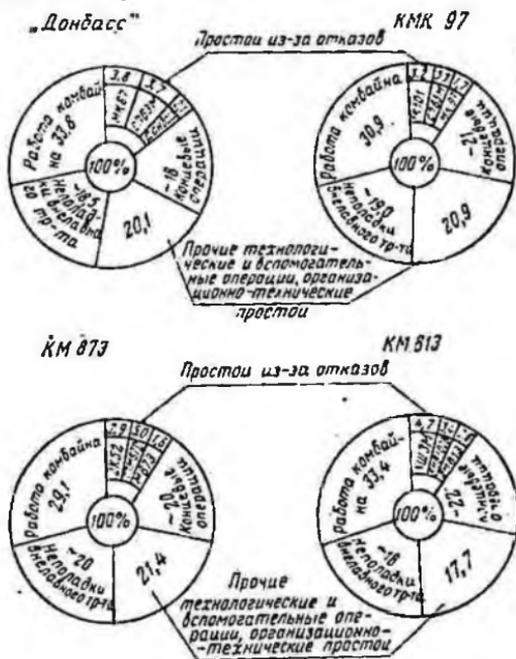


Рис. 8. Круговая диаграмма распределения времени работы оборудования очистных механизированных комплексов в добычную смену

* Надежность электрооборудования здесь не рассматривается. См. в книге Надежность взрывозащищенного и рудничного электрооборудования/А. И. Быков, Б. Н. Ванев, В. Д. Главный и др. М.: Недра, 1979 (Серия «Надежность и качество»).

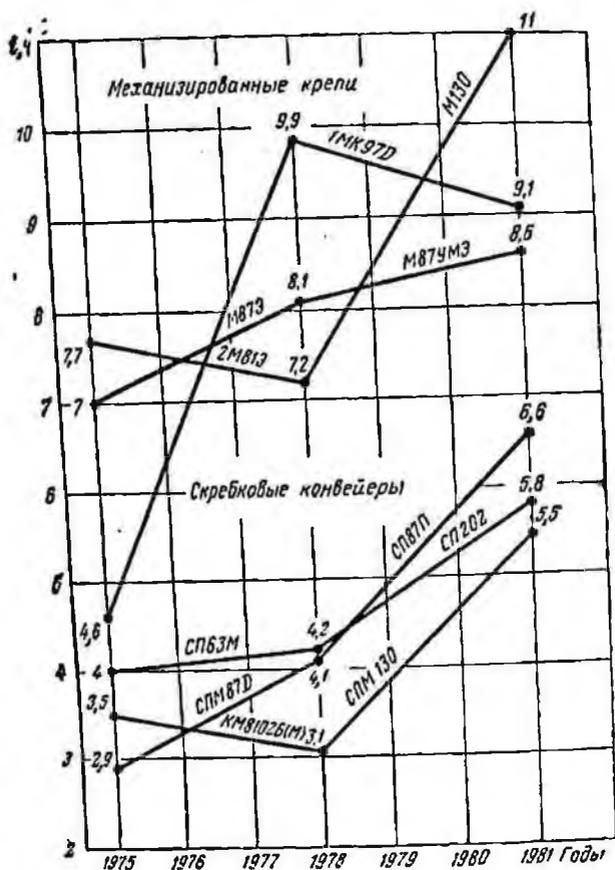


Рис. 9. Изменение парабатки на отказ оборудования очистных механизированных комплексов

Уровень надежности очистного оборудования (комбайнов, скрепковых конвейеров и механизированных крепей) характеризуется данными, приведенными в табл. 15 и на рис. 9, откуда видно, что показатели надежности серийного очистного оборудования, поставленного на производство более 10 лет назад, за период 1975—1978 гг. практически не изменилась.

Институтами и машиностроительными заводами ВПО «Союз-углемаш» разработан и поставлен на серийное производство (или модернизирован) ряд типов очистного оборудования высокого технического уровня, качества и надежности, в том числе:

скрепковые передвижные конвейеры СП202, СП87П, СП301, СПЦ151, СПЦ161;
механизированные крепи 1М88, М87УМ. 1(2)МТ, М130, МК97М;

Таблица 15

Средняя наработка на отказ и коэффициент неисправности оборудования механизированных комплексов на 1975—1982 гг.

Наименование и тип оборудования	Средняя наработка на отказ, ч			Коэффициент неисправности		
	1975 г.	1978 г.	1982 г.	1975 г.	1978 г.	1982 г.
<i>Комбайны</i>						
К103	—	—	9,4	—	—	0,08
1К101	4,0	4,1	3,8	0,19	0,17	0,18
2К52М	4,0	6,1	—	0,15	0,10	—
1ГШ68	5,0	6,4	4,8	0,14	0,12	0,12
КШ1КГ	7,7	6,9	—	0,10	0,08	—
КШ3М	3,5	3,5	—	0,32	0,25	—
<i>Конвейеры</i>						
СП202В1	—	—	8,5	—	—	0,13
СП202	—	5,6	5,8	—	0,12	0,11
СП63М	4,0	4,2	4,0	0,18	0,26	0,17
СП87П	—	—	6,6	—	—	0,08
СПМ130	—	—	5,5	—	—	0,09
СПМ87Д	2,9	4,1	—	0,18	0,20	—
КМ8102Б(М)	3,5	3,1	—	0,16	0,22	—
ОКП70	—	4,6	—	—	0,06	—
КИ-3М	5,3	10,7	—	0,11	0,13	—
<i>Механизированные крепи</i>						
1М103	—	—	8,9	—	—	0,03
МК97	4,6	9,9	9,1	0,09	0,06	0,06
МКД	—	6,5	6,1	—	0,05	0,07
М87Э	7,0	8,1	—	0,06	0,06	—
М87УМ	—	—	8,6	—	—	0,04
М88	—	—	8,9	—	—	0,03
2МТ	—	—	8,0	—	—	0,03
М130	—	—	11,1	—	—	0,11
2М81Э	7,7	7,2	—	0,06	0,15	—
ОКП70	2,8	5,2	—	0,20	0,13	—
1МКМ	2,6	1,3	—	0,16	0,38	—
2МКЭ	4,3	1,2	—	0,12	0,38	—

механизированный комплекс для тонких пластов КМ103 (комбайн К103, механизированная крепь КМ103, скребковый конвейер СП202В1);

разработан ряд унифицированных комбайнов РКУ.

Приведенные в табл. 15 и на рис. 9 данные показывают, что уровень надежности вновь созданного и модернизированного оборудования превышает уровень заменяемого оборудования. Так, наработка на отказ комбайна 1К103 более чем в 2 раза превышает наработку на отказ комбайна 1К101; наработка на отказ механизированной крепи М130 в 1,5 раза выше, чем у крепи 2М81Э;

наработка на отказ базовых скребковых конвейеров СП202, СП87П и СП130 в 1,4—1,8 раза превышает наработку на отказ конвейеров СП63М, СПМ87Д и КМ8102Б.

Из рис. 9 видно, что наработка на отказ механизированной крепи 1МК97Д в 1980 г. уменьшилась по сравнению с 1978 г., что свидетельствует об эксплуатации крепи 1МК97Д в более жестких условиях по сравнению с «паспортными».

Проведенные исследования надежности оборудования очистных забоев позволили установить, что в механизированной крепи М87Э наряду с другими отказами имели место случаи перетоков рабочей жидкости в поршневую полость при выдавливании кромки манжет между поршнем и цилиндром в имеющийся там зазор. Разработанная Гипроуглемашем новая конструкция уплотнительного узла с применением резиновых манжет с защитными пластмассовыми подкладными кольцами на стойках крепей М88 и М87УМ позволила в 5 раз сократить интенсивность замены стоек с уплотнительным узлом новой конструкции по сравнению со стойками с уплотнительным узлом старой конструкции.

Применение в механизированных крепях М87УМ и 1М88 стоек двойной гидравлической раздвиженности вместо гидровинтовых, применяемых в механизированной крепи М87Э, позволило в 7 раз сократить отказы посадки «на жестко» в механизированных крепях М87УМ и 1М88 по сравнению с механизированными крепями М87Э.

Следует особо отметить, что в крепях 1М103, эксплуатирующихся на шахтах «Ясиновская Глубокая» п. о. «Советскуголь» и «Миусская» п. о. «Торезантрацит», случаев посадки крепи «на жестко» в течение всего периода эксплуатации не зарегистрировано, что свидетельствует о высоком уровне надежности гидрооборудования механизированной крепи 1М103, изготовленного на Малаховском экспериментальном заводе.

Во вновь созданном Гипроуглемашем очистном комбайне 1К103 симметричное расположение исполнительных органов представляет собой резервированную систему и позволяет при поломках одного из приводов шнека вести добычу угля другим шнеком, не снижая нагрузки, что было подтверждено при эксплуатации комбайна 1К103 в составе механизированного комплекса КМ103 на шахте «Ясиновская Глубокая» п. о. «Советскуголь».

Разработка Гипроуглемашем совместно с харьковским машиностроительным заводом «Свет шахтера» и постановка на серийное производство базовых скребковых конвейеров СП202, СП87П и СП301 позволили в 2—3 раза увеличить ресурс линейных решетков по сравнению с решетками скребковых конвейеров СП63М, СПМ87Д и КМ8102БМ). В отдельных случаях при грамотной эксплуатации техники были достигнуты рекордные ресурсные показатели. Так, на шахте «Трудовская» п. о. «Донецкуголь» конвейером СП202 было доставлено из 9-й западной лавы более 1 млн. т угля, при этом всего лишь 16% решетков от первоначально установленных в лаве были заменены. На шахте им. Ленина п. о.

«Ворошиловградуголь» конвейером СП87П было доставлено из 6-й панельной лавы более 1 млн. т угля, при этом было заменено 25 % рештаков от первоначально установленных в лаве.

Приведенные примеры в очередной раз показывают, что уровень надежности нового или модернизированного оборудования, изготавливаемого заводами ВПО «Союзуглемаш», значительно превышает уровень надежности заменяемого оборудования.

Высокий технический уровень и надежность вновь созданного и модернизированного очистного оборудования достигнуты в основном благодаря:

усилению рештачного става и увеличению энерговооруженности скребковых конвейеров (СП202, СП87П, СП301);

увеличению несущей способности и гидравлической раздвижности, большему коэффициенту затяжки кровли, осуществлению управления из-под соседней секции, усилению перекрытия и защиты со стороны завала у механизированных крепей;

повышению энерговооруженности, применению ВСП с электромагнитной муфтой скольжения, применению корпуса комбайна без стыков (К103), оснащению комбайнов бесцепными системами подачи и пылеулавливающими установками (2ГШ68 и 2КШ3);

применению на стойках крепи М88 уплотнительного узла новой конструкции с защитными пластмассовыми подкладными кольцами.

В одиннадцатой-двенадцатой пятилетках работы по совершенствованию серийного, модернизированного и вновь созданного оборудования будут продолжены.

К числу наиболее существенных факторов, влияющих на надежность работы очистного оборудования, следует отнести: условия и режим работы оборудования; совершенство конструкции; качество материалов и качество изготовления оборудования; своевременность и качество ремонта. При определении показателей надежности немаловажное значение имеет и возраст наблюдаемого оборудования. Известно, что при эксплуатации очистного оборудования в условиях шахты техническое его состояние постоянно изменяется: изнашиваются отдельные детали, ослабляются крепежные элементы, загрязняется рабочая жидкость и т. д.

Неравномерность отдельных элементов очистного оборудования и их функциональные особенности при эксплуатации также оказывают существенное влияние на надежность очистного оборудования.

На рис. 10 приведены результаты эксплуатации двадцати скребковых конвейеров СП202 на шахтах Донецкого и Львовско-Вольнского бассейнов, откуда видно, что средний ресурс тяжело нагруженной звездочки на порядок ниже, чем у линейного рештака, работающего в основном на истирание.

Одним из важнейших факторов, влияющих на надежность работы очистного оборудования, является соблюдение норм и правил работы, технического обслуживания и текущего ремонта. Наглядным примером влияния уровня эксплуатации на надежность ра-

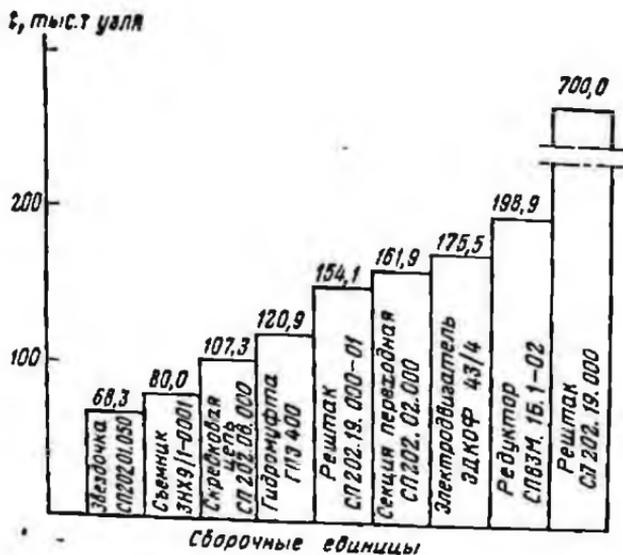


Рис. 10. Диаграмма средних наработок до замены сборочных единиц скребковых конвейеров СП202 (по результатам наблюдений в 1981 г.)

боты оборудования могут служить сведения, приведенные в табл. 16, которые получены путем длительных наблюдений за работой насосных станций СНУ5 на двух шахтах Ростовской области. Из табл. 16 видно, что только несоблюдение «Инструкции по приготовлению и применению водной эмульсии для гидросистем

Таблица 16

Влияние уровня эксплуатации на надежность работы отдельных элементов насосной станции СНУ5

Наименование параметров эксплуатации, сборочных единиц и деталей	Уровень эксплуатации	
	с соблюдением правил	с отступлением от правил
Продолжительность работы СНУ5, мес	12	13
Содержание присадки ВНИИМП-117 в эмульсии, %	1,6—3	0,3—1
Содержание механических примесей в эмульсии, %	0,012	0,026
Замена насосов:	Количество замен	
эмульсионный ВНР-32/20	Н. д.	4
подпиточный ІСНУ4.02.060	1	3
Расход запасных частей:		
всасывающие и нагнетательные клапаны	21	44
поршневые пары	9	28
клапан минимального расхода	—	2
уплотнения УМА	4	9
Стоимость замененных запасных частей, %	100	350

механизированных крепей, крепей сопряжения, гидродвигателей и гидростоек с внешним питанием», рекомендуемой концентрации эмульсии на основе присадки ВНИИПП-117 в пределах 1—1,5 % и загрязненность эмульсии при эксплуатации, не превышающую 0,01 %, в 3,5 раза увеличило стоимость замененных запасных частей на этих насосных станциях, не считая затрат на обслуживающий персонал, производивший замены отказавших элементов СНУ5.

2. ХАРАКТЕРНЫЕ ВИДЫ РАЗРУШЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ОЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Отличительной особенностью очистного оборудования является его быстрое физическое старение. Срок службы до списания основного очистного оборудования составляет: нормативный 4,5—6 лет, фактический (в зависимости от напряженности работы) 2—6 лет. Моральный срок службы оборудования в зависимости от типа составляет 12 лет.

При большом числе типов очистного оборудования и сравнительно быстром их обновлении для установления видов и причин повреждения важное значение приобретает типизация деталей, которые являются первичными элементами любой машины и механизма. При всем многообразии наименований деталей и видов повреждений можно установить определенное соответствие между классами и группами деталей и видами повреждений. Такое соответствие позволяет выявить наиболее характерные и часто встречающиеся повреждения для каждого класса и группы деталей.

2.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ

Вопрос классификации деталей сложный. До настоящего времени существовали отраслевые классификаторы деталей, например в автомобильной промышленности. Они охватывали те детали, которые находили применение в изделиях отрасли.

Для горношахтного оборудования, в том числе и очистного, до настоящего времени в окончательном виде классификаторы деталей не разработаны. В 70-х годах в связи с интенсивным внедрением в народное хозяйство вычислительной техники и автоматизированных систем управления, ВНИИНМАШем были начаты работы по составлению классификатора ЕСКД [22]. В данном классификаторе классы с 71 по 76 отведены для деталей, приведенных ниже.

Номер класса

Детали

- | | |
|----|--|
| 71 | Тела вращения: типа колец, дисков, стержней, шкивов, втулок, блоков, стаканов, колонок, штоков, валов, осей и др. |
| 72 | Тела вращения: с элементами зубчатого зацепления; трубы разрезные, секторы, сегменты; аэрогидродинамические; корпусные, опорные, емкостные; подшипников |
| 73 | Не тела вращения: корпусные, опорные, емкостные |
| 74 | Не тела вращения плоскостные: рычажные, грузовые, тяговые; аэрогидродинамические; изогнутые из листов, полос, лент; профильные; трубы |
| 75 | Тела вращения или не тела вращения; кулачковые, карданные с элементами зацепления, арматуры, санитарно-технические, разветвленные, пружинные, ручки, уплотнительные, отсчетные, пояснительные, маркировочные, защитные, литеры, оптические, электрорадиоэлектронные, крепежные |
| 76 | Технологической оснастки, инструмента |

Пользуясь данными классификатора, можно любую деталь очистного оборудования отнести к соответствующему классу и присвоить ей код. Правильное кодирование позволяет установить приемственность различных конструкций на уровне деталей. Однако в этих классификаторах учитываются только конструктивные признаки деталей. На практике наряду с конструктивными признаками необходимо знать технологические свойства деталей и виды их повреждений.

При классификации деталей очистных механизированных комплексов были использованы четыре класса деталей (71—74), в каждом из которых выбраны типовые представители. В табл. 17—20 приведены конструктивно-технологические свойства деталей забойного горно-шахтного оборудования.

Анализ приведенных данных показывает, что детали очистного оборудования изготавливаются в основном из низко- и среднеуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей. Основными видами термической обработки для них являются: объемная закалка с низким и средним отпуском, поверхностная закалка ТВЧ, улучшение, цементация. Некоторые детали (стаканы, грундбоксы, поршни, плиты, основания и т. д.) иногда термообработке не подвергаются. Точность рабочих поверхностей ответственных деталей соответствует 6—9 качеству точности; шероховатость поверхностей находится в пределах: $R_a = 0,16 \div 2,5$ мкм; $R_z = 10 \div 80$ мкм.

Анализируя геометрическую форму деталей можно видеть, что они довольно сложны по геометрии, имеют множество конструктивных концентраторов напряжений. Детали класса 73, как правило, являются сварными или сварно-литыми конструкциями. Проведенный анализ многочисленных литературных источников по повреждениям деталей очистного оборудования, карт браковочных признаков по отдельным типам машин, а также выполненные авторами исследования показали, что, несмотря на большое количество деталей, все повреждения сводятся к определенным четырем видам: поломки, износы, деформации, коррозии. Для поломок очистного оборудования характерно, что большинство их происходит при кратковременном однократном статическом и динамическом нагружениях или длительном статическом нагружении. Поломки усталостного характера, вызванные длительным действием знакопеременных нагрузок, случаются реже. Это объясняется тем, что:

очистное оборудование относится к классу высоконагруженного и высокодинамичного оборудования и его детали разрушаются при напряжениях больших, чем предел выносливости;

отсутствует достоверная объективная информация о реальных режимах работы типовых групп деталей;

методы расчета на долговечность деталей требуют уточнения.

Детали очистного оборудования имеют большое число конструктивных концентраторов напряжений.

Влияет на интенсивность поломок и квалификация машинистов,

Таблица 17
Конструктивно-технологические свойства деталей забойного горно-шахтного оборудования (класс 71)

Группа	Подгруппа	Место установки	Вид и место повреждения	Материал	Вид термообработки, твердость	Размеры*
Втулки	Распорные гладкие	Редукторы забойного оборудования	Механическое изнашивание внутренних, наружных и торцовых поверхностей	Сталь 40X	Закалка, отпуск (HRC45...50)	$D=90 \div 125$ h11 $d=75+90$ H9 $L=50+100$
	Распорные с канавками	Редукторы очистных комбайнов	Механическое изнашивание внутренних и наружных поверхностей	Сталь 45	Улучшение (HB 240...270)	$D=110 \div 150$ h11 $d=90 \div 130$ H9 (H11) $L=190 \div 250$
	Прижимные	То же	Механическое изнашивание внутренней и наружной поверхностей, смятие резьбы	То же	То же	$D=(65+80)$ f9 $L=95+100$ K6
	Эксцентриковые	•	Механическое изнашивание внутренних, наружных и торцовых поверхностей	Сталь 40X	Закалка, отпуск (HRC 45...50)	$D=110 \div 120$ h11 $d=85+95$ K6 $L=100+120$ H7
Стаканы	Прижимные	Редукторы забойного оборудования	Механическое изнашивание внутренних и наружных поверхностей, трещины после восстановления наплавкой	Сталь 45	—	$D=280 \div 400$ $d=200 \div 250$ $L=80 \div 100$
Фланцы	С наружной резьбой	Механизм подачи очистных комбайнов	Смятие резьбы	То же	—	$D=(80 \div 90)$ h8 M48×1,5 $L=45 \div 60$
	Центрирующие с поперечными резьбовыми отверстиями	Механизм подачи очистных комбайнов, редукторы забойных конвейеров	Механическое изнашивание центрирующих посадочных мест; смятие резьбы	•	Улучшение (HB 240...270)	$D=(75 \div 220)$ $d=(16-50)$ d11 $L=40 \div 80$
Седло клапана	Гладкие	Гидрораспределители механизмов подачи, насосных станций	Механическое и гидроабразивное изнашивание посадочного места под клапан; механическое изнашивание центрирующей наружной поверхности	Сталь 40X	Закалка, отпуск (HRC 40...45)	$D=20$ f9 $L=7 \div 8$

Гильзы гидрораспределителей	С поперечными отверстиями	и механизированных крепей Гидронасосы механизмов подачи очистных комбайнов	Механическое, кавитационное и гидроабразивное изнашивание посадочного места под клапан; механическое изнашивание центрирующей наружной поверхности; механическое и гидроабразивное изнашивание поверхности седла	То же	Закалка, отпуск (HRC 45...50)	$D=20$ f9 $d_2=7$ H12
		Гидравлические механизмы подачи, насосные станции, механизированные крепи	Механическое изнашивание наружной поверхности, механическое и гидроабразивное изнашивание внутренней поверхности	Сталь 18ХГТ	Цементация (h=0,5—0,8 мм, HRC 56...62)	$D=36 \div 60$ $d=18 \div 30$ $L=80 \div 200$
Грунд-буксы		Гидродомкраты очистных комбайнов	Механическое изнашивание наружной поверхности; механическое и абразивное изнашивание поверхности; трещины, изломы	Сталь 45, наплавка латунью Л63	—	$D=100$ h8 $d=55$ H9 $L=65$
Поршни		Штоки гидродомкратов очистных комбайнов и механизированных крепей	Механическое и абразивное изнашивание наружной поверхности; механическое изнашивание внутренней поверхности; трещины, изломы	Сталь Ст. 3, наплавка латунью Л63	—	$D=100$ g6 $d=45$ H9 $L=50$
Валы	Шлицевые, ступенчатые	Редукторы гидравлических механизмов подачи, забойных конвейеров	Механическое изнашивание посадочных мест под подшипники качения и шлицев; скол шлицев	Сталь 30ХГТ	Цементация (h=0,9—1,3 мм, HRC 56...62)	$d_{шл}=125+150$ d11 $L=250 \div 320$

Группа	Подгруппа	Место установки	Вид и место повреждения	Материал	Вид термической обработки, твердость	Размеры*
Оси	Со шпонками, ступенчатые с резьбой и со шлицами	Редукторы забойного конвейера и главный редуктор комбайна	Механическое изнашивание посадочных мест подшипников качения и шлицев; смятие шпоночного паза, срыв резьбы	Сталь 40Х	Улучшение (НВ 280...320), закалка ТВЧ ($h=0,9\div 1,1$, HRC 42...50)	$d_{\text{шл}}=48$ $M=56\times 2$ $L=350\div 480$
	Простые, с пазом под стопорное кольцо, со шпоночным пазом	Редуктор комбайна Редуктор механизма подачи	Механическое изнашивание, деформация осей большой длины Механическое изнашивание	Сталь 45 Сталь 35ХГСА	Улучшение (НВ 240...270) Закалка, низкий отпуск (HRC 45...50)	$d=50$ d11 $L=110\div 216$ $d=70$ d11 $L=185$
Плунжеры	Цельные	Панели управления очистных комбайнов	Механическое изнашивание рабочей поверхности плунжера, трещины Механическое изнашивание внутреннего посадочного отверстия	Сталь 18ХГТ Сталь 40Х	Цементация ($h=0,9\div 1,3$), HRC (56...62)	$D=30\div 60$ $d=(16\div 20)$ H11 $L=85\div 120$
Штоки	Цельные	Гидродомкраты очистных комбайнов и механизированных крепей	Механическое и абразивное изнашивание и коррозия рабочей поверхности, механическое изнашивание посадочного места под поршень, смятие резьбы; механическое изнашивание внутреннего посадочного отверстия; трещины, изломы, деформация, отслаивание и трещины электролитического осадка хрома и железа	Сталь 40Х	Улучшение (НВ 240...270)	$D=(90\div 200)$ f9 $d=(50\div 120)$ H11 $L=400\div 1800$

Золотники	С продольными отверстиями	Гидродомкраты очистных комбайнов и механизированных крепей	Механическое абразивное изнашивание и коррозия рабочей поверхности; механическое гидроабразивное и кавитационное изнашивание посадочных мест под клапаны; смятие резьбы; трещины, изломы, деформация (на штоках большой длины), отслаивание, трещины электролитического осадка хрома (железа)	Сталь 40Х	Улучшение НВ (240...270)	$D=(40\div 100)$ f9 $L=250\div 1500$
	Цельные	Панели управления очистных комбайнов, механизированных крепей	Механическое и гидроабразивное изнашивание, повреждение резьбы	Сталь 18ХГТ	Цементация ($h=0,7\div 1,1$ мм, HRC 56...62)	$D=20\div 35$ Резьба М10 (М14) $L=200\div 350$
Клапаны	С продольным отверстием	Механизм подачи очистных комбайнов	Механическое и гидроабразивное изнашивание	То же	Цементация ($h=0,5\div 0,8$, HRC 56...62)	$D=20\div 30$ $L=140\div 200$
		Механизм подачи очистных комбайнов, насосные станции, механизированные крепи, гидродомкраты очистных комбайнов	Механическое, гидроабразивное и кавитационное (следы) изнашивание посадочного места	Сталь ШХ15	Закалка (HRC 56...62)	$D=9\div 12$ $L=20\div 30$

* D—наружный диаметр; d—внутренний диаметр; L—длина; $d_{\text{шл}}$ —наружный диаметр шлицев; M—обозначение резьбы.

Таблица 18

Конструктивно-технологические свойства деталей забойного горно-шахтного оборудования (класс 72)

Группа	Подгруппа	Место установки	Вид и место повреждения	Материал (сталь)	Вид термообработки (твердость)	Размеры, мм*
Шестерни Колеса	Одинарные	Редукторы механизма подачи очистных комбайнов, приводов забойных конвейеров	Механическое и абразивное изнашивание, отслаивание цементационного слоя на поверхности зуба при неправильно назначенной глубине; скол зубьев, поломка зубьев; механическое изнашивание внутреннего посадочного отверстия	Сталь 40X, 45 20X2H4A 25X2ГНТА	Улучшенные (HB 240...270) Цементация (h=0,7—1,8 мм, HRC 56...60)	m=4÷14 z=23÷45
	Блок шестерен	Редуктор механизма подачи	То же	20X2H4A 25X2ГНТА 30XГТ 20X2H4A 25X2ГНТА	Цементация (h=1,4—1,8 мм, HRC 56...60) Цементация (h=1,4—1,8 мм, HRC 56...62)	m=10—12 z=23—40
	Цилиндрические со шлицами на внутреннем отверстии	Редукторы забойного оборудования	Механическое, абразивное и усталостное изнашивание поверхности зуба. Отслаивание цементационного слоя (при неправильно назначенной глубине), поломка и скол зубьев; механическое изнашивание шлицев	20XНЗА	Цементация (h=0,9÷1,4 мм, HRC 56...62)	m=8÷14 z=27÷42
	Конические с круговыми зубьями и со шпоночным пазом на внутреннем посадочном отверстии	Редукторы забойных конвейеров	Механическое, абразивное и усталостное изнашивание поверхности зуба, отслаивание цементационного слоя (при неправильно назначенной глубине), поломка и трещины на зубьях; механическое изнашивание шпоночного паза	20XНЗА	Цементация (h=0,9÷1,4 мм, HRC 56...62)	m=6 z=51
Валы-шестерни	Полые со шлицами на внутренней поверхности	Механизм подачи очистных комбайнов	Механическое изнашивание поверхности зуба, шлицев и наружной посадочной поверхности вала, скол зубьев	20X2H4A	Цементация (h=1,4÷1,8 мм, HRC 56...62)	m=8÷12 z=27÷42
	Цельные прямозубые со шлицами	Редукторы забойных конвейеров	Механическое, абразивное, усталостное изнашивание поверхности зубьев; скол торцов зубьев; деформация вала; механическое изнашивание шлицев; излом и выкрашивание шлицев, трещины по шлицам; механическое изнашивание посадочных мест под подшипники	12XНЗА 20XНЗА	Цементация (h=0,9÷1,4 мм, HRC 56...62)	m=9 z=14
	Цельные косозубые со шлицами, шпоночным пазом, наружной и внутренней резьбой	То же	Механическое, абразивное и усталостное изнашивание поверхности зубьев, скол торцов и излом зубьев, деформация вала, механическое изнашивание шлицев, излом и выкрашивание шлицев, трещины по шлицам, износ и деформация шпоночного паза, механическое изнашивание и смятие резьбы, механическое изнашивание посадочных мест под подшипники	12XНЗА 20XНЗА	Цементация (h=0,9÷1,4 мм, HRC 56...62)	m=6÷8 z=19÷23 D=140÷200 L<360

Группа	Подгруппа	Место установки	Вид и место повреждения	Материал (сталь)	Вид термообработки (твердость)	Размеры, мм*
Муфты зубчатые	Цельные конические (ритцель) со шпоночным пазом	Редукторы забойных конвейеров	Механическое, абразивное и усталостное изнашивание поверхности зубьев, излом зубьев, деформация вала, механическое изнашивание и деформация шпоночного паза, механическое изнашивание посадочных мест под подшипники, механическое изнашивание и смятие резьбы	12ХНЗА 20ХНЗА	Цементация ($h=0,9 \div 1,4$ мм, HRC 56...62)	$m=6$ $z=13$ $D=92 \div 110$ $L=330 \div 350$
	Полумуфта со шлицами на внутренней поверхности парного зацепления	Редукторы очистных комбайнов Редукторы гидравлических механизмов подачи очистных комбайнов	Механическое изнашивание зубьев и шлиц, трещины у корня зуба и по шлицам, скол торцов и поломка зубьев Механическое изнашивание зубьев, трещины у корня зуба, скол торцов и поломка зубьев	25ХГТ 18ХГТ	Цементация ($h=0,9 \div 1,3$ мм, HRC 56...62) Цементация ($h=0,4 \div 1,3$, HRC 56...62)	$m=6, z=25$ $D=150 \div 160h, z$ $L=120 \div 140$ $m=3 \div 6$ $z=13 \div 30$ $L=80 \div 173$
Звездочки	Тяговые со шлицами	То же	Механическое и абразивное изнашивание поверхности зуба и шлиц звездочки; снятие поверхности зуба	35ХГФЛ	Улучшение (HB 240...270) Закалка ТВЧ шлиц и зубьев (HRC > 48)	$z=5$ $D=350$ $L=124$

* m —модуль зубьев; z —число зубьев; D —наружный диаметр; L —ширина колеса (шестерни).

Таблица 19

Конструктивно-технологические свойства деталей забойного горно-шахтного оборудования (класс 73)

Группа	Подгруппа	Место установки	Вид и место повреждения	Материал	Вид термообработки	Размеры, мм*
Корпусные	Корпуса редукторов очистных комбайнов	Центральный редуктор Привод очистных комбайнов	Деформация корпуса, трещины, механическое и абразивное изнашивание посадочных мест под подшипники, смятие резьбы	Сталь 15Л-1; Сталь 35Л-1 Сталь 35ФЛЛ Сталь 35ХГМЛ Сталь 35Л-11	Нормализация (HB 187 . . . 217)	$L=1500+4000$ $B=1000$ $H=400+500$
	Корпуса редукторов забойных конвейеров Корпуса гидронасосов	Привод очистных комбайнов	Трещины, механическое изнашивание посадочных мест под подшипники, смятие резьбы	Сталь 45	То же Улучшение (HB 240 . . . 270)	$L=800+1100$ $B=500+800$ $H=700+900$ $L=140$ $H=115$ $H=12$ $L=217$ $B=285$ $H=110$
	Корпуса золотников	Пульс управления очистных комбайнов	Механическое и абразивное изнашивание поверхности под золотниками; смятие резьбы	То же	То же	$L=400+850$ $d=100+180$
	Корпуса гидродомкратов	Гидродомкраты очистных комбайнов	Механическое и абразивное изнашивание «зеркала» корпуса, раздутие корпуса, трещины, отрыв и деформация проушин, механическое и абразивное изнашивание отверстий проушин, смятие резьбы	Труба-сталь 30ХГСА, опора-сталь 45, бонка-сталь 45	То же	
Опорные	Плиты	Гидравлические подпьющие части	Трещины и изломы плиты, смятие резьбы, механическое изнашивание посадочных отверстий	Сталь 15Л-1	—	$L=800+950$ $B=750+850$ $H=65+75$
	Лыжи	Опоры очистных комбайнов	Абразивное и механическое изнашивание опорных поверхностей щек лыжи. Механическое и абразивное изнашивание посадочных отверстий, смятие резьбы, трещины и изломы	Сталь 35ХГФЛ	Улучшение (HB 220 . . . 270)	$L=400+800$ $B=80+400$ $H=160+308$
Основания	Механизированные краны	—	Деформация по длине и ширине конструкции до 40—60 мм от номинала	Сталь 10ХСНД	—	$L=3000$ $B=14+30$ $H=800 \div 1200$
Перекрытия	Механизированные краны	—	Деформация по длине и ширине конструкции до 40—60 мм от номинала	Сталь 35Л-11 35ХГСЛ	—	
Рамы	Рамы привода	Забойные конвейеры	Абразивное изнашивание направляющих, деформация конструкции, трещины сварных швов	Сталь 35 Ст. 3	Плазменная закалка верхнего листа (HRC 42 . . . 46)	$L=2000$ $B=800$ $H=535$
	Секция переходная	То же	То же	—	—	$L=2000$ $B=800$ $H=250$

* L, B, H —длина, ширина, высота соответственно; d —диаметр посадочного отверстия корпуса.

Таблица 20

Конструктивно-технологические свойства деталей забойного горно-шахтного оборудования (класс 74)

Группа	Подгруппа	Место установки	Вид и место повреждения	Материал	Вид термообработки	Размеры, мм*
Плоскостные детали	Кожухи защитные	Гидравлические подающие части очистных комбайнов	Механическое изнашивание и деформация отверстий, трещины и изломы кожуха	Сталь 15Л-1		$L=500 \div 700$ $B=200 \div 350$ $H=55 \div 60$
	Утюги	Забойные конвейеры	Абразивное изнашивание рабочей поверхности до $H=12$ мм, деформация утюга и отверстий утюга	Сталь 65Г	Закалка (HRC 35...42)	$L=662 \div 700$ $H=16$ $d=18 \div 20$
	Козырьки	Забойные конвейеры	Абразивное изнашивание рабочей поверхности до $H=15$ мм, деформация козырька, трещины по сварному шву, механическое изнашивание и деформация отверстий	Сварной узел		$L=600 \div 700$ $H=20$
	Съемники	Забойные конвейеры	Абразивное изнашивание рабочей поверхности зубьев до $H=2$ мм, деформация съемника, излом зубьев, деформация, механическое и абразивное изнашивание отверстий	Сталь 45Л-1	Закалка ТВЧ поверхности зубьев (HRC 40...50) $h=0,5$ мм	$L=280 \div 320$ $B=208 \div 212$
Рычажные детали	Вилки	Очистные комбайны	Деформация, трещины и изломы вилки, механическое и абразивное изнашивание посадочных отверстий, смятие резьбы	Сталь 45	Улучшение (HB 240...270)	$L=11 \div 50$ $H=200 \div 350$ $d=40 \div 60$ H11

Детали изогнутые из листов и полос (сварные конструкции)	Лемеха погрузочные	Забойные конвейеры	Деформация и отрыв элементов лемеха, механическое и абразивное изнашивание пальцев, деформация отверстий лемехов	Сварной узел		$L=1900 \div 2200$
	Борт	Забойные конвейеры	Деформация и отрыв элементов борта по сварному шву	Сварной узел		$L=920 \div 1870$ $B=365 \div 420$ $H=383 \div 400$
	Рештак	То же	Абразивное изнашивание	Сталь 35	Плазменная закалка (HRC 42...46) Наплавка порошковой проволокой (HRC 58...62)	$L=1500-1900$ $B=500-800$ $H=160-200$

* L, B, H—длина, ширина, высота соответственно.

ремонтного персонала. Все это говорит о том, что снизить число внезапных поломок можно комплексными методами, которые предусматривают нейтрализацию перечисленных выше причин. В первую очередь к ним можно отнести внедрение автоматических средств контроля за режимом работы оборудования и уточнение на базе этого метода расчета долговечности деталей; совершенствование конструкции очистного оборудования путем оснащения его средствами, предохраняющими от перегрузок; улучшение технологии изготовления деталей, сборки и испытания оборудования; повышение качества технологического обслуживания и ремонта. Особое внимание при изготовлении и восстановлении деталей необходимо обращать на нейтрализацию технологических концентраторов, например способами поверхностного пластического деформирования (наклеп дробью, обкатывание роликами и шариками, чеканка и другие способы). Они повышают долговечность деталей в зависимости от концентратора напряжения в 1,5—10 раз.

Реализация комплекса мероприятий позволит свести внезапные поломки до минимума. При этом необходимо ни одну поломку ответственных деталей не оставлять без установления ее причины, разработки и реализации мероприятий, которые предотвращают данные поломки в будущем. Такие виды разрушения, как износы и коррозии по удельному весу превосходят поломки деталей. Однако до настоящего времени существует мало нормативных документов, регламентирующих расчеты деталей очистного оборудования на изнашивание и коррозионную стойкость. Поэтому необходимо совершенствовать и разрабатывать методы расчета, идти по пути разработки автоматизированной системы учета, анализа и установления причин разрушения рабочих поверхностей деталей.

2.2. ВИДЫ РАЗРУШЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ

К повреждению или к отказу может привести либо разрушение деталей, либо их недопустимое коробление (деформация), либо разрегулировка сборочных единиц.

К основным процессам, вызывающим повреждение и отказы деталей очистного оборудования, относится процесс разрушения. На его долю приходится более 75 % всех повреждений и отказов.

Виды разрушений деталей: поломки, износы и коррозия. Деформация также приводит к повреждениям и отказам и поэтому ее рассматривают как факт, который может предшествовать различным видам разрушения.

Повреждение и отказ деталей может происходить при использовании их по назначению, хранении или транспортировании и сопровождаться изменением исходных свойств деталей во времени. Если повреждение и отказ произошли под влиянием внешних воздействий, не превышающих уровни, установленные нормативно-технической документацией, значит их причинами послужили: несовершенство или нарушение установленных правил или норм

конструирования детали; несовершенство или нарушение установленного процесса изготовления детали; нарушение правил и (или) условий эксплуатации детали; нарушение установленного процесса восстановления детали.

Повреждение и отказ детали могут проявляться и в тех случаях, когда она используется по назначению с соблюдением правил, установленных нормативно-технической документацией. Если в первом случае причиной являются дефекты конструкции, изготовления, эксплуатации и восстановления, то во втором — естественные процессы изнашивания или старения.

Отказы деталей, вызываемые разрушением или деформацией, могут быть внезапными или постепенными. К внезапным отказам, как правило, относятся поломки, к постепенным — износ, коррозия и деформация.

Поломка — результат разрушения, заключающегося в разрыве межатомных связей в материале детали, при котором последняя разделяется на две или большее число частей с образованием поверхностей раздела, называемых *изломами*.

Поломки могут характеризоваться различным развитием процесса разрушения.

Вязкое разрушение (рис. 11) характеризуется интенсивной

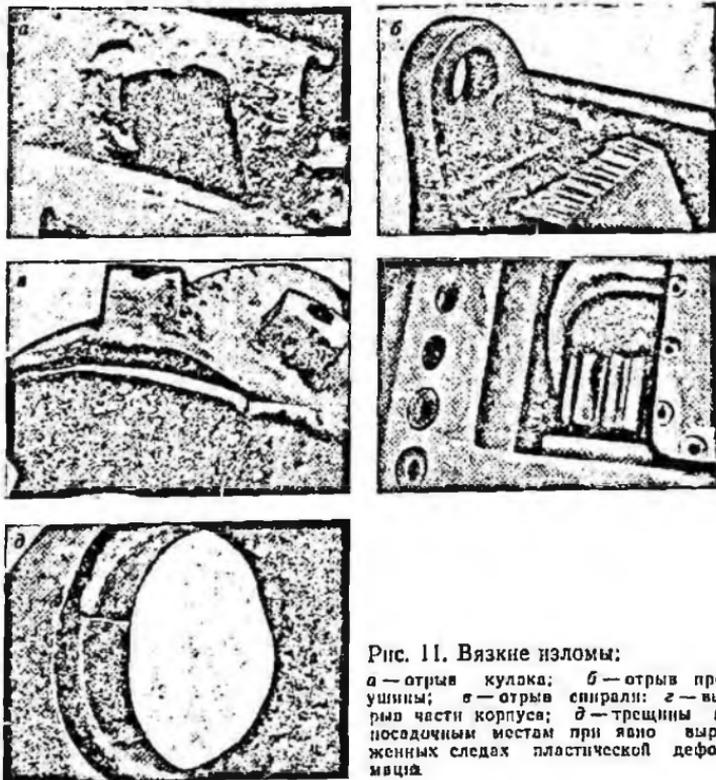


Рис. 11. Вязкие изломы:

а — отрыв кулака; б — отрыв прорезинки; в — отрыв спирали; г — вырыв части корпуса; д — трещины по посадочным местам при явном выраженных следах пластической деформации.

пластической деформацией на всех этапах разрушения (зарождения и развития трещины). Развитие разрушения происходит сравнительно с малой скоростью при напряжениях, превышающих расчетный предел текучести (рис. 11). Поэтому в ряде случаев вязкое разрушение можно заметить и предотвратить еще на ранней стадии.

Хрупкое разрушение (рис. 12) отличается от вязкого тем, что имеет минимальную степень пластической деформации.

С физической точки зрения разрушение происходит вообще без пластической деформации. Однако у реальных металлов развитие трещины всегда сопровождается некоторой пластической деформацией.

Усталостное разрушение (рис. 13) является результатом действия циклических нагрузок, причем для такого разрушения требуется значительно меньшая максимальная нагрузка, чем при статическом разрушении.

Условность приведенной классификации связана с неоднородностью строения изломов из-за неоднородности структуры и свойств материалов, изменения напряженного состояния материала в процессе распространения в нем трещины, изменения внешних условий нагружения в процессе разрушения и т. д. Поэтому на практике, классифицируя излом, обращают внимание на преимущественный характер его строения и характер строения в зоне, соответствующей начальной стадии разрушения.

Износ — это результат изнашивания, заключающегося в разрыве межатомных связей в металле детали, который сопровождается отделением материала с поверхности твердого тела и (или) в перераспределении этих связей, сопровождающемся остаточной деформацией поверхностных слоев при трении. Как правило, износ проявляется в виде изменения размеров и (или) формы тела.

Классификация видов изнашивания приведена в ГОСТ 23.002—78.

Механическое изнашивание — изнашивание в результате механических воздействий (рис. 14).

Коррозионно-механическое изнашивание (рис. 15) — изнашивание в результате механического воздействия, сопровождаемого химическим и (или) электрическим взаимодействием материала со средой.

В условиях граничной смазки изнашивание происходит в результате локальных повреждений граничной пленки смазки и возникновения мгновенных молекулярных связей между материалами трущихся тел. Возможны механическое повреждение поверхностного слоя через пленку смазки, а также локальное разрушение материала, которому подвержены подшипники скольжения, подпятники, зубчатые и червячные передачи, поршневые кольца и цилиндры.

При сухом трении механическое воздействие осуществляется микронеровностями контртела при трении скольжения. Изнашива-

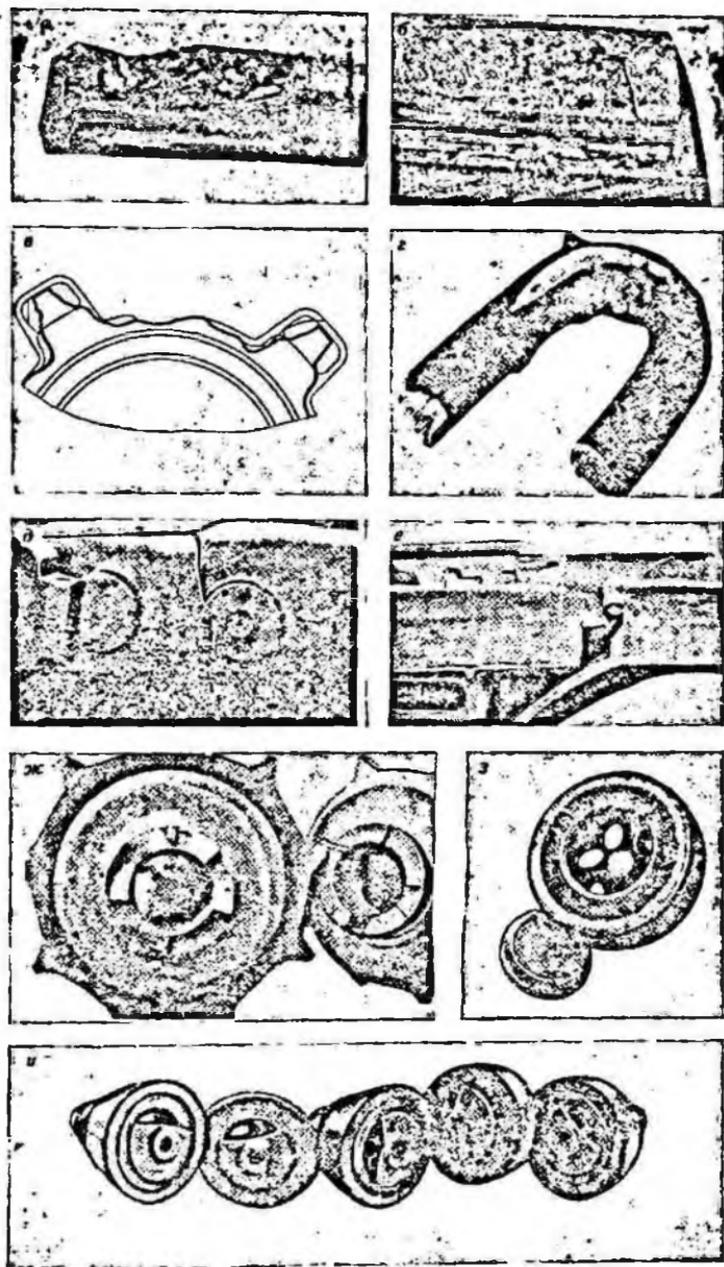


Рис. 12. Хрупкие изломы:

а — поломка зуба из-за попадания посторонних предметов; б — скол зуба; в — поломка зуба звездочки; г — поломка звена цепи; д — трещина по корпусу (без следа пластической деформации); е — отрыв утюга (без следа пластической деформации); ж — поломка кулачкового соединения (конвейер); з — отрыв тарелочки клапана (насосная станция); и — разлом тарелочки клапана

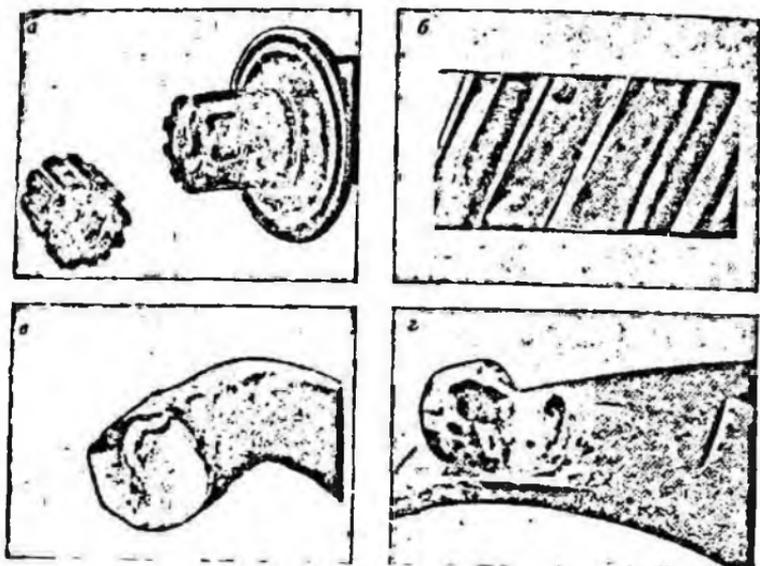


Рис. 13. Усталостный излом:

а — вала, б — зубчатого колеса; в — круглозвенной цепи; г — кулака (разрыв по телу)

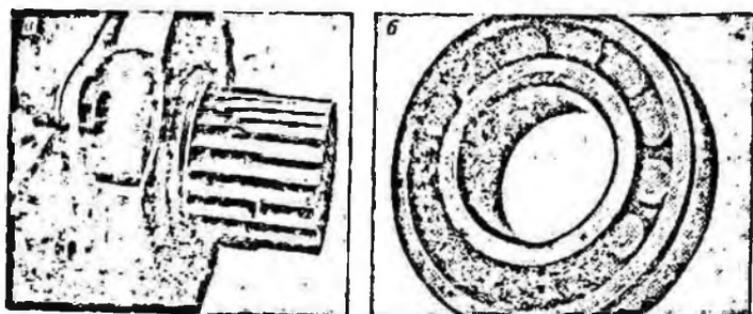


Рис. 14. Износ механический:

а — боковых поверхностей шлицев; б — увеличение размера гнезд сепаратора

ние происходит в результате механического и молекулярного взаимодействия трущихся поверхностей в условиях упрочнения и разупрочнения поверхностного слоя, в частности, при высокой температуре, генерируемой при трении (детали тормозных устройств, фрикционных муфт, подшипники скольжения).

Абразивное изнашивание (рис. 16) — механическое изнашивание материала в результате в основном режущего или царапающего действия на него твердых частиц, находящихся в свободном или закрепленном состоянии.

Абразивное изнашивание может происходить при трении о за-

Рис. 15. Коррозионно-механический износ подпятника

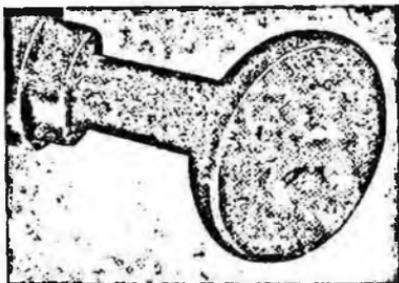
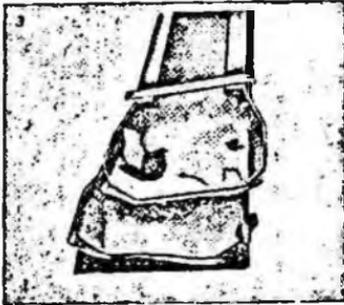
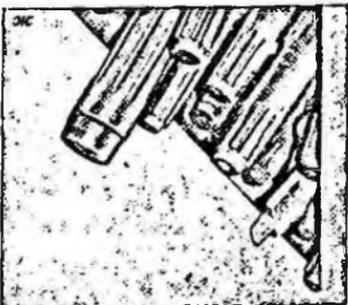
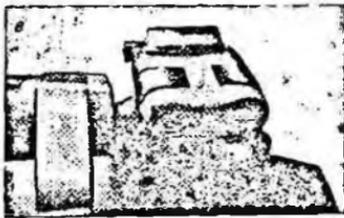
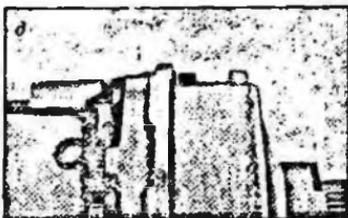
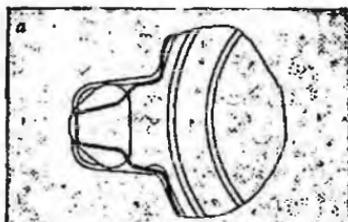


Рис. 16. Абразивный износ:

а — зуба звездочки конвейера; б — зуба колеса; в — зуба с поднутрением; г — посадочных мест корпуса редуктора; д — ручьев направления цепи бара; е — вальцовка пальца цепи; ж — резьбовых концов валов; з — решетки



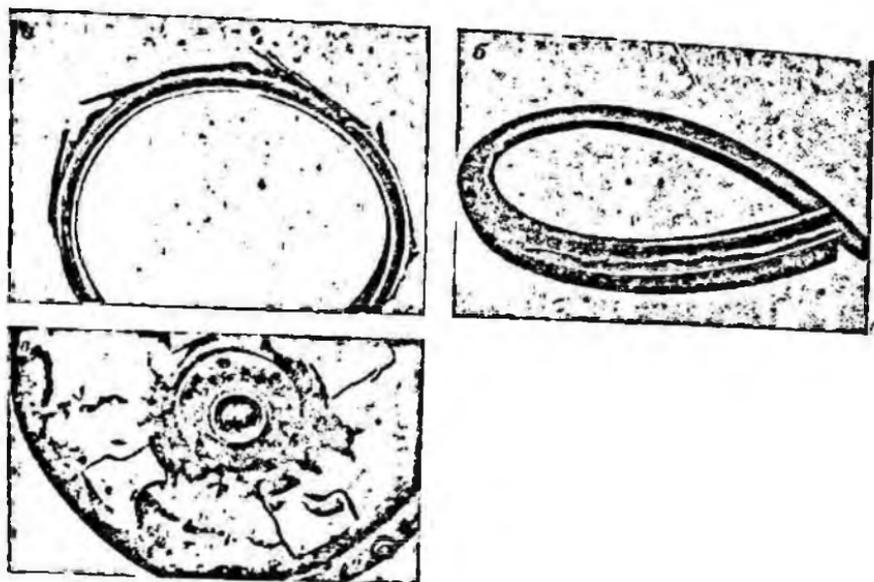


Рис. 17. Гидроабразивный износ:
 а — уплотняющей губки (уплотнение гидроцилиндров); б — расслоение уплотняющей губки; в — кулачков крышки гидромукфты

крепленный абразив или перемещении детали в абразивной среде. Такой тип изнашивания наблюдается у раштатов скребковых конвейеров, горного инструмента, зубьев звездочек, шнеков. Изнашивание при наличии абразивных частиц происходит у звеньев открытых цепных передач, у зубчатых передач и других деталей редукторов не только в случае применения открытых передач, но и при использовании загрязненной смазки.

Гидроабразивное изнашивание (рис. 17) — абразивное изнашивание в результате действия твердых частиц, взвешенных в жидкости и перемещающихся относительно изнашиваемого тела.

При гидроабразивном изнашивании механическое действие осуществляется твердыми частицами в условиях разупрочняющего действия среды. Характер разрушения и его интенсивность зависят от направления вектора скорости движущихся частиц, увлекаемых потоком жидкости. Этот вид изнашивания характерен для деталей гидрооборудования (клапанные, плунжерные пары и др.).

Усталостное изнашивание (рис. 18) — механическое изнашивание в результате усталостного разрушения при повторном деформировании микрообъемов материала поверхностного слоя.

Усталостное изнашивание развивается при наличии трения качения и небольшого проскальзывания. При этом механическое воздействие осуществляется микронеровностями контртела и характеризуется накоплением и развитием субмикрповреждений или многократным пластическим деформированием поверхностного слоя.

При изнашивании зубчатых колес наиболее распространенные

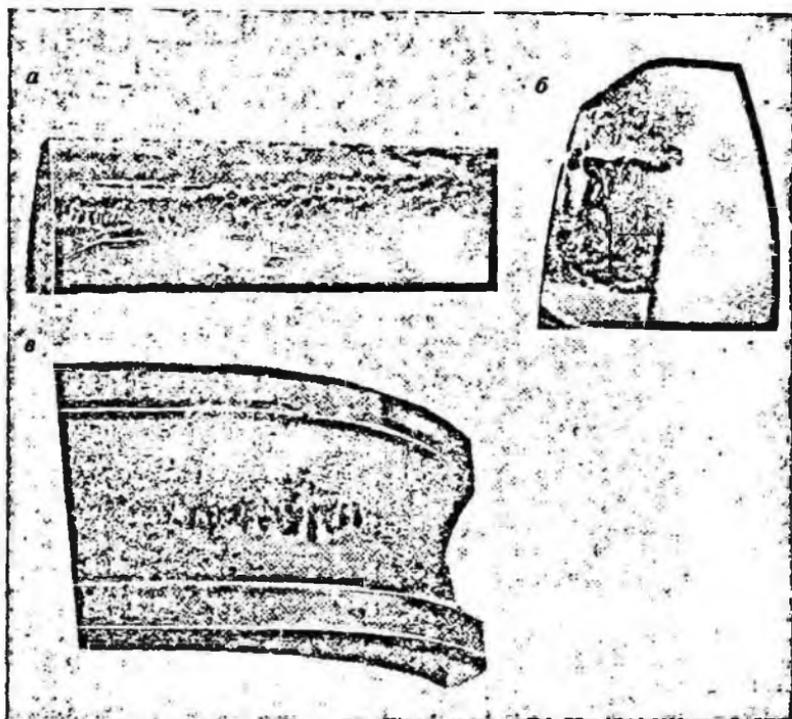


Рис. 18. Усталостный износ:

а — питтинг зубчатого колеса; б — отслоение цементованного слоя; в — выкрашивание поверхностного слоя дорожек качения колец подшипников

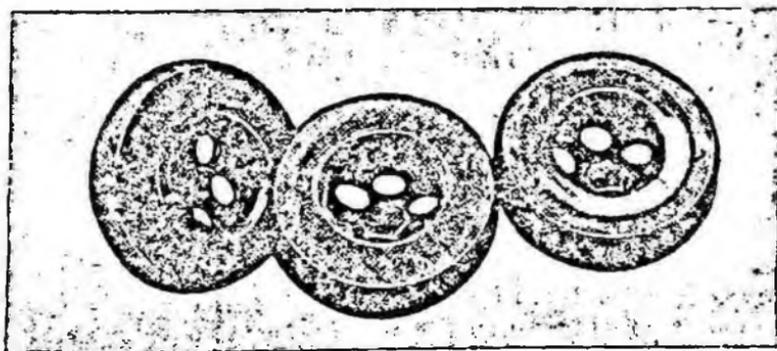


Рис. 19. Эрозионный износ седел клапанов (насосная станция)

впды износа — механический, абразивный, усталостный и износ при заедании. В практике механический и абразивный износ участков, расположенных между линией начала зацепления и ножкой зуба, обычно называют поднутрением. Усталостный износ, проявляющийся в виде выкрашивания отдельных участков металла, называют питтингом; тот же вид износа, проявляющийся в виде крупных участков и полос выкрашивания, — отслаиванием цементованного слоя, раковичным разрушением. Однако предпочтительнее пользоваться классификацией, приведенной выше по ГОСТ 23.002—78.

Изнашивание при заедании — изнашивание в результате схватывания, глубинного вырывания материала, переноса последнего с одной поверхности трения на другую и воздействия возникших неровностей на сопряженную поверхность.

Изнашивание при фреттинг-коррозии — механическое изнашивание соприкасающихся тел при малых колебательных относительных перемещениях.

При фреттинг-коррозии в результате многократного деформирования одних и тех же пятен контакта происходит химическое разупрочнение и последующее локальное разрушение поверхностного слоя. Этот вид разрушения имеет место у посадочных поверхностей корпусов, валов, втулок, стаканов, подшипников качения, шестерен, болтовых и заклепочных соединений.

Изнашивание при фреттинге — механическое изнашивание соприкасающихся тел при малых колебательных относительных перемещениях.

Эрозионное изнашивание (рис. 19) — механическое изнашивание в результате воздействия потока жидкости и (или) газа.

Кавитационное изнашивание — изнашивание при движении твердого тела относительно жидкости, при котором пузырьки газа захлопываются вблизи поверхности, что создает местное повышенное давления или температуры.

Другие виды изнашивания, такие как электроэрозионное, окислительное, не характерны для деталей горно-шахтного оборудования и в настоящей работе не рассматриваются.

Коррозия (рис. 20) — разрушение металлов вследствие химического или электрохимического взаимодействия их с коррозионной средой.

Химическая коррозия — это результат непосредственного соединения металла, например с кислородом воздуха. При этом на металле образуются пленки и дальнейшее взаимодействие со средой затрудняется.

Химическая коррозия обычно наблюдается при действии на поверхность металла сухих газов и органических жидкостей, практически не проводящих электрический ток.

Электрохимическая коррозия заключается в разрушении металлов, соприкасающихся с жидкостями, проводящими электрический ток — электролитами. В месте контакта металла с электролитом образуется скачок потенциала (электрохимический потен-

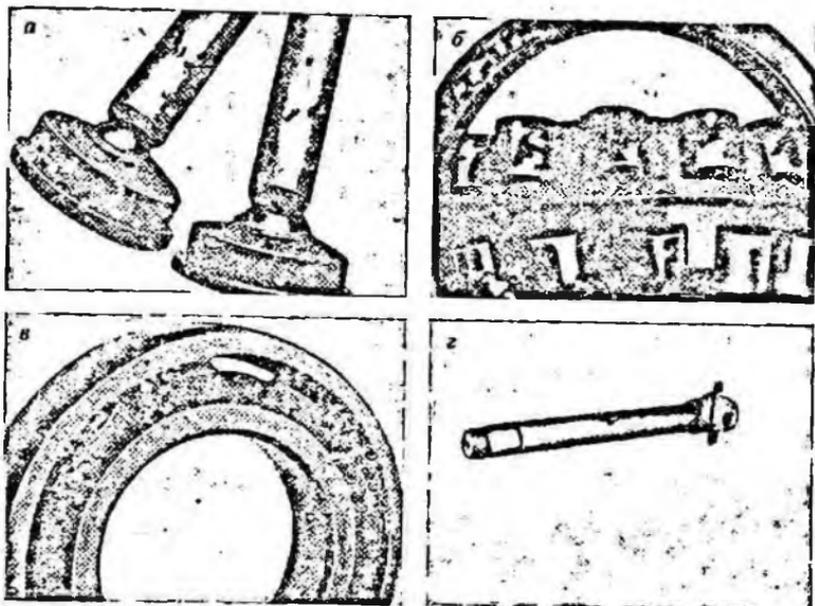


Рис. 20. Коррозия:

а — плунжера (насосная станция); б, в — подшипников; г — штока гидростойки

циал). Значение потенциала зависит от многих факторов: состава электролита, температуры, состояния поверхности металла (химический состав, шероховатость, напряженное состояние).

В соответствии с ГОСТ 5272—68 по характеру проявления и условиям протекания различают 37 видов коррозии. Из них для деталей горно-шахтного оборудования наиболее характерны: равномерная сплошная коррозия, охватывающая всю поверхность металла, протекающая с одинаковой скоростью по всей поверхности металла; неравномерная сплошная коррозия, протекающая с неодинаковой скоростью на различных участках поверхности металла; точечная — коррозия металла в виде отдельных пятен.

При оценке коррозии следует пользоваться десятибалльной шкалой коррозионной стойкости металлов (ГОСТ 13819—68). Шкала предназначена для качественной и количественной оценки коррозионной стойкости металла в определенных условиях. По этой шкале баллу 1 соответствует скорость сплошной коррозии или коррозии пятнами от 1 до 5 мм/год, а баллу 10 — до 0,00015 мм/год. Максимальную глубину и показатель интенсивности питтингов при точечной коррозии определяют по обязательно приложению к ГОСТ 13819—68.

Деформации (рис. 21) — результат действия внутренних напряжений в объеме детали, приводящих к изменению размеров и

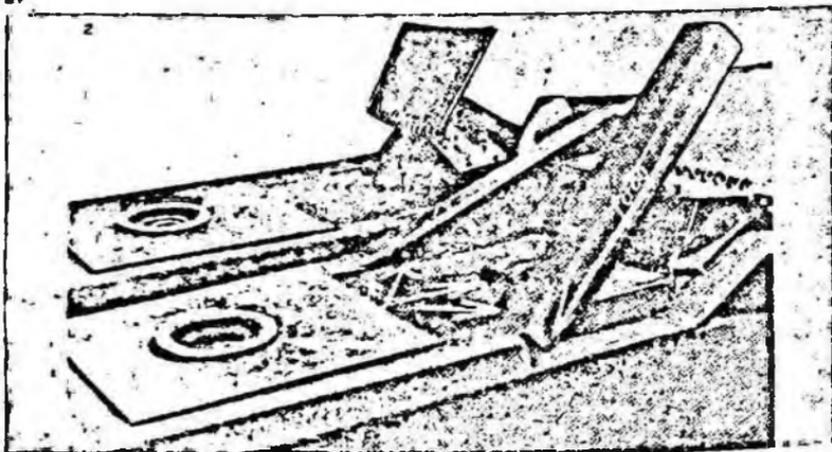
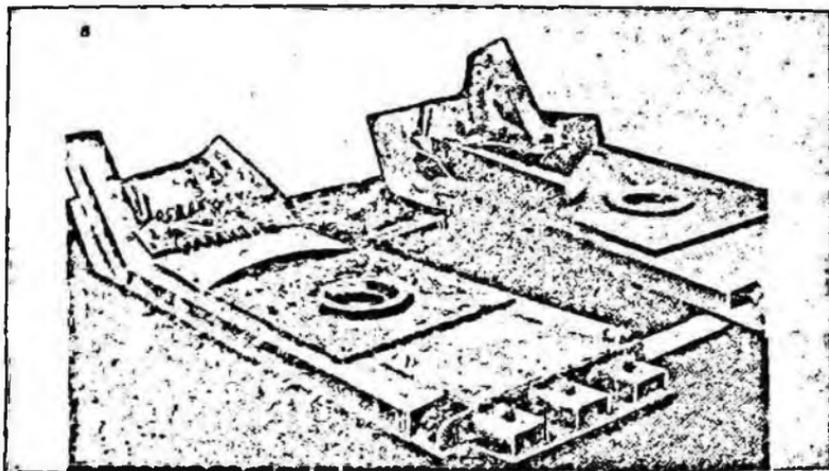


Рис. 21. Деформация:
 а — зубьев (смятие); б — штока механизированной крепи а, б — задней консоли перекрытия механизированной крепи

(или) формы детали и (или) взаимного расположения поверхностей.

Внутренними напряжениями называют те, которые возникают в изделии под действием внешних факторов (сосредоточенная сила, температура, давление и т. д.) и уравновешиваются внутренними силами (например, силами межзатомного взаимодействия).

В корпусных деталях под действием силовых нагрузок внутренние напряжения перераспределяются, в результате чего детали изменяют форму, размеры (коробятся).

Деформации характерны для деталей очистного оборудования, подвергаемых высоким статическим и динамическим нагрузкам. Так, у резов исполнительных органов комбайнов происходит изгиб державок, удлиняются основные и соединительные звенья тяговых цепей, болты соединительных звеньев.

Разновидностью деформации является также смятие. Сминаются резьбы соединений, посадочные поверхности, шпоночные соединения и др. Характерно, что в случае деформации (коробления и смятия) потеря формы и изменение размеров детали не сопровождаются потерей массы.

Перечисленные виды повреждений и отказов могут относиться в отдельности к разным деталям, но могут присутствовать одновременно на одной. В последнем случае важно установить, какой вид повреждения преваляровал во времени, какой способствовал развитию других видов.

2.3. ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИИ ДЕТАЛЕЙ

Для очистного оборудования наибольшую опасность представляют повреждения и отказы деталей, которые вызываются различными дефектами. Это объясняется тем, что высоконагруженное очистное оборудование имеет небольшой межремонтный период наработки (1—2 года до капитального ремонта). Анализ показывает, что при соблюдении правил, установленных нормативно-технической документацией на всех стадиях жизненного цикла оборудования, естественные процессы изнашивания и старения существенно не повлияют на его надежность. Поэтому для повышения надежности очистного оборудования большое значение имеют установление наличия и вида дефекта, причин его появления, а также разработка мероприятий, предупреждающих появление аналогичных дефектов в будущем.

В соответствии с ГОСТ 15467—79 дефект — это каждое отдельное несоответствие продукции требованиям, установленным нормативной документацией.

Дефекты бывают явные, скрытые, малозначительные, значительные и критические. Наличие таких дефектов рано или поздно скажется на работоспособности детали и машины в целом, приведет к разрушениям детали (машины).

Скрытые или явные дефекты детали могут иметь место в результате:

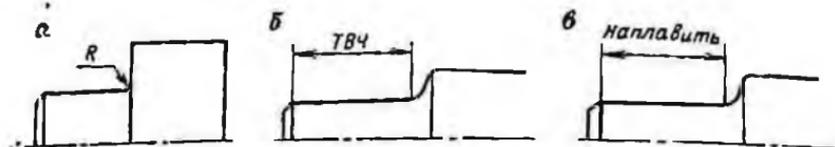


Рис. 22. Дефекты конструктивные:

а — малый радиус галтели; б — неверное установление зоны закалки; в — неверное установление зоны наплавки

несовершенства конструкции детали или сборочной единицы в целом (рис. 22);

несовершенства технологии изготовления или отклонений от технологического процесса изготовления или ремонта (рис. 23—25);

эксплуатационных нарушений (работа в режимах, превышающих уровни, установленные нормативно-технической документацией);

естественных процессов накопления усталостных повреждений, изнашивания и старения.

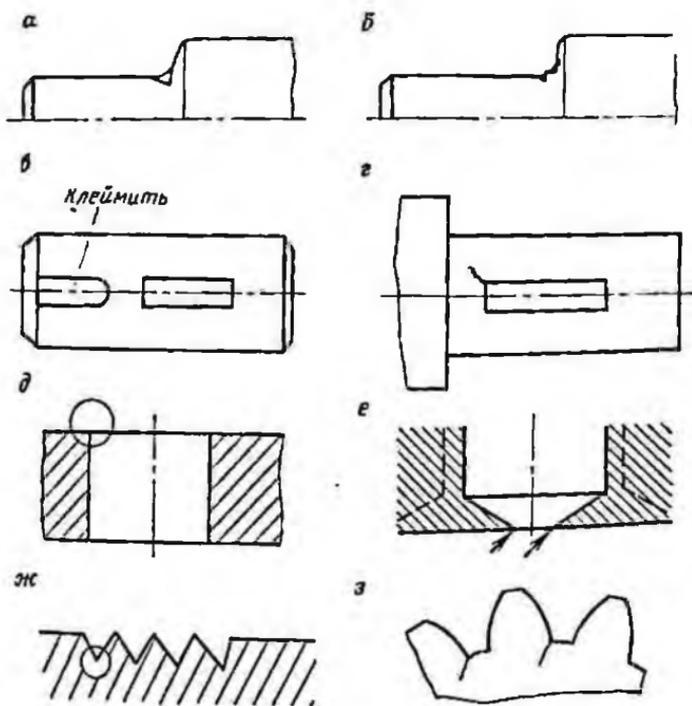


Рис. 23. Дефекты механической обработки:

а — подрез галтели; б — повышенная шероховатость галтели; в — неверное расположение зоны клеймения; г — подрез по углу шпоночного паза; д — острая кромка отверстия; е — острые внутренние края у недосверленного отверстия; ж — отсутствие радиуса закругления в основании резьбы; з — отсутствие радиуса, подрез галтели зуба

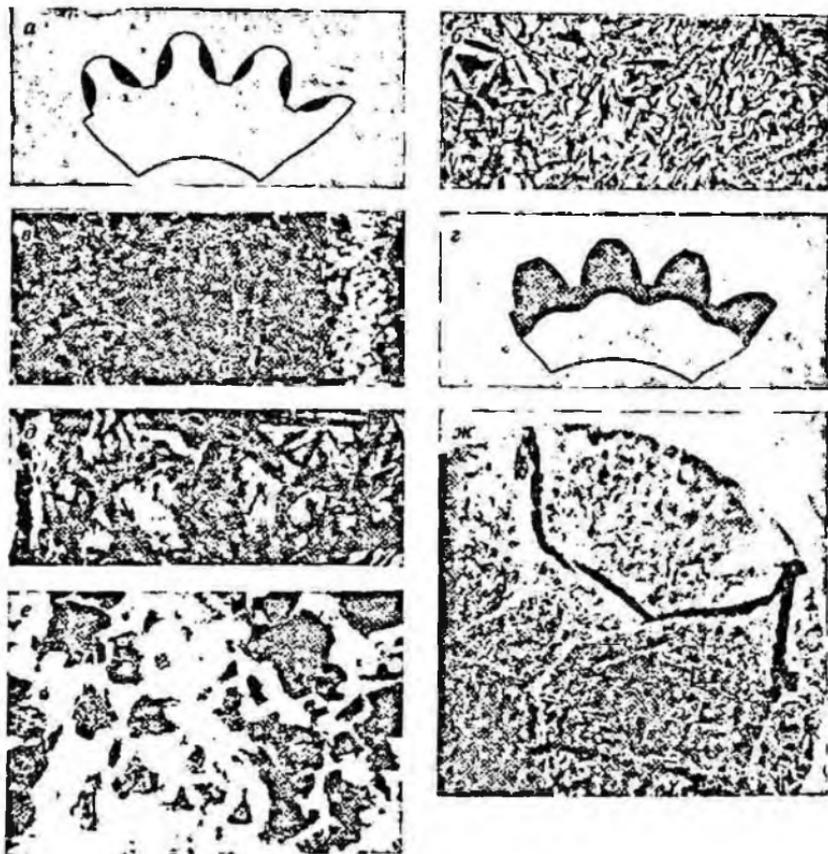


Рис. 24. Дефекты термической обработки:

а — не закалена галтель зуба; *б* — большое количество остаточного аустенита в цементованном слое; *в* — обезуглероживание *а* — сквозная закалка зуба с нагревом ТВЧ; *д* — грубогольчатый мартенсит в цементованном слое; *е* — феррит в сердцевине; *ж* — развитие трещины по сетке цемента



Рис. 25. Дефекты литья:

а — усадочные раковины; *б* — земляные раковины;

Дефекты и породившие их причины чрезвычайно разнообразны. Специалисты по-разному описывают и характер, и причину одного и того же дефекта. Для накопления информации о видах повреждений и отказах деталей, видах и причинах дефектов деталей очистного оборудования целесообразны классификация и кодирование этой информации с последующей передачей электронно-вычислительной техникой функций статистической обработки случаев повреждений деталей и вызвавших их причин. Предлагается ввести следующие коды.

Код повреждения содержит два знака: первый указывает причину повреждения (отказа); второй — характер проявления:

10 — поломка;	26 — коррозионно-механический износ;
11 — усталостный излом;	27 — гидроабразивный износ;
12 — хрупкий излом;	28 — эрозийный износ;
13 — вязкий излом;	29 — износ при фреттинге;
20 — износ;	30 — деформация;
21 — механический износ;	31 — коробление;
22 — абразивный износ;	32 — смятие.
23 — усталостный износ;	40 — коррозия.
24 — износ при заедании;	
25 — износ при фреттинг-коррозии;	

Код причины дефекта содержит четыре знака. Первый знак учитывает, на какой стадии существования детали возник дефект:

проектирование (конструирование) — 1
изготовление (технология) — 2
эксплуатация — 3.

К конструктивным отнесены такие дефекты, которые приведут к повреждению (отказу) детали даже при соблюдении всех технических условий на изготовление (восстановление), обслуживание и эксплуатацию машины.

К технологическим отнесены дефекты, возникшие при нарушении требований чертежа и технологии изготовления (восстановления) детали, а также при обработке детали по технологическому процессу, в котором заложены неправильные технические решения.

К эксплуатационным отнесены дефекты, возникающие вследствие нарушения нормальных (предусмотренных соответствующей документацией) условий эксплуатации.

Второй знак уточняет причину дефекта:
при конструировании:

1 — неправильный выбор формы, геометрии;
2 — неправильная оценка нагрузок, рабочих температур, сред;
3 — неправильный выбор материала детали;
4 — неправильный выбор упрочняющих обработок, покрытий;

при изготовлении:

1 — неправильная технология получения заготовки;
2 — неправильная термообработка;
3 — неправильная механическая обработка;
4 — неправильная наплавка, напыление, покрытие;
5 — неправильная сборка;

при эксплуатации:

1 — некачественный монтаж-наладка;
2 — неправильное использование машины по назначению;
3 — некачественное техническое обслуживание и ремонт;
4 — низкая квалификация машинистов;
5 — проявление горного давления.

Третий и четвертый знаки кода конкретизируют причину дефекта: для конструктивных причин отведены коды 01—29; для технологических причины отведены коды 30—79;

для эксплуатационных причин отведены коды 91—99.

Проектирование (конструирование)

01 — малый радиус галтели;

02 — отсутствие выкружки (галтели);

03 — неверно установлена зона закалки с нагревом ТВЧ, не прокалена галтель;

04 — неверно установлена зона наплавки, не наплавлена галтель;

05 — резкая разностенность детали;

06 — пересечение зоны галтели шпоночными пазами;

07 — резкие переходы на торцовых поверхностях в зоне отверстий под болты;

08 — канавки с острыми углами у дна;

09 — завышенная бочкообразность зуба;

10 — выбор материала детали без учета рабочей температуры, среды;

11 — выбор материала детали без учета фактических нагрузок;

12 — недостаточная герметичность;

13 — отсутствие упрочняющих обработок;

14 — отсутствие конструктивных усилений ослабленных участков детали;

15...29 — резерв

Изготовление:

30 — подрез галтели при механической обработке;

31 — повышенная шероховатость (галтели и других поверхностей);

32 — неправильный способ клеймения;

33 — подрез по углу сегментной шпонки;

34 — острые кромки отверстий;

35 — острые края у недосверленных отверстий;

36 — отсутствие радиуса закругления у шпоночных канавок и в основаниях резьб;

37 — надрывы в резьбе из-за точения тупым инструментом;

38 — подрезы у узкой выточки;

39 — прижоги при шлифовании;

40 — погрешности в размерах;

41...45 — резерв.

Пороки литья:

46 — газовые раковины (низкая газопроницаемость форм, нарушение технологии заливки формы);

47 — усадочные раковины (из-за нетехнологичной конструкции детали);

48 — шлаковые раковины (проникновение шлака в форму);

49 — земляные раковины (засорение формы);

50 — трещины в отливках (повышенное содержание серы и фосфора, резкие переходы от толстых стенок к тонким);

51...55 — резерв.

Дефекты поковок:

56 — заштамповка окалины;

57 — трещины в поковках (чрезмерное обжатие при пониженной температуре);

58 — обезуглероживание;

59...63 — резерв.

Дефекты сварки, наплавки:

64 — непровары (малая мощность горелки, недостаточный или избыточный ток, слишком быстрое перемещение электрода или горелки);

65...67 — резерв;

68 — нарушение технологии производства материала (пластмасс и др.);

69 — резерв.

Дефекты термообработки:

70 — обезуглероживание (длительный нагрев в окислительной атмосфере);

71 — трещины (неправильная скорость охлаждения);

72 — большое количество остаточного аустенита в цементованном слое и, как следствие, высокие растягивающие напряжения;

73 — обезуглероженный с поверхности цементованный слой;

- 74 — грубонольчатый мартенсит в поверхностном слое, повышающий хрупкость;
- 75 — коробление при термообработке (приводящее, в частности, к кромоочному контакту в зацеплениях);
- 76 — недопустимое количество карбидов в поверхностном слое, грубая цементитная сетка;
- 77 — отсутствие отпуска, недостаточный отпуск (слишком высокая твердость и высокие внутренние напряжения);
- 78 — отсутствие нормализации (слишком низкая твердость отливки, разнотвердость);
- 79 — низкая твердость поверхности;
- 80 — пониженная глубина упрочненного (цементованного, закаленного ТВЧ) слоя;
- 81 — повышенное содержание феррита в сердцевине, неудовлетворительная закалка;
- 82...85 — резерв.
- Дефекты сборки:
- 86 — не обеспечен требуемый натяг при сборке;
- 87 — перекосы при сборке;
- 88 — некачественная окраска;
- 89 — трещиноватость покрытий, недостаточная или завышенная толщина покрытий;
- 90 — попадание посторонних предметов при сборке.
- Эксплуатация:
- 91 — действие нагрузок, превышающих допустимые;
- 92 — эксплуатация оборудования с перекошенными, погнутыми элементами (детальями);
- 93 — загрязненная смазка;
- 94 — загрязненная или обедненная эмульсия или другая рабочая жидкость;
- 95 — работа в условиях (температура, среда), не предусмотренных для данного оборудования;
- 96 — попадание посторонних предметов при обслуживании;
- 97...99 — резерв.

Возможные проявления повреждений и отказов деталей горношахтного оборудования и причины их разрушения приведены в табл. 21.

Эксплуатационные причины повреждений и отказов деталей, приведенных в табл. 21, достаточно полно описаны в литературе [19, 23, 24, 25], поэтому остановимся на некоторых конструктивных и технологических причинах.

Повышение надежности деталей горных машин приобретает все большее значение в связи с увеличением нагрузок на машину в целом. Повышение конструктивной прочности деталей за счет увеличения толщины стенок, модулей, а, следовательно, габаритов деталей не решало задачи, тем более, что при этом повышаются материалоемкость и стоимость машин. Увеличение статической прочности деталей далеко не всегда равнозначно повышению их долговечности, так как с ростом предела прочности увеличивается вероятность хрупкого и усталостного разрушения.

Применение высокопрочных сталей ограничивается их чрезвычайно высокой чувствительностью к концентрации напряжений и, если не принять ряда специальных мер, снижающих концентрацию напряжений, применение высокопрочных сталей для деталей,

работающих в условиях переменных и динамических нагрузок, окажется малоэффективным.

Влияние конструктивных и технологических концентраторов напряжений хорошо видно на примере зубчатых колес. В 1963—1968 гг. в МГИ на фотоупругих оптических моделях были проведены исследования влияния радиуса галтели зуба и величины надреза галтели на коэффициент концентрации напряжений. Исследования проводились на моделях прямозубых зубчатых колес: $m=14$ мм; $z_1=12$; $z_2=18$ и $m=4,25$ мм; $z_1=13$; $z_2=45$.

Зубчатые колеса с $m=4,25$ мм были коррегированные ($\xi = \pm 0,52$). По сравнению с натурами модели имели большие геометрические размеры для зубчатых колес с $m=14$ мм в 1,6 раза; для зубчатых колес с $m=4,25$ в 4 раза. В зубчатых колесах с $m=14$ мм радиус галтели зубьев равнялся 7 мм и 4,2 мм; в зубчатых колесах с $m=4,25$ мм радиус галтели зубьев изменялся от 2,5 до 1,5 мм. На рис. 26 видны изохромы (темные линии) в моделях прямозубых зубчатых колес ($m=4,25$ мм). Из рис. 26 и результатов обработки экспериментальных данных (табл. 22) видно, что при одной и той же нагрузке коэффициент концентрации напряжений возрастает с уменьшением радиуса галтели: у зубчатых колес с $m=14$ мм с $k=(1,33-1,9)$ при $\rho=7,0$ мм до $k=(1,97 \div 2,47)$ при $\rho=4,2$ мм, т. е. в $1,3 \div 1,4$ раза; у зубчатых колес с $m=4,25$ мм с $k=(1,42 \div 1,88)$ при $\rho=2,5$ мм до $k=(2,12 \div 2,7)$ при $\rho=1,5$ мм, т. е. в 1,45 раза.

Кроме того, сам зуб работает в более сложных условиях — возросло число темных полос на зубе, что свидетельствует о росте напряжений по всему зубу.

На рис. 27 приведены фотографии моделей зубчатых колес. На колеса нанесены односторонние и двусторонние надрезы (a , b), имитирующие технологические концентраторы напряжений. Причем радиус галтели в данных колесах принимался равным 2,5 мм во избежание поломки модели (на модели радиус равнялся 10 мм). При односторонней имитации надреза коэффициент концентрации возрастал в 1,5—2 раза в зависимости от точки приложения нагрузки.

На рис. 27, a видно, что у вершины трещины наблюдается концентрация напряжений (темные полосы). При дальнейшем развитии трещины (рис. 27, b) концентрация напряжений у ее вершины возрастает и появляются темные полосы, идущие от места контакта двух зубьев к вершине трещины (см. рис. 26 при $\rho=2,5$ мм и рис. 27, b). Это говорит о том, что с развитием трещины резко усложняются условия работы зуба.

Особенно недопустимы технологические надрезы на обеих галтелях зуба (рис. 27, c). В этом случае вершины технологических концентраторов напряжений (светлые полосы) соединяются полями напряжений между собой, ускоряя развитие дефекта. Хотя на рис. 26 и 27 приведены модели зубчатых колес, подобное положение может наблюдаться и в других деталях очистного оборудования.

Таблица 21

Причины разрушения и деформаций деталей горно-шахтного оборудования

Причина повреждения и отказов (код)	Характер проявления (код)	Вид ГШО, наименование деталей, в которых встречается повреждение или отказ	Краткая характеристика, рис.	Возможные причины разрушения и деформации	Код причины разрушения (деформации)
Поломка (10)	Усталостный излом (11)	Валы редукторов комбайнов, конвейеров, погрузочных машин и др., в том числе шлицевые со шлицами, закаленными с нагревом ТВЧ, восстановленные с наплавленными шейками	Поломка гладкого вала в зоне галтели, поломка шлицевых валов (см. рис. 13, а)	Конструктивные:	1000
				малый радиус галтели (см. рис. 22, а)	1101
				отсутствие выкружки; неправильная форма выкружки	1102
				неверно установлена зона закалки с нагревом ТВЧ	1103
				не прокалена галтель (см. рис. 22, б)	1104
				неверно установлена зона наплавки, не наплавлена галтель (см. рис. 22, в)	1105
				резкая разностенность или разница масс соседних участков деталей	1106
				пересечение зоны галтели шпоночными пазами	1107
				резкие переходы на торцевых поверхностях в зоне отверстий под болты	1108
				канавки с острыми углами у дна	2000
				Технологические (при изготовлении и восстановлении) дефекты механической обработки:	2300
				подрез галтели при механической обработке (рис. 23, а)	2330
				повышенная шероховатость поверхности галтели (см. рис. 23, б)	2331
			неправильный выбор места клеймения, неправильный способ клеймения, глубоко выбитые клейма (клеймо — концентратор напряжений, см. рис. 23, в)	2332	
			подрез по углу сегментной шпонки — концентратор напряжений (см. рис. 23, г)	2333	
			острые кромки отверстий, особенно при наличии у них заусенцев (см. рис. 23, д)	2334	
			острые внутренние края у недо сверленных отверстий (требуется раззенковка, как показано пунктиром, см. рис. 23, е)	2335	
			отсутствие радиуса закругления у шпоночных канавок и в основаниях резьб	2336	
			поперечные надрывы на нитках резьбы, как следствие точения тупым резцом (см. рис. 23, ж)	2337	
			подрезы у узкой выточки	2338	
			прижоги при шлифовании, как следствие, остаточные растягивающие напряжения в поверхностном слое и шлифовочные трещины	2339	
			Пороки литья для литых валов:	2100	
			газовые раковины (основные причины появления — низкая газопроницаемость форм или стержней, нарушение технологии заливки формы)	2146	
			Дефекты поковок:	2100	
			заштамповка окислами на глубину, превышающую припуск на механическую обработку	2156	

Причины повреждения и отклонения (код)	Характер проявления (код)	Вид ГШО, наименование деталей, в которых встречается повреждение или отклонение	Краткая характеристика, рис.	Возможные причины разрушения и деформации	Код причин разрушения (деформации)
				трещины внутри поковок и на поверхности (результат чрезмерного обжаривания заготовки при пониженной температуре)	2157
				обезуглероживание на большую глубину	2158
				Дефекты сварки (наплавки):	2100
				испавары (применение недостаточного или избыточного тока, малой мощности газовой горелки, слишком быстрое перемещение электрода или газовой горелки)	2164
				Дефекты термической обработки:	2200
				обезуглероживание (длительный нагрев в печах с окислительной атмосферой)	2270
				трещины (неправильная скорость охлаждения, особенно для высокопрочных материалов)	2271
				трещиноватость гальванического покрытия или наплавки	2489
		Зубчатые колеса редукторов комбайнов и забойных конвейеров	Поломка по ступице и поломка зуба (рис. 13, б)	Завышенная бочкообразность зуба: подрез галтели при механической обработке (рис. 23, з)	1109
				неверно выбрана зона закалки с нагревом ТВЧ (не закалена галтель, рис. 24, а)	2330
				наличие в зоне впадины зуба остаточных растягивающих напряжений, возникающих при термической или химико-термической обработке в случае, если имеется:	1403
					2272
				большое количество остаточного аустенита в цементованном слое (завышенная температура закалки и другие отклонения от режима термообработки легированных сталей) — см. рис. 24, б	2273
				обезуглероживание с поверхности цементованный слой (нагрев цементованных деталей в печах без применения защитных атмосфер) — см. рис. 24, в	2340
		Круглозвенные цепи	Рис. 13, в	Концентрация нагрузки у края зуба из-за неточного изготовления зубчатых колес, корпусов; из-за недостаточной жесткости конструкции	1114
		Литые корпуса редукторов забойных конвейеров	Рис. 13, г	Технологические:	2130
				грубая обрезка грата (подрезы)	2170
				обезуглероживание	2147
				усадочные раковины (одна из основных причин появления — нетехнологическая конструкция литой детали) (см. рис. 25, а)	2148
				шлаковые раковины (причина — проникновение шлака в форму при ее заливке)	2149
				земляные раковины (причина — частичное разрушение формы, засорение формы) (см. рис. 25, б)	2150
				трещины (основные причины — отсутствие плавных переходов от толстых стенок к тонким, повышенное содержание серы и фосфора в металле)	1310
Хрупкий излом (12)		Зубчатые и червячные передачи, закаленные шлицы	Поломка из-за попадания посторонних предметов (см. рис. 12, а)	Хрупкий излом из-за низкой хладостойкости (повышенное содержание фосфора в стали, наличие крупных неметаллических включений и др.)	

Причина повреждений и отколов (код)	Характер повреждения (код)	Вид ГЩО, наименование деталей, в которых встречается повреждение или откол	Краткая характеристика рис.	Возможные причины разрушения и деформации	Код причины разрушения (деформации)
			Скол зуба (см. рис. 12, б)	<p>Эксплуатационные:</p> <ul style="list-style-type: none"> попадание посторонних предметов действие нагрузок, превышающих допустимые (пиковые значения статических и динамических нагрузок) <p>Технологические:</p> <ul style="list-style-type: none"> сквозная закалка зуба при нагреве ТВЧ (см. рис. 24, г) грубонольчатый мартенсит в поверхностном слое, повышающий хрупкость (перегрев при закалке), см. рис. 24, д коробление при термообработке, приводящее к кромоочному контакту недопустимое количество карбидов в вершине зуба (завышена температура или расход карбюризатора при химико-термической обработке) погрешности при сборке, приводящие к кромоочному контакту, неравномерному износу 	3000 3190 3291
		Валики цепей, предохранительные муфты	См. рис. 12, в	<p>Эксплуатационные:</p> <ul style="list-style-type: none"> эксплуатация конвейера с погнутыми скребками, перекос скребков цепи, заклинивание скребковой цепи, попадание под цепь на звездочки кусков породы 	3192
		Звездочки головных и концевых приводов скребковых конвейеров, круглозвенные цепи конвейеров, стругов	См. рис. 12, г	<p>Технологические:</p> <ul style="list-style-type: none"> дефект сварного шва 	2282 2274 2276 2276 2287 2164
		Корпуса редукторов	Трещина по корпусу, обрыв уголка без следов пластической деформации (см. рис. 12, д, е)	<p>непровары (применение недостаточного или избыточного тока, малой мощности газовой горелки, слишком быстрое перемещение электрода или газовой горелки)</p> <p>Технологические:</p> <ul style="list-style-type: none"> отсутствие или некачественный отжиг (нормализация) отливки наличие дефектов литья трещины в отливке (основные причины — отсутствие плавных переходов от толстых стенок к тонким, повышенное содержание серы и фосфора в металле) 	2271 2248 2249 2250
		Кулачковые соединения конвейеров	См. рис. 12, ж	<p>Технологические:</p> <ul style="list-style-type: none"> некачественная механическая обработка некачественная термическая обработка 	2330 2277
		Тарелочки и хвостовики клапанов плунжерных насосов, стопорные кольца	См. рис. 12, з, и	<p>Эксплуатационные:</p> <ul style="list-style-type: none"> действие нагрузок, превышающих допустимые <p>Технологические,</p> <ul style="list-style-type: none"> отсутствие отпуска после закалки (слишком высокая твердость и высокие внутренние напряжения) 	3291 2000 2577
		Державки резцов		<p>Эксплуатационная:</p> <ul style="list-style-type: none"> действие нагрузок, превышающих допустимые 	3291
	Вязкий излом (13)	Отрыв кулаков шнеков	См. рис. 11, а,	<p>Технологическая:</p> <ul style="list-style-type: none"> некачественная термообработка (плохая нормализация) 	2000 2578
		Отрыв проушин	См. рис. 11, б	<p>Конструктивная:</p> <ul style="list-style-type: none"> неправильный выбор материала корпуса 	1000 1311
		Отрыв спирали	См. рис. 11, в	<p>Эксплуатационная:</p> <ul style="list-style-type: none"> нагрузки значительно превышают расчетные 	3000 3291
		Вырыв части корпуса	См. рис. 11, г		
		Трещины в корпусах	См. рис. 11, д (явно выражены следы пластической деформации)		

Причина повреждения и отказов (код)	Характер проявления (код)	Вид ГШО, наименование деталей, в которых встречается повреждение или отказ	Краткая характеристика, рис.	Возможные причины разрушения и деформации	Код причины разрушения (деформации)	
Износ (20)	Механический износ (21)	Разрыв по сварке задней консоли перекрытия механизированной крепи	См. рис. 21, а	Технологическая: некачественная сварка	2464	
		Круглозвенные цепи		Эксплуатационная: нагрузки превышают расчетные	3291	
		Зубчатые колеса, червячные передачи		Технологическая: низкая твердость после закалки	2279	
		Боковые поверхности шлицев	См. рис. 14, а	Технологические: коробление при термообработке низкая твердость поверхности наличие обезуглероженного слоя	2000 2275 2276 2270 2587	
		Подшипники (износ беговых дорожек, сепараторов, колец)	См. рис. 14, б	Неправильная сборка и, как следствие, неравномерное давление на шлицы по длине вала	2587	
		Посадочные места валов, стаканов, корпусов редукторов под подшипники качения		Эксплуатационная: загрязненная смазка	3000 3393	
		Гильзы и золотники блоков управления		Технологическая: неправильная сборка (не обеспечен требуемый натяг)	2000 2586	
Цилиндры и поршни насосов и гидродвигателей			Технологические: коробление при термообработке низкая твердость поверхности наличие обезуглероженного слоя неправильная сборка повышенная шероховатость	2000 2275 2279 2270 2587 2331		
			Технологическая: неправильная сборка	2000		
			Эксплуатационная: загрязненная или обедненная рабочая жидкость	3000 3394		
			Технологические: дефекты покрытий — трещины (высокие внутренние напряжения из-за высокой катодной плотности	2439		
	Абразивный износ (22)	Зубья звездочек	См. рис. 16, а	тока и низкого содержания хрома в электролите при хромировании и др.)	2000	
		Рабочие поверхности зубчатых и червячных передач, шлицы	См. рис. 16, б, в	Технологические: низкая твердость (неудовлетворительная закалка с нагревом ТВЧ)	2279	
		Наружные поверхности корпусов комбайнов и основной крепи, перекрытия крепей, шнеки, бары, погрузочные щиты комбайнов, рабочие поверхности направляющих тяговых цепей, канатных барабанов, ролики, утюги, режущие и погрузочные цепи, решетки конвейеров	См. рис. 16, г См. рис. 16, д См. рис. 16, е См. рис. 16, ж См. рис. 16, з См. рис. 16, и	наличие обезуглероженного слоя	2270	
				Конструктивные: недостаточная герметичность узла	1000 1112	
				Эксплуатационные: попадание абразивного материала в смазку, загрязненное масло	3000 3393	
	Усталостный износ (23)	Зубчатые колеса, валы шестерни			Конструктивные: применение материалов с низкой износостойкостью	1000 1311 1413
					отсутствие местных упрочнений, например износостойких наплавов	
					Технологические: пониженная глубина цементованного слоя	2000 2280
					пониженная твердость поверхностного слоя	2279
					грубая цементитная сетка в структуре цементованного слоя (см. рис. 24, ж)	2276
			перекос валов сопряженных колес при сборке, в результате чего контактные напряжения превышают расчетные	2587		
			погрешности в профилях зубьев	2140		

Причина повреждения и отказа (код)	Характер проявления (код)	Вид ГШО, наименование деталей, в которых встречается повреждение или отказ	Краткая характеристика, рис.	Возможные причины разрушения и деформации	Код причины разрушения (деформации)
	Износ при заедании (24)	Подшипники (выкрашивание поверхностного слоя дорожек качения)	рис. 18, в	Конструктивная: применение подшипников без точного учета действующих нагрузок	1000 1211
		Зубчатые колеса		Технологические: некачественная термообработка (перегрев, пониженная скорость охлаждения)	2000 2279
	Поднутрение*			Технологические: остаточный аустенит в цементованном слое, обезуглероженный слой из-за нарушений режима химико-термической обработки	2000 2273
		Износ при фреттинг-коррозии	Посадочные места на валах под подшипники, подступичные части валов, болтовые и штифтовые соединения		погрешности при сборке, вызвавшие концентрацию нагрузки у края зуба коробление при термообработке и, как следствие, концентрация нагрузки у края зуба	2587 2275
			Эксплуатационные: несоответствие смазки техническим условиям	3393	
			Конструктивная: неправильный выбор материала зубчатых колес и упрочняющей обработки	1311	
			Эксплуатационная: неправильный выбор смазки	3393	
			Конструктивная: не предусмотрено снижение напряжений в посадочных местах	1000 1214	
			Технологическая: недопустимый натяг при сборке	2586	
	Коррозионно-механический износ (26)	Штоки механизированных крепей		Эксплуатационная: действие агрессивной (кислотной и щелочной) среды	3000 3295
		Наружные поверхности штоков гидроцилиндров		Конструктивная: незащищенность от коррозии участков деталей, соприкасающихся с агрессивными средами	1000 1410
	Резьбовые концы валов, штоков		Технологические: некачественное хромирование некачественная обработка перед хромированием	2489 2189	
	Гидроабразивный износ (27)	Детали тормозных устройств, подшипники скольжения, подпятники	рис. 15	Эксплуатационные: действие агрессивной (кислотной и щелочной) шахтной воды, сернистого газа, угольных и породных частиц и др. неизбежно приведет к коррозионно-механическому износу этих поверхностей, однако ряд факторов может ускорить и усугубить это явление	3000
Детали гидравлической системы, уплотнения		рис. 17, а, б	Конструктивные: незащищенность от коррозии участков деталей, соприкасающихся с агрессивными средами	1112	
		Клаланные, плунжерные пары	Эксплуатационная: низкое качество смазки	3393	
			Технологические: неоднородность материала уплотнений, наличие зернистых включений, выпадающих при работе	2000 2168	
			Технологическая: погрешности сборки	2597	
			Эксплуатационная: работа в условиях, не предусмотренных для данного оборудования	3295	

* Поднутрение — особый вид износа, характерный для зубчатых колес горных машин, имеющий вид канавки вдоль зуба в зоне контакта; развивается на зубьях, поврежденных заеданием.

Продолжение табл. 21

Причина повреждения и отката (код)	Характер повреждения (код)	Вид ГИО, наименование деталей, в которых встречается повреждение или откат	Краткий характеристич. рис.	Основные причины разрушения и деформации	Код причины повреждения (деформации)
Деформация (30)	Эрозионный износ (28)	Лопатки турбинного колеса и кулачки крышек гидромфт конвейеров	См. рис. 17, в	Эксплуатационные: попадание посторонних предметов плохое качество эмульсии	3000 3396 3394
		Трубопроводы, рабочие поверхности седел и клапанов, гильз и золотников блоков управления цилиндров, стоек и гидродомкратов, поршней насосов и гидродвигателей	См. рис. 19	Эксплуатационная: обедненная и загрязненная рабочая жидкость	3000 3394
	Коробление (31)	Валы, зубчатые колеса, оси, штоки, диски фрикционных, рамы, став конвейера, рештаки, штоки и плунжеры домкратов и стоек, валы и оси трансмиссий, перекрытия крепей, консольные части корпусов комбайнов, державки, болты соединительных звеньев	См. рис. 21, б, в, г	Технологические: термические или тепловые напряжения структурные напряжения технологические напряжения, возникающие в результате неправильного нагрева и охлаждения деталей при термообработке повышенная пластичность материала из-за дефектов термообработки	2000 2275
		Подшипники (увеличение размеров гнезд сепараторов)		Эксплуатационные: внецентренное действие нагрузок и крутящих моментов, превышающих допустимые	3000 3291
				Конструктивная: выбор подшипников без точного учета действующих нагрузок	1000 1211
Коррозия (40)	Смятие (32)	Зубчатые колеса, валы-шестерни	См. рис. 21, а	Технологические: некачественная термообработка сепараторов (пониженная твердость) неправильная сборка	2000 2279 2587
				Эксплуатационная: нагрузки превышают расчетные допустимые	3000 3291
		Рабочие поверхности гильз клапанов, шлицевых и шпоночных соединений	См. рис. 21, в	Технологические: повышенное содержание феррита в сердцевине зуба (рис. 24, е) — неудовлетворительная закалка наличие тростяной сетки в мартенсите поверхностного слоя (обезуглероживание или внутреннее окисление легирующих элементов)	2000 2281 2270
		Консоли перекрытий механизированных крепей		Эксплуатационная: нагрузки выше расчетных	3000 3291
		Детали насосных станций, подшипники, штоки цилиндров гидростоек и гидродомкратов механизированных крепей		См. рис. 20	Технологическая: некачественная окраска или защитное покрытие	2000 2483 2489
Зубчатые колеса		Эксплуатационная: работа в непредусмотренных условиях	3000 3295		
			Технологическая: некачественное покрытие	3000 2489	
			Эксплуатационная: попадание воды в смазку	3000 3393	



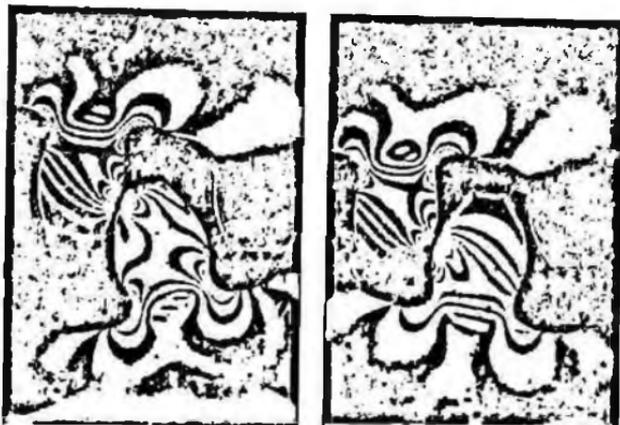
Рис. 26. Изохромы в моделях прямоугольных зубчатых галтели зуба (по данным В. И. Морозова)

В настоящее время накоплен большой опыт применения различных упрочняющих обработок, повышающих долговечность деталей и позволяющих применять высокопрочные стали для деталей с конструктивными и технологическими концентраторами на-

Таблица 22

Опытные значения коэффициента концентрации напряжений в галтели зубчатых колес в зависимости от ее радиуса

Точка приложения нагрузки	$r=14$ мм				$r=4,25$ мм								
	$z=12$		$z=18$		$z=13$				$z=45$				
	7 мм	4,2 мм	6,2 мм	4,2 мм	2,4 мм	2 мм	1,7 мм	1,5 мм	2,5 мм	2 мм	1,7 мм	1,5 мм	
<i>Распянутая сторона</i>													
Вершина	1	1,33	1,97	1,59	2,21	1,42	1,75	1,93	2,12	1,52	1,86	2,05	2,35
	2	1,55	2,11	1,81	2,49	1,52	1,77	2,0	2,23	1,6	1,87	2,1	2,42
	3	1,79	2,29	1,94	2,66	1,59	1,80	2,17	2,29	1,66	2,02	2,14	2,5
	4	1,9	2,47	2,1	2,74	1,71	2,04	2,3	2,46	1,88	2,2	2,97	2,7
<i>Сжатая сторона</i>													
Вершина	1	1,39	2,01	1,62	2,36	1,46	1,85	2,0	2,15	1,57	1,9	2,15	2,44
	2	1,59	2,13	1,81	2,42	1,48	1,92	2,04	2,25	1,60	2,0	2,19	2,50
	3	1,74	2,27	1,9	2,66	1,62	1,96	2,11	2,27	1,68	2,04	2,22	2,55
	4	1,88	2,52	2,52	2,72	1,65	1,99	2,23	2,37	1,77	2,12	2,25	2,62



колес ($m=4,25$; $z_1=13$; $z_2=45$) при разных радиусах

пряжений даже при значительных перегрузках. Еще очень большое количество деталей проектируется и изготавливается с различными концентраторами напряжений. У валов и валов-шестерен это обычно малый радиус галтели, отсутствие либо неправильная форма выкружки, неверно установленная зона закалки с нагревом ТВЧ или зона наплавки, подрез галтели при механической обработке, отсутствие радиуса закругления у шпоночных канавок и в основаниях резьб, острые внутренние края у недосверленных отверстий, прижоги при шлифовании и др. Если наличие концентратора напряжения неизбежно, то следует предусмотреть упрочняющую обработку, снижающую его вредное влияние. Например, шпоночные канавки являются существенным очагом концентрации напряжений. Часто поломка вала начинается с трещины вблизи шпоночных канавок. Имеются данные, показывающие, что шпоночная канавка снижает предел усталости термически обработанной хромоникелевой стали до 65 %, а среднеуглеродистой нормализованной стали — до 75 %. Обкатывание роликами вала из нормализованной стали или наклеп дробью вала из закаленной стали не только предотвращает снижение усталостной прочности, но и повышает ее. Однако такая упрочняющая обработка не проводится, пока не будут внесены в чертежи соответствующие указания, обязательные для технологов.

Поломки зубчатых колес забойных машин происходят из-за подрезов в галтели зуба, дефектов термической обработки, попадания посторонних предметов в редуктор, перекосов валов, приводящих к кромочному контакту в зацеплении. Развитию усталостного разрушения способствует заедание, одной из причин которого является некачественная химико-термическая обработка (наличие обезуглероженного поверхностного слоя).

Тщательная механическая обработка галтелей зуба, снижение

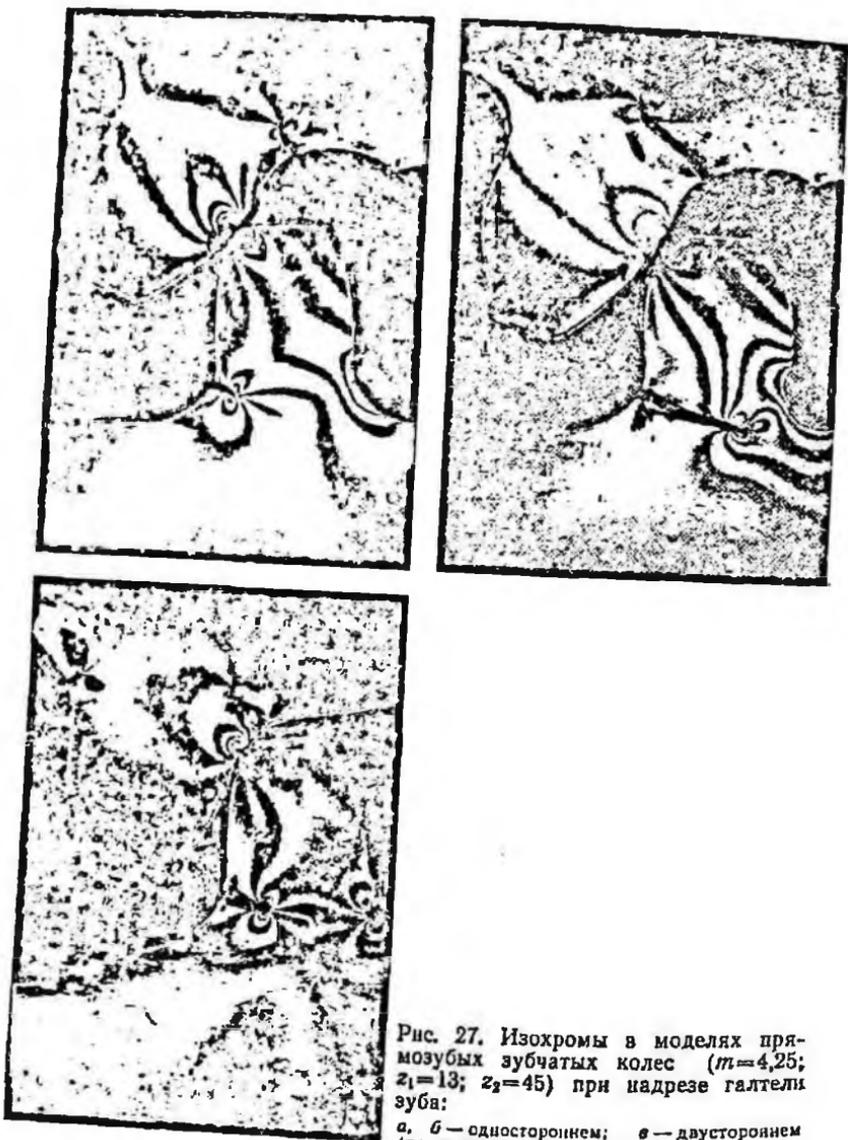


Рис. 27. Изохромы в моделях прямозубых зубчатых колес ($m=4,25$; $z_1=13$; $z_2=45$) при надрезе галтели зуба:

а, б — одностороннем; в — двустороннем
(по данным В. И. Морозова)

коробления при термической обработке и внедрение автоматического регулирования процессов химико-термической обработки, соблюдение технологического процесса сборки редукторов, а также внедрение упрочняющих обработок зубчатых колес (наклеп дробью и чеканка галтелей) обеспечат повышение их долговечности.

Большое количество зубчатых колес выходит из строя из-за износа. Причиной последнего может быть как дефект термической обработки (низкая твердость поверхностного слоя, обезуглероженный поверхностный слой), так и работа в условиях загрязненной смазки.

Контактные разрушения в зубчатых колесах проявляются в виде выкрашивания или отслаивания. Основными причинами этого вида разрушений являются: повышенная концентрация нагрузки по длине и профилю зубьев, внешние перегрузки, искажение профиля боковых поверхностей зубьев в процессе эксплуатации (например, из-за интенсивного износа), а также попадание посторонних твердых частиц в зацепление зубьев.

При перекосе по длине зубьев концентрация нагрузки по их длине тем выше, чем больше угол взаимного перекоса валов сопряженных колес, меньше жесткость валов и больше ширина зуба. Контактные разрушения в этом случае располагаются на участках концентрации нагрузки, обычно у одного из краев зуба.

При перекосе по профилю зубьев (в плоскости, касательной к их боковым поверхностям в месте контакта) контактные разрушения развиваются преимущественно в его средней части. Недопустимо проводить проверку глубины цементованного слоя по торцу зуба. В процессе такой проверки цементованный слой сошлифовывают с торца зуба и полученную поверхность протравливают. При этом остаточные напряжения сжатия у торца зуба резко снижаются и могут перейти в растягивающие напряжения, упрочняющее же влияние слоя на контактную прочность падает. Скол материала на одной кромке зуба приведет к прогрессирующему выкрашиванию остальных зубьев.

Технологический процесс, разрабатываемый для зубчатых колес редукторов унифицированного ряда комбайнов (РКУ), предусматривает шлифование боковых поверхностей. Технологам следует иметь в виду, что грубое шлифование цементованных и закаленных зубьев может приводить к образованию крупных локальных контактных разрушений на любом участке зуба, начинающихся с поперечных трещин шлифовочного происхождения.

Причиной контактных разрушений (усталостного износа) могут быть также повышенные глубина и твердость поверхностного упрочненного (цементованного, нитроцементованного) слоя, высокая концентрация карбидов (карбонитридов) в нем.

Опасные концентраторы напряжений, снижающие усталостную долговечность, имеются и у круглозвенных цепей. Это глубокие риски, остающиеся после срезки грата, а также места концентрации напряжений, обусловленные напряженным состоянием звена на участках перехода от прямых участков к закругленным. Наличие обезуглероженного слоя на поверхности звеньев способствует развитию усталостных трещин, зарождающихся у концентраторов напряжений, а также снижает износостойкость цепей.

Концентраторами напряжений могут быть также дефекты сварки. Наиболее распространенный из них — локальный перегрев под

электродами, который может привести к расплавлению и выплеску металла [26]. Внедрение мероприятий, повышающих качество сварки цепей (использование низкого сварочного тока, малой скорости оплавления, периодический контроль режима сварки, предварительный нагрев на пониженном напряжении и повышение последнего при оплавлении либо резкое уменьшение скорости перемещения при оплавлении), обеспечивает повышение долговечности сварных круглозвенных цепей.

Вязкому разрушению основных звеньев тяговых органов скребковых конвейеров и очистных комбайнов (таких разрушений по [24] соответственно около 70 и 25 %) может способствовать пониженный предел прочности сталей. Одной из причин наличия в одной цепи отрезков с разными прочностными характеристиками служит то, что отрезки могут быть изготовлены из сталей разных плавок, характеризующихся различным уровнем качества по химическому составу [25], но подвергнутых термообработке по одному и тому же режиму. Обеспечить заданный уровень качества по механическим свойствам можно только при обработке по режимам, оптимальным для каждого химического состава стали. Поскольку выбор оптимальных режимов не всегда возможен, контроль после термообработки следует вести не только по твердости, но и по структуре (структурные составляющие, размер зерна, наличие и характер неметаллических включений).

Причиной разрушения соединительных звеньев цепных тяговых органов служат несовершенство конструкции и низкое качество изготовления. Повышение толщины наиболее напряженных проушин соединительных звеньев для цепей комбайнов и стругов, увеличение диаметра кольца, усиление основания проушин обеспечило некоторое повышение усталостной долговечности, но не решение проблемы в целом — долговечность соединительных звеньев цепных тяговых органов комбайнов, конвейеров и стругов в несколько раз ниже долговечности основных звеньев [24, 26]. Стали, применяемые для звеньев тяговых цепей, склонны к перегреву, технологический процесс их обработки не предотвращает обезуглероживания и не всегда обеспечивает стабильное качество обработки.

Для повышения долговечности несущих металлоконструкций подземных горных машин необходимо интенсифицировать работы по внедрению более прочных и коррозионностойких комплексно легированных термоупрочненных сталей марок 14Х2ГМР, 14Х2САФД, 15ХСНД, 25Х2СРД и др. для оснований и перекрытий крепей, желобов и боковин рештаков и т.д. Благодаря этому не только можно повысить долговечность деталей, но и в ряде случаев избежать усиления конструкций наплавками.

В табл. 17—21 приведены наиболее часто встречающиеся причины повреждений и отказов. Все возможные дефекты, послужившие причиной повреждений или отказов конкретных деталей, весьма сложно представить в таблице, тем более, что систематизированные данные по видам и причинам разрушений даже для дета-

лей, лимитирующих срок службы горно-шахтного оборудования, отсутствуют.

Поэтому, если в практике механика или исследователя встретятся вид и причина повреждения и отказа конкретных деталей, не имеющие аналогов в данных таблицах, следует обратиться к другим источникам [23, 24, 25, 27, 28, 29], а также учесть приведенные ниже дополнительные сведения по этому вопросу.

Несоосность расточки корпусных деталей может привести к преждевременному разрушению зубчатых колес, валов, подшипников. К тому же приводит низкая жесткость корпусов, низкая твердость посадочных поверхностей корпусных деталей. Низкое качество защитных хромовых покрытий гидромеханизированных крепей ведет к интенсивной коррозии, продукты которой разрушают резиновые уплотнения, что влечет за собой потерю герметичности домкратов и стоек. Уплотнения могут выходить из строя и по причине неудовлетворительного состава материала.

Поломки корпусных деталей, брусьев, кронштейнов, шнеков, барабанов, режущих цепей, баров возможны в результате действия фактических нагрузок, превышающих расчетные, что имеет место при малой мощности пласта (комбайн не вписывается в пласт), наличии весьма крепких породных прослоек и горно-геологических нарушений (пережимов, смещений пласта, резкого изменения угла его падения).

Из-за ненадежной герметизации редукторов влага и абразивная пыль попадают в масло, что, в свою очередь, вызывает коррозию и повышенный износ деталей редукторов.

Разрушения могут возникнуть и при совместном воздействии ряда дефектов. Некоторые дефекты повторяются во времени, несколько видоизменяясь качественно и количественно, на одних и тех же деталях, изделиях, машинах; причем зачастую такое повторение происходит из-за неосведомленности об аналогичных повреждениях и дефектах, имевших место на других шахтах, участках. Поэтому детальный и тщательный разбор причин возникновения дефектов и причин повреждения и отказов, накопление такой информации и ознакомление с ней механиков шахт, инженерно-технических работников проектно-конструкторских, технологических институтов, заводов-изготовителей и ремонтных заводов, безусловно, будет способствовать своевременному предупреждению разрушений и деформаций деталей и повышению надежности очистного оборудования.

3. МЕТОДИКА АНАЛИЗА РАЗРУШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Для обеспечения надежности очистного оборудования важное значение имеют наблюдения за его работой и отказами, исследования и своевременное выявление причин разрушения деталей, разработка по результатам этих наблюдений и исследований эффективных мер по предупреждению повреждений и отказов, установление предельных размеров и износов деталей при текущих и капитальном ремонтах очистного оборудования, а также признаков (параметров) и критериев технического и предельного состояния оборудования. Отраслевая «Инструкция по выбору параметров и критериев технического и предельного состояния» предусматривает использование количественных критериев предельного состояния, в качестве которых выступают вид и размер деталей и сборочных единиц очистного оборудования, виды повреждений (поломки, износы, деформации, изломы, коррозия, сколы, выкрашивания и т. д.). Данные критерии необходимы в соответствии с ОСТ 12.44.024—82 «Изделия угольного машиностроения. Порядок разработки эксплуатационных документов» для разработки раздела руководства по эксплуатации «Регламент технического обслуживания и планового текущего ремонта и устранения возможных неисправностей и отказов». Информация о возможных повреждениях очистного оборудования, признаках их проявления используется в технологических картах по техническому обслуживанию, плановому текущему ремонту и устранению возможных неисправностей и отказов. Установление типовых видов повреждений и отказов очистного оборудования при текущих и капитальных ремонтах прямо связано с установлением перечня типовых процессов, классификацией, кодированием регламента работ по техническому обслуживанию и текущему ремонту.

Выполнение таких наблюдений и исследований разными предприятиями и организациями, но с использованием сопоставимых (а еще лучше — идентичных) методик позволяет накопить своеобразный банк данных, использование которого в перспективе приведет к автоматизации процесса установления причин повреждений и отказов.

На ближайшую перспективу установление причин повреждений и отказов деталей и оформление соответствующих документов на поврежденные и отказавшие детали позволит механикам уточнить нормы расхода запасных частей, конструкторам и технологам — улучшить конструкцию и технологию изготовления (восстановления) деталей очистного оборудования.

Для того чтобы правильно установить причину разрушения детали, механику шахты и исследователю заводской лаборатории

необходимо не только обладать различным комплексом сведений, знаний и умений, но и работать по определенной методике. Организация работ по установлению характера и причин отказов проводится в соответствии с ГОСТ 16648—70.

Установление причин разрушения деталей включает два этапа: первый — описание разрушения (деформации), определение характера и предполагаемых причин отказа оборудования на шахте путем визуального анализа разрушений поверхности и анализа условий и режимов эксплуатации оборудования;

второй — уточнение причин разрушения на основании лабораторных исследований в условиях завода-изготовителя, ремонтно-механического завода или отраслевого научно-исследовательского института.

3.1. АНАЛИЗ РАЗРУШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ГОРНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Для правильного составления заключения о причине разрушения детали механик шахты должен знать исходные свойства детали, т. е. те, которые она получила при изготовлении и восстановлении. Особенно такие сведения необходимы в отношении наиболее ответственных деталей (корпуса, зубчатые колеса, валы-шестерни, подшипники, штоки, цилиндры и т. д.).

Напомним, что в угольной промышленности почти каждое производственное объединение по подземной добыче угля имеет ремонтную базу (ремонтный завод или предприятие). Если в отдельных объединениях нет таких баз, то они имеются в ближайших производственных объединениях. Кроме того, капитальный ремонт очистного оборудования проводится централизованно на специализированных ремонтных базах, на которых разработаны технологические процессы на ремонт оборудования, закрепленного за данным предприятием. Поэтому информацию об основных свойствах детали можно получить из чертежа детали, сборочной единицы, из карты технологического процесса изготовления или восстановления этой детали, которые имеются на ремонтной базе. При отсутствии ремонтной базы в объединении желательно в отделе главного механика объединения иметь основные сборочные чертежи, чертеж основных деталей, карты технологических процессов изготовления и восстановления деталей и постоянно их обновлять. Чертеж детали несет достаточно информации о ее заданных свойствах. В нем указаны материал, шероховатость и точность поверхностей, допустимая погрешность формы и взаимного расположения поверхностей детали, вид термической обработки, глубины термоупрочненного слоя, твердость и т. д. Могут быть случаи, что уже на чертеже детали указаны свойства, которые ведут к низкому ресурсу этой детали (например, занижена твердость). Однако во всех случаях чертеж детали — основной документ для технолога завода, которым он руководствуется при разработке технологического процесса.

Анализ технологических процессов изготовления и восстановления детали позволяет установить соответствие ее свойств, которые формируются при изготовлении (восстановлении), свойствам этой же детали, заданным на чертеже. Причем можно установить конкретную операцию, на которой может быть допущен дефект. Все это помогает механику шахты аргументированно составить заключение о причине повреждения детали.

При отказе горно-шахтного оборудования на месте его эксплуатации следует:

осмотреть и провести, если это позволяют условия, необходимую разборку оборудования, руководствуясь при этом «Правилами безопасности в угольных и сланцевых шахтах», «Правилами технической эксплуатации угольных и сланцевых шахт» и мерами по технике безопасности, приведенными в технологических картах на техническое обслуживание и текущий ремонт очистного оборудования, в нарядах-рапортах;

осмотреть рядом расположенные детали, отмечая наличие или отсутствие разрушений или дефектов;

доставить отказавшую сборочную единицу в мастерскую шахты и разобрать ее. При этом необходимо руководствоваться § 122 «Правил технической эксплуатации угольных и сланцевых шахт»:

при эксплуатации механизированных комплексов и агрегатов не допускается производить разборку крупных узлов, например подающей части, электродвигателя, редуктора режущей части, рабочего органа, элементов гидросистемы и электроавтоматики комбайнов, а также изменять регулировку заданного рабочего давления и давления открытия гидросистемы крепи. Вышедшие из строя крупные узлы и элементы гидросистемы должны заменяться новыми или отремонтированными;

определить условия работы машины, в которых произошел отказ, отметив при этом крепость угля, мощность пласта, угол падения последнего и длину лавы, обводненность, наличие включений и геологических нарушений;

зафиксировать наработку для вышедшей из строя детали;

установить характер (вид) разрушения;

осмотреть дефектную деталь, проанализировать схему напряженного состояния;

установить характер разрушения или дефекта, записать в руководство по эксплуатации (формуляр ФО) в форму 6 «Сведения о замене деталей и сборочных единиц за время использования изделия по назначению» следующие данные:

дату замены детали (сборочной единицы, составной части);

обозначение детали, сборочной единицы;

причину замены (характер разрушения);

срок службы в календарных днях;

ресурс (в объемных показателях или машино-часах или в эквивалентном времени — в зависимости от того, как принято в отрасли или в объединении);

должность, фамилию и подпись ответственного лица.

Если в отрасли или производственном объединении принято заполнять донесение об отказе согласно ГОСТ 16648—80, тогда форма 6 формуляра не заполняется. Механик на основании данных анализа может разработать мероприятия по улучшению эксплуатации очистного оборудования у себя на шахте и дать предложения по совершенствованию конструкции и улучшению качества изготовления или ремонта вышедшей из строя детали (сборочной единицы, составной части).

Наиболее точно механик может (и должен) отметить эксплуатационную причину разрушения (деформации) детали, если она имела место:

работа в условиях, не соответствующих области применения машин;

несоблюдение регламента профилактических замен деталей;

некачественное выполнение работ по техническому обслуживанию и ремонту (плохое крепление деталей и сборочных единиц, несвоевременная смазка);

естественные процессы изнашивания и старения;

нарушение режима работы машины;

загрязненность смазки;

неправильное применение сорта смазки;

некачественное приготовление эмульсии;

несвоевременная регулировка сборочных единиц.

Конструктивные и технологические причины разрушений могут быть указаны предположительно, а уточнены они должны быть при лабораторных исследованиях.

Известную трудность для механика представляет установление причины разрушения по результатам визуального осмотра детали. Важно правильно оценить и описать характер и вид излома, так как неверная оценка излома может привести к ошибочным заключениям о причине разрушения детали. Ошибочная оценка возможна в случаях неправильного хранения разрушенных деталей до их поступления на исследование, неправильной очистки (подготовки к исследованию) разрушенной детали, неправильной отрезки разрушенной части детали (последняя производится в том случае, если невозможно всю деталь целиком доставить на исследование).

В целях исключения приведенных причин ошибочных оценок следует соблюдать ряд организационных и технологических требований. Прежде всего не следует: удалять с поверхности излома неплотно прилегающих «заноз», имеющих плохое сцепление с основной поверхностью, так как они обычно содержат важную информацию, позволяющую установить причины разрушения; протирать изломы ветошью, металлическими щетками; пытаться сложить вместе части разрушенной детали, так как все это вызывает повреждение поверхности излома.

Если излом детали не покрыт слоем смазки и грязи, то лучше его рассмотреть, не промывая. И только если слой смазки мешает

рассмотреть излом и прилегающие к нему участки детали, по очистка необходима.

По возможности, нужно осмотреть обе части поломавшейся детали, так как если одна часть из них имеет забитую, загрязненную поверхность излома, то на другой эта поверхность может быть хорошо сохранившейся.

Очистку излома производят обдувкой сухим воздухом с последующим погружением в очищенный бензин, а если требуется удалить ржавчину — в соляную кислоту, содержащую 2—3 г/л гексометилентетрамина. Если на шахте не установлена причина разрушения, сломанную деталь следует доставить в лабораторию на исследование, поверхность излома можно покрыть слоем чистого тавота. За рубежом для этой цели широко применяют прозрачные пластиковые покрытия, удаляемые затем трихлорэтиленом, а транспортировку сломанных деталей производят в пластиковых контейнерах с силикогелем.

Для того чтобы установить по излому причину разрушения, надо знать, как влияют на характер излома условия эксплуатации, вид нагружения и структурные факторы, зависящие, в свою очередь, от состава и обработки материала. Однозначных рекомендаций и заключений здесь не может быть из-за чрезвычайно большого многообразия постоянно меняющихся условий эксплуатации. Однако накопленный опыт позволяет механику и исследователю по виду и расположению излома с определенной степенью достоверности судить о причине разрушения. Для установления характера разрушения (вида излома) необходимо при анализе излома обратить внимание на ряд специфических особенностей излома.

Наука о строении изломов получила название фрактографии (от английского fracture — излом, разрушение). Фрактографический метод исследования предусматривает получение качественной и количественной информации о строении изломов как с помощью визуального рассмотрения, так и с применением различных приборов (оптических, электронных микроскопов и др.).

Визуальное рассмотрение или использование небольших увеличений (до 100 крат) позволяет получить общую картину процесса разрушения; исследование под микроскопом (увеличение до 400 крат на оптическом микроскопе и до 50 тыс. крат на электронном) позволяет рассмотреть особенности рельефа излома в пределах отдельных зерен металла.

Вопросам классификации и анализа изломов посвящено большое число работ. Это объясняется тем, что при исследовании строения изломов можно получить такие сведения о процессе разрушения, которые в большинстве случаев невозможно получить никакими другими существующими методами.

Анализ излома позволяет установить: закономерности процесса разрушения (механизм, кинетика); влияние структурных факторов на разрушение; характер и причину разрушения детали.

Наиболее полная классификация изломов дана в [31], в соот-

ветствии с которой ниже приводится классификация наиболее часто встречающихся изломов деталей горных машин.

Признак классификации излома	Вид излома
I. Характер силового воздействия	I.1. Изломы кратковременного однократного статического и динамического нагружения I.2. Изломы длительного статического нагружения I.3. Изломы усталостного разрушения, в том числе: I.3.1. Типично усталостные I.3.2. Коррозионно-усталостные
II. Степень пластической деформации, протекающей в теле	II.1. Хрупкий II.2. Квазихрупкий II.3. Вязкий
III. Макрогеометрия и ориентация излома	III.1. Плоский III.2. Плоский со скосами (чашечный) III.3. Прямой III.4. Косой III.5. Сложной формы
IV. Вид и геометрия элементов поверхности разрушения	IV.1. По блеску и цвету IV.1.1. Матовый IV.1.2. Блестящий IV.1.3. Серый, черный, синий, цвета окалны и др. IV.2. По характеру рельефа и степени шероховатости IV.2.1. Кристаллический IV.2.2. Волокнистый IV.2.3. Камневидный IV.2.4. Фарфоровидный IV.3.1. Однородный IV.3.2. Неоднородный
IV.3. Наличие зональности	V.1. Внутризеренный V.2. Межзеренный V.3. Межсубзеренный
V. Связь с элементами структуры материала	VI.1. Хрупкий VI.2. Вязкий VI.3. Усталостный
VI. Скорость распространения трещины	

При анализе эксплуатационных изломов важно знать особенности их строения, обусловленные как параметрами нагружения, так структурой и свойствами материала. Поэтому разделение фрактографических исследований на различные аспекты достаточно условно. Общие особенности в строении изломов учитываются главным образом при изучении кинетики разрушений. Отсюда наибольшее распространение получила классификация по характеру разрушения, и соответственно изломы называют хрупкими, вязкими и усталостными.

Признаком *хрупких изломов* являются гладкие, ровные кромки излома без скосов или с небольшими скосами. Чем больше величина пластической деформации в процессе нагружения и разрушения, тем больше размеры скосов на кромках изломов.

Скос на хрупком изломе указывает место долома, т. е. окончание разрушения. И, наоборот, участок без скоса (или с меньшим скосом) обычно примыкает к фокусу излома.

Для хрупкого кристаллического излома характерно наличие блестящих зеркальных участков значительных размеров — фасеток. Это означает, что разрушение в данном случае сопровождалось образованием сравнительно гладких поверхностей под одинаковым углом. Наличие таких участков означает, что трещина развивалась, не вызывая значительной пластической деформации.

На хрупком изломе можно различить три зоны: фокуса излома, относительного медленного распространения разрушения и соответствующую быстрому, лавинному разрушению.

Фокус излома — зона, с которой начинается разрушение. В хрупких изломах фокус, как правило, располагается непосредственно у поверхности детали. Хрупкий излом может иметь несколько фокусов.

Поверхность зоны медленного разрушения более гладкая. Если образование фокуса разрушения зависит в основном от физического и геометрического состояния поверхности, то развитие трещины в зоне медленного и особенно в зоне быстрого разрушения меньше зависит от состояния поверхности и скорости приложения внешней нагрузки. Развитие трещины в этих зонах обусловлено в основном структурными факторами, значением модуля упругости.

Поверхности медленного и быстрого разрушения при наличии одного фокуса в хрупком изломе имеют рубцы, веерообразно расходящихся из фокуса в направлении развития разрушения. В месте возникновения разрушения рубцы невысокие, тонкие; в зоне развивающегося разрушения они становятся грубее и иногда имеют вид заноз, отстающих от основного металла (рис. 28). Если одновременно возникает несколько фокусов, то рубцы имеют глубокое строение в начальной зоне изломов и становятся более тонкими по мере слияния соседних трещин.

Направление заноз хрупкого излома также позволяет в этом случае установить, какая именно трещина послужила началом поломки, и, следовательно, где находится наиболее ослабленный участок детали.

Вязкий излом имеет явно выраженное волокнистое строение, его неровные участки рассеивают свет и поверхность излома кажется матовой, лишенной кристаллического блеска. Признаком вязкого излома является наличие боковых сколов по его краю.

Если в процессе эксплуатации произошла поломка детали в нескольких местах, то надо знать, что первичные изломы (которые могли повлечь за собой все остальные поломки), как правило, не бывают вязкими. Вязкие первичные изломы встречаются при разрушении в редких случаях вследствие грубых ошибок, допущенных при расчете на прочность, монтаже (сборке) или эксплуатации. Относительно медленно развивающаяся вязкая трещина либо заблаговременно обнаруживается, либо из-за чрезмерной пластической деформации деталь еще до ее полного разрушения перестает выполнять свои функции.

Четкую грань между хрупким и вязким изломом провести

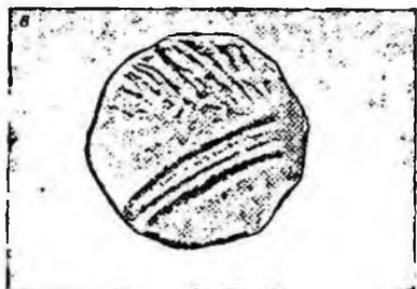


Рис. 28. Поверхности изломов [29]:
а, б — хрупких; в — усталостного

крайне трудно. Поэтому в сложных случаях следует отметить степень вязкости или кристалличности излома. В этих случаях принято оценивать долю вязких участков в процентах.

Чаще всего о характере разрушения — хрупкое или вязкое — судят по степени пластической деформации детали, предшествующей разрушению детали. Если степень пластической деформации больше 5%, то разрушение вязкое, если меньше — хрупкое.

Разрушение называют хрупко-вязким, если излом вязкий, а зона долома хрупкая.

Обычно хрупкие изломы встречаются в результате действия высоких динамических нагрузок при аварийных перегрузках. Хрупкие изломы могут быть также вызваны хладноломкостью металла при низких температурах. Вязкие изломы встречаются реже хрупких, как правило, после значительных деформаций детали, в результате действия высоких нагрузок аварийного характера.

На усталостных изломах более четко, чем на хрупких, можно выделить очаг разрушения (области зарождения трещины), зоны распространения трещины и окончательного разрушения (долом детали).

Около области зарождения трещины, где усталостная трещина распространялась относительно медленно, поверхность достаточно ровная, сглаженная. Следующая зона развития трещины существ-

венно отличается от первой тем, что имеет неровную поверхность. Зона долома может иметь либо кристаллическую поверхность, показывающую, что окончательное разрушение носило хрупкий характер, либо волнистую, указывающую на то, что окончательное разрушение было вязким.

Таким образом, на усталостном изломе можно установить очаг разрушения, зоны медленного и быстрого развития трещины, зону долома.

Отличительным признаком, характеризующим направление развития усталостной трещины, служат кольца эллипсовидной формы на усталостном изломе. Иногда эти кольца бывают выражены очень резко.

В усталостном изломе может быть несколько очагов (фокусов).

При существенном повреждении поверхностного слоя, например вследствие действия коррозионной среды, очаги излома часто располагаются в непосредственной близости один от другого по всей периферии излома.

Если очаги излома не совпадают с имеющимися концентраторами напряжений — галтелями, отверстиями, рисками или клеймами на поверхности и т. д., можно предположить действие достаточно высоких нагрузок.

В общем случае с увеличением уровня напряжений в изломе увеличивается количество очагов, однако последнее может быть также следствием наличия многих концентраторов напряжений (конструктивных, технологических, эксплуатационных). Поэтому необходимо учитывать не только количество и расположения очагов в изломе но и последовательность их возникновения. При малой скорости распространения разрушения вероятно образование новых очагов.

Первоначально возникший очаг от очагов, возникших в процессе усталостного разрушения, можно отличить по размеру усталостной зоны, блеску поверхности излома и густоте усталостных линий; больший размер усталостной зоны, более густое расположение усталостных линий и больший блеск поверхности излома около очага свидетельствуют о том, что данный очаг был первоначальным, усталостная трещина начиналась именно в этом месте.

Соотношение между усталостной зоной (зоной медленного и быстрого развития трещины) и зоной окончательного долома в изломе зависит от чувствительности материала детали к трещине и условий нагружения.

В материалах, малочувствительных к трещинам (чугуны), зона распространения усталостной трещины тем больше, чем ниже уровень нагрузки.

Для прочных сталей (прошедших термическую обработку), чувствительных к трещине, усталостная зона в изломе занимает очень малую площадь, независимо от уровня действующих напряжений.

По характеру усталостного излома можно дать приблизительную оценку относительной скорости развития трещины. Чем мед-

леннее шло развитие трещины, тем более гладкой, как бы полированной, получилась часть поверхности излома.

Если трещина развивалась относительно быстро, при малом числе циклов, то поверхность излома такой трещины менее гладкая, матовая, зернистая. От хрупкого излома в этом случае трещина отличается наличием слабовыраженных колец эллиптического очертания.

При наличии в детали местных дополнительных напряжений в местах их приложений трещины в процессе развития волнообразно меняют свое направление.

При работе детали с постепенно развивающейся трещиной усталости довольно часто наблюдаются местные мгновенные продвижения трещины, чередующиеся с постепенным ее развитием. Они указывают на временные перегрузки при работе детали (см. рис. 28).

Такие изломы, на которых имеются расположенные последовательно или перемежающиеся участки хрупкого и вязкого разрушения, называются смешанными.

Получение вязкого и хрупкого излома на одном и том же материале не всегда свидетельствует о структурных различиях. Один и тот же материал в одном и том же структурном состоянии может в зависимости от условий нагружения (температура, скорость приложения нагрузки, характер напряженного состояния) обнаруживать вязкое или хрупкое разрушение.

Классифицируя излом, следует принимать во внимание преимущественный характер его строения, главным образом в начальной зоне, соответствующей начальной стадии разрушения, так как приведенная классификация является в значительной степени условной из-за неоднородности строения изломов, которая является следствием следующих причин:

- неоднородности структуры и свойств материала;
- изменения напряженного состояния материала в процессе распространения в нем трещины;
- изменения внешних условий нагружения в процессе разрушения.

Предварительное заключение о причинах поломки детали, сделанное по виду излома, обычно позволяет отметить следующее.

Хрупкому разрушению способствовали: повышенные скорости нагружения; высокое содержание углерода в стали; высокая жесткость конструкции; пониженные температуры работы.

Вязкому разрушению способствовали: пониженный предел текучести материала детали (гораздо более низкий, чем фактические действующие напряжения); пониженное содержание углерода в стали, из которой изготовлена данная деталь; рабочие напряжения, значительно превышающие расчетные напряжения.

Анализ других видов повреждений — износов, деформаций, коррозии также позволяет в первом приближении судить об особенностях условий эксплуатации и состояния материала детали. Задиры на поверхности трения свидетельствуют о высоких кон-

тактичных нагрузках, например при перекосах, или о попадании в зону трения частиц с высокой абразивностью.

Следует отметить, что часто на одной детали встречается несколько видов износа. Иногда это вызвано тем, что имеют место и конструктивные, и технологические, и эксплуатационные причины разрушения. В других случаях один и тот же технологический дефект может привести к разным видам изнашивания в зависимости от условий эксплуатации, например, наличие обедненного углеродом поверхностного слоя при высоких изгибающих нагрузках — к усталостной поломке, а при наличии высоких контактных нагрузок — к усталостному выкрашиванию.

Вид изношенной поверхности позволяет судить об условиях изнашивания. Так, образование вырывов и налипших частиц металла, беспорядочное скопление впадин и выступов на поверхности трения свидетельствует о малых скоростях скольжения трущихся поверхностей и больших давлениях. Появление чередующихся надрывов, заметного пластического течения металла, царапин, поверхностных слоев металла, увлекаемых трущимися поверхностями и размазанных на поверхности трения, свидетельствуют о больших скоростях скольжения трущихся поверхностей и повышенных давлениях.

Коррозия может послужить причиной не только повышения шероховатости поверхности и нарушения условий контактирования пар, но и развития коррозионной усталости, когда коррозионные раковины под влиянием знакопеременных нагрузок дают начало трещинам.

Если одновременно разрушилось несколько деталей, то для установления причины повреждения важно определить первоначально разрушившуюся деталь. Весьма часто при разрушении нескольких деталей признаки усталостного разрушения дают достаточное основание утверждать, что именно эта деталь разрушилась первой. В большинстве случаев усталостное разрушение одной детали редуктора вызывает неусталостную поломку других деталей. Однако возможны усталостные поломки валов по причине выхода из строя подшипников: поломка подшипников приводит к перегрузке и усталостной поломке валов. В этом случае необходимо помимо логического анализа процесса возникновения повреждений, выполненного с учетом условий нагружения пары (наличие и качество смазки; перекосы, отразившиеся в кромочном контакте зубчатых зацеплений и др.), провести полное металлографическое исследование в лаборатории всех разрушенных деталей.

На участках зарождения изломов или по месту прохождения трещины можно установить, произошло ли смятие детали до или после образования трещины (зарождение излома). Если края трещины смяты или фокус излома имеет следы пластической деформации, значит сначала прошло усталостное разрушение, которое повлекло за собой разрушение других деталей. Если разрушено несколько деталей, но края трещины, фокус излома не носят

следов пластической деформации, значит первоначально разрушившаяся деталь нанесла дополнительные концентраторы напряжений, приведшие, в свою очередь, к усталостной поломке второй детали.

Установление участка детали, с которого началось ее повреждение, производят руководствуясь рядом признаков:

в случаях усталостного разрушения участок зарождения излома соответствует расположению очага (фокуса) излома;

в случае статического разрушения на участке зарождения излома могут быть смяты края последнего (при вязком изломе) или наблюдаться характерное расположение лучей, описанное выше (при хрупком изломе).

Затем необходимо установить концентратор напряжения, послуживший очагом зарождения излома. Если излом сильно поврежден, концентратор напряжения может быть установлен путем металлографического анализа, методом дефектоскопии или оценкой расположения излома на детали.

Имеющиеся на участках первоначального разрушения металлургические дефекты, шлифовочные трещины можно считать концентраторами напряжений.

Важно также оценить характер разрушения по расположению поверхности излома относительно действующих сил и внешних контуров детали.

В случае одноосного растяжения хрупких материалов разрушение происходит без видимых пластических деформаций, и излом почти перпендикулярен к направлению растяжения (действию нормальных напряжений). Разрушение может начаться в любой точке внутри зоны с высокими напряжениями (рис. 29, а). В этих же условиях нагружения у вязких материалов касательные напряжения, направленные под углом 45° к оси детали (к действующим нормальным растягивающим напряжениям), вызывают значительную деформацию, предшествующую разрушению. Разрушение обычно начинается вблизи оси детали и распространяется по направлению к поверхности, заканчиваясь коническим срезом (рис. 29, б).

При кручении хрупкий материал разрушается по плоскости, которая расположена под углом 45° к оси. Разрушение обычно начинается на поверхности в зоне действия наибольших напряжений (рис. 29, в). В этих же условиях у вязкого материала направление (расположение) излома похоже на разрушение хрупких материалов при растяжении, но излом имеет довольно выраженный воронкообразный вид, а зона долома располагается в центре детали (рис. 29, г).

При одноосном сжатии хрупкий материал ломается в направлении действия сжимающих напряжений, параллельно оси детали (рис. 29, д). В этих же условиях в вязком материале касательные напряжения вызывают значительную пластическую деформацию и не всегда приводят к разрушению (рис. 29, е).

В случае действия изгибающих нагрузок в выпуклой (растя-

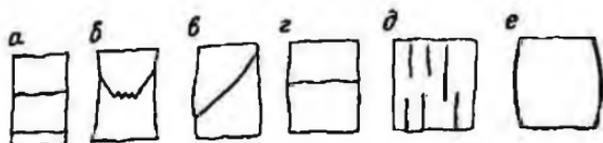


Рис. 29. Схемы изломов [30]

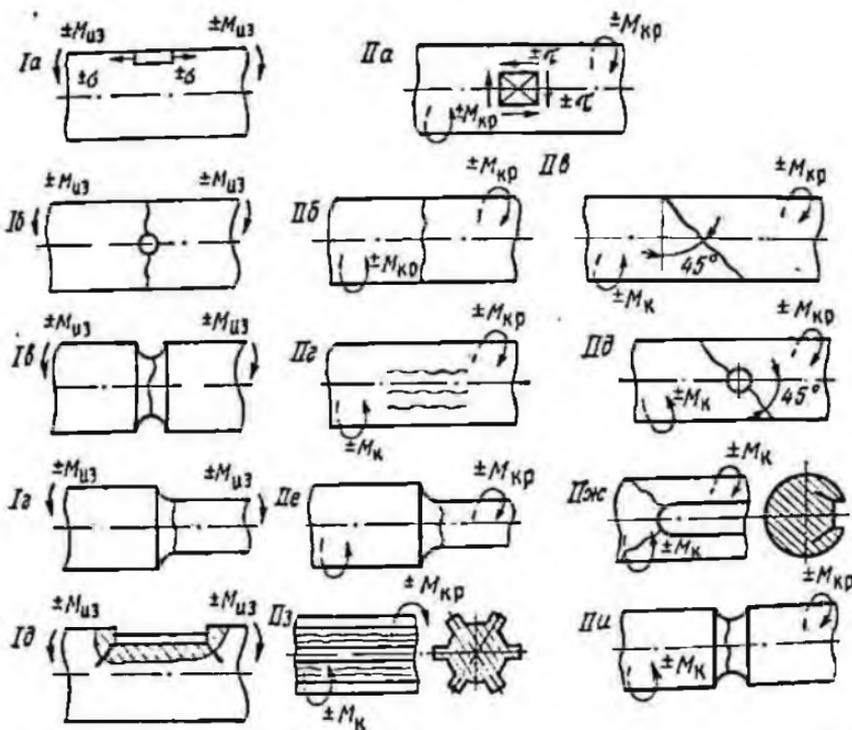


Рис. 30. Типичные усталостные изломы при различных видах нагружения (по А. М. Зайцеву). Схемы напряженного состояния (Ia, IIa) и ориентация изломов соответственно при циклическом изгибе (Iб—Iд) и при циклическом кручении (IIб—IIе)

нутой) поверхности изломы подобны показанным на рис. 29, а, б, на вогнутой (сжатой) поверхности — на рис. 29, д, е.

На рис. 30 приведена ориентация изломов в зависимости от схемы напряженного состояния, вида нагружения (тонкими волнистыми линиями показана ориентация изломов). Так, если поверхность излома вала располагается под углом 45° к оси, то разрушение произошло от циклических нагрузок при кручении. Если излом произошел под углом, близким к 90° , то разрушение возникло от кручения при значительных перегрузках, а также от повторных изгибающих нагрузок. При наличии резкого концентратора напряжений излом зарождается по поверхности, перпендикулярной к оси вала.

Излом стержней, шпилек, тяг от изгиба и растяжения проис-

Таблица 23

Ориентировочная связь вида излома и характера действующих нагрузок при усталостном разрушении

Вид нагружения	Без концентратора или с одним точечным		С одним вытянутым или с несколькими точечными концентраторами			
	Незначительная перегрузка	Высокая перегрузка	Незначительная перегрузка		Высокая перегрузка	
			Незначительная концентрация	Значительная концентрация	Незначительная концентрация	Значительная концентрация
Растяжение или односторонний изгиб						
Двухсторонний изгиб						
Круговой изгиб						

ходит по плоскости, перпендикулярной к оси. Без анализа условий нагружения детали и ее работы трудно установить, от каких нагрузок произошел излом.

На табл. 23 показана ориентировочная связь вида излома и характера действующих нагрузок при усталостном разрушении (стрелками показаны направления развития трещин, линиями — зоны вязкого разрушения, точками — зоны хрупкого разрушения).

Затем следует установить по внешнему виду характер излома: вязкий, хрупкий, усталостный (другие виды разрушения — адиабатический сдвиг, разрушение в условиях ползучести и т. д. нехарактерны для условий работы горно-шахтного оборудования).

Изучение поверхности невооруженным глазом (макроскопическое исследование строения изломов) в большинстве случаев позволяет достаточно надежно определить характер и вид нагружения, при котором произошло разрушение: однократное (кратковременное, длительное) или усталостное.

Анализ характера изломов необходим и для дальнейшего усовершенствования конструкции, так как поломки деталей в нормальных условиях эксплуатации (изготовленных и обработанных без отклонения от технологических условий) указывают конструкторам слабые места конструкции, подлежащие усилению.

Установленное место возникновения трещины подлежит особому тщательному исследованию, так как часто является зоной значительных местных концентраций напряжений, которые либо являются единственной причиной поломки детали при нормальных

условиях эксплуатации, либо служат тем слабым звеном, по которому происходит разрушение при стечении неблагоприятных обстоятельств в период эксплуатации.

- Если анализ разрушенной детали не позволяет механику сделать однозначный вывод о возможной причине поломки или если завод-изготовитель не согласен с заключением шахты, деталь (или ее часть, включая поврежденные поверхности) направляется на исследование в лабораторию завода-изготовителя, ремонтно-механического завода, отраслевого научно-исследовательского института или в другую организацию, выбранную по согласованию завода-изготовителя (ремонтно-механического завода) с шахтой, эксплуатировавшей машину (оборудование).

Если разрушена массивная деталь и требуется направить в лабораторию для установления вида и причины повреждения часть разрушенной детали, то вырезку образца следует вести так, чтобы при этом не изменить состояния поврежденной поверхности. Предпочтительнее всего сухая резка отрезным абразивным кругом или пилой. Использование охлаждающих жидкостей нежелательно, так как может привести к коррозии излома. Охлаждающие жидкости применимы только в том случае, когда приходится вести вблизи излома и необходимо предотвратить его нагрев. Пламенная резка наименее желательна, но если другой способ по какой-либо причине не может быть применен, то пламенную резку следует вести на расстоянии, достаточно удаленном от излома, во избежание его нагрева, окисления и забрызгивания расплавленным металлом.

Исследования поврежденных деталей в лабораторных условиях различными методами (механических испытаний, металлографического анализа и т. д.) помогут дополнительно обосновать или опровергнуть заключение механика о причинах повреждения.

3.2. АНАЛИЗ РАЗРУШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ В ЛАБОРАТОРИИ

Лабораторное исследование начинают с макроанализа — изучения строения металла путем осмотра его излома или поврежденной поверхности невооруженным глазом или через лупу при малых (до 30-кратных) увеличениях. Это позволяет одновременно наблюдать значительную часть поверхности и наметить участки для дальнейшего, более детального, микроанализа.

Поверхность излома желательно рассматривать с помощью бинокулярного микроскопа с 40-кратным увеличением. Все особенности излома или повреждений поверхности, обнаруженные визуально или с помощью микроскопа, необходимо записать. Затем следует сфотографировать общий вид разрушенной детали и поверхность излома. Фотографирование излома с использованием косяго освещения под различными углами позволяет получить более рельефные изображения излома; обычно фотографируют с 10-кратным увеличением.

Для специалистов, работающих в заводских лабораториях, безусловно, полезны обстоятельные пособия, в которых освещены все аспекты фрактографического метода исследования, преимущества и недостатки различных приемов и способов исследования поверхности разрушения, а также, что очень важно, приведены фотографии наиболее часто встречающихся дефектов стали, фрактограммы и описания изломов [30, 32].

После осмотра детали и ее фотографирования на эскизе детали или снимке размечают места для определения химического состава, вырезки образцов для механических испытаний, расположение шлифов для изучения макро- и микроструктуры. Места вырезки образцов для механических испытаний, металлографических исследований и определения химического состава назначают, учитывая характер технологических процессов получения заготовки, детали и ее упрочняющей обработки, которые могли привести к неоднородности по составу и свойствам.

Для выявления дефектов, нарушающих сплошность металла, проводят микроанализ поперечных макрошлифов. Выявление флокенов, строения литой стали, волокон катаной стали осуществляют с помощью реактивов для глубокого и поверхностного травления [33].

Для глубокого травления углеродистых и легированных сталей применяют реактив, состоящий из 50 мл HCl (плотность 1,2) и 50 мл воды, продолжительность травления 20—30 мин. Такое травление хорошо выявляет структуру литого металла и трещины. Ликвацию (химическую неоднородность), полосчатость деформированной стали выявляют реактивом Гейна, содержащим на 1000 мл воды 53 г хлористого аммония (NH_4Cl) и 85 г хлористой меди (CuCl_2). Макрошлиф погружают в реактив, затем промывают ваткой под струей воды и протирают досуха.

Распределение серы определяют по методу Баумана следующим образом. Фотобумагу (бромосеребряную) на свету смачивают и выдерживают 5—10 мин в 5%-м водном растворе серной кислоты и слегка просушивают фильтровальной бумагой. Затем на макрошлиф укладывают фотобумагу, осторожно, не допуская смещения, проглаживают рукой для удаления оставшихся пузырьков воздуха и выдерживают 10 мин. После этого снимают с макрошлифа бумагу промывают под струей воды, фиксируют 20—30 мин в растворе гипосульфита и хорошо промывают. Темные участки, образующиеся на фотобумаге, указывают форму и характер расположения сульфидов.

Полное макроскопическое исследование выполняется в следующей последовательности. Сначала проводят травление реактивом Гейна, выявляющим строение металла, при необходимости макрошлиф фотографируется. Затем его шлифуют и определяют распределение серы по Бауману. Далее проводят глубокое травление для выявления дефектов, нарушающих сплошность металла.

После макроанализа определяют химический состав стали и отмечают соответствие или несоответствие материала детали тех-

ническим условиям чертежа на данную деталь. Определять химический состав следует в сердцевине. Кроме того, необходимо установить содержание углерода в поверхностном слое, отмечая наличие обедненного, перенасыщенного углеродом слоя или слоя с требуемым содержанием углерода. С этой целью резцом, оснащенным твердосплавной пластинкой типа ТЗ0К4, снимают тонкую стружку (0,05—0,1 мм) и в этой стружке определяют содержание углерода. В последние годы все более широкое применение получает лабораторно-исследовательское оборудование, позволяющее с достаточной степенью точности определять химический состав в любой точке.

Для определения химического состава в микрообъемах (3—10 мкм³) наиболее распространен микроанализатор MAP-2. Результаты анализа с помощью MAP-2 могут регистрироваться непрерывно на площади объекта 200×200 мкм (максимальный размер образца 9×15×8 мм).

Количественное распределение легирующих элементов между структурными составляющими определяют на микроанализаторе «Сатеса-46» (Франция).

Для определения химического состава тонких поверхностных слоев используют Оже-спектрометры.

Следующая стадия исследования — определение механических свойств. С этой целью чаще всего проводят испытания на растяжение (по ГОСТ 1497—73) и на удар (по ГОСТ 9445—78). Остальные виды испытаний применяются значительно реже.

При разрушении (деформации) корпусных деталей образцы для испытаний вырезают на участке, прилегающем к местам разрушений. При определении механических свойств деталей, прошедших поверхностную упрочняющую обработку, их подвергают высокому отпуску при температуре 680 °С для улучшения обрабатываемости резанием и затем вырезают образцы для исследования из сердцевины деталей.

При определении твердости поврежденных деталей следует делать замеры как на участках, прилегающих к месту повреждения, так и на неповрежденных участках. Обязательны замеры твердости поверхности и сердцевины деталей, а для установления связи структуры материала со свойствами необходимы также измерения микротвердости на приборе ПМТ-3.

Для определения твердости крупных деталей используют переносные твердомеры ТШП-4 (измерение по методу Бринелля) и ТКП-1 (измерение по методу Роквелла). Эти твердомеры и другие (стационарные), выпускаемые производственным объединением «Точприбор» (г. Иваново), хорошо зарекомендовали себя в производстве.

Микроструктурный анализ состоит в исследовании микроструктуры материалов при больших увеличениях на оптическом и электронном микроскопе. Термины, определения и обозначения, являющиеся общими для микроструктурных исследований, проводи-

мых с помощью световых и электронных микроскопов, приводятся в ГОСТ 21006—75 и ГОСТ 1778—70.

Для изучения структуры сплавов готовят микрошлифы — специальные образцы, вырезанные из изделия. При необходимости изучить структуру отливки образцы вырезают в различных ее сечениях (от максимальных до минимальных). Важно правильно выбрать место для вырезки микрошлифа. Ошибочно ограничиваться микрошлифами, взятыми только вблизи разрушения (повреждения) детали. Известно, что само разрушение материала вызывает ряд необратимых явлений. В этих участках могут быть зафиксированы микроскопические трещины, которых нет и не было в материале до разрушения. Поэтому при исследовании причин разрушения деталей в процессе эксплуатации образцы для исследования вырезают вблизи места разрушения и в отдалении от него с тем, чтобы сравнить строение металла и нагляднее установить отклонения от нормы, если они имеются.

Вырезку образца для микрошлифа следует проводить тонкими абразивными кругами при обильном охлаждении (чтобы не изменить структуры металла) или электронскровым методом.

Размер микрошлифа может быть различный, но чаще всего применяют куб с ребром около 10 мм или диск такого же диаметра. Такой шлиф легко подготовить к травлению, он равномерно травится и удобен для исследования. Иногда для исследования необходимо приготовить шлифы больших или меньших размеров, но работа с ними затруднительна (первые трудно подготовить к травлению и равномерно проявить структуру, а вторые приходится шлифовать и полировать в специальных державках).

Микрошлифы неправильной формы или размером меньше 10 мм в поперечнике (пружины, тарелочки клапанов и т. д.) заливают легкоплавкими сплавами. Наиболее часто применяют сплав Вуда (50 % Bi, 12,5 % Cd, 25 % Pb, 12,5 % Sn), имеющий температуру плавления 76 °С. Для заливки шлифа таким сплавом берут картонную полоску шириной 1,5—2 см и длиной, равной примерно двум периметрам шлифа. Картонку устанавливают, как показано на рис. 31, на металлическую или керамическую плиту. Одновременно можно залить несколько шлифов. Плотнее скручивая или раздвигая картонку, можно заливать различные по величине шлифы. Иногда для этой цели используют круглую или квадратную оправку из латунной ленты. Если необходимо исследовать под микроскопом тонкий поверхностный слой образца, для заливки применяют стальные втулки с высокой твердостью, которые предохраняют поверхность шлифа от «заваливания».

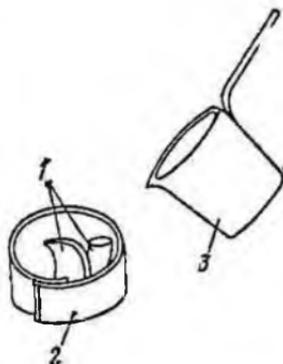


Рис. 31. Схема заливки микрошлифов:

1 — шлиф; 2 — картонка; 3 — заливочный ковшник с расплавленным металлом

таким образом плоскую поверхность зачищают шлифовальными водостойкими шкурками (последовательно от наиболее грубой до «бархатной»). Направление движения образца по шлифовальной шкурке меняют на 90° каждый раз при переходе на более тонкую шкурку для удаления ранее возникших рисок. Оставшиеся после шлифования мелкие дефекты поверхности устраняют полированием.

Полирование сталей ведется с применением пасты ГОИ, которую взмучивают в воде и поливают на полировальный круг, цветных металлов — с помощью травящих химически активных реактивов (например, раствора желтой кровяной соли).

Для механизации процесса приготовления шлифов применяют микрошлифовальные станки типа СШПМ и полировальные типа 2408. Более совершенно электрохимическое полирование, ускоряющее процесс и позволяющее полностью избежать изменений в структуре поверхностного слоя.

После полирования (независимо от способа) микрошлиф промывают водой, затем спиртом и просушивают фильтровальной бумагой.

Окончательное суждение о готовности шлифа дается после осмотра поверхности при малом увеличении (до 100 раз). Пороки при изготовлении шлифа могут исказить результаты исследования. Пороками изготовления шлифа являются: риски, оставшиеся после шлифования, не выведенные полированием, завал края (особенно если это поверхность детали), наличие крупинки шлифовального материала, которые можно отличить от неметаллических включений в самом материале по своеобразной форме — «хвостам». На исследование должны поступать только шлифы, не имеющие указанных пороков.

Изучение микроструктуры начинают с рассмотрения шлифа в нетравленном виде, т. е. непосредственно после полирования и просушки. В поле зрения под микроскопом видны небольшие темные участки. Это могут быть неметаллические включения, но могут быть и мелкие поры. Чтобы отличить микропоры от включений, шлиф слегка выводят из фокуса, поворачивая микрометрический винт микроскопа, и снова наводят на фокус; при этом края микропор в отличие от неметаллических включений то сходятся, то расходятся.

Количество и характер распределения неметаллических включений определяют сравнением вида наблюдаемой поверхности микрошлифа при увеличении в 100 раз со специальной шкалой баллов для неметаллических включений стали (ГОСТ 1778—70).

Многочисленные данные показывают, что повышение чистоты металла — это средство увеличения его конструктивной прочности и повышения надежности. Поэтому наличие большого количества неметаллических включений должно насторожить исследователя и побудить его установить природу включений. Природа включений при микроанализе стали может быть установлена травлением

специальными реактивами [33], а также изучением шлифа в поляризованном и ультрафиолетовом свете.

После изучения нетравленного шлифа его травят.

Травление шлифа производят на специальном рабочем месте под вытяжкой. Последовательность операций травления:

шлиф с помощью пинцета (зажима) погружают в травитель полированной поверхностью вверх, затем промывают в проточной воде или в большом количестве непроточной воды, затем в спирте, просушивают фильтровальной бумагой.

Хранить шлифы следует в эксикаторе во избежание их окисления.

Для травления микрошлифов применяют различные реактивы. Для выявления структур углеродистых сталей и чугунов обычно применяют спиртовой раствор азотной кислоты (азотная кислота плотностью $1,4 \text{ г/см}^3$ — 5 мл, этиловый спирт — 100 мл).

Структуры высоколегированных сталей проявляются раствором азотной и соляной кислот в глицерине (азотная кислота 10 мл, соляная кислота 30 мл, глицерин 30 мл).

Для выявления структуры латуней и бронз применяют раствор персульфата аммония (10 г персульфата аммония, 90 мл воды).

Металлографические исследования проводят на оптических микроскопах МИМ-7, ММР-2, МИМ-8 и Неофот-2 фирмы «Карл Цейс» (Йена), ГДР.

Структуры сталей обычно изучают при 500—600-кратном увеличении, глубины диффузионных слоев — при 100-кратном.

После внимательного исследования строения материала следует сфотографировать шлиф, так как иногда очень трудно вновь отыскать участок, имеющий какую-либо особенность, подтверждающую выводы исследователя о причине разрушения детали.

При фотосъемке следует зафиксировать как средний из всех наблюдений характер структуры, так и резко отличающиеся места.

Для фотосъемки микрошлифа на микроскопе применяют ортохроматические пластинки высокой чувствительности. Чтобы определить время экспозиции, которое зависит от вида структуры, увеличения, освещенности, сначала делают пробные снимки: постепенно закрывая (или открывая) выдвижную пластинку кассеты, можно получить ряд снимков с различной выдержкой с одного и того же участка шлифа.

В лаборатории целесообразно разработать таблицы выдержек при разных увеличениях для различных материалов.

Проявление, фиксирование и печатание снимка производятся обычными методами. Для достижения контрастности и хорошей проработки деталей применяют специальные сорта глянцевого бумаги.

Все более широкое применение получают металлографические исследования с помощью просвечивающих, отражательных, эмиссионных растровых и сканирующих электронных микроскопов, отличающихся конструкцией, способом получения изображения.

разрешающей способностью, требующих различных способов подготовки исследуемого образца.

Получили распространение электронные микроскопы ЭВМ-100Л (максимальное увеличение 400 000 крат), ЭМ114 (максимальное увеличение 100 000 крат), микроскоп В613 чехословацкой фирмы «Тесла». С помощью электронных микроскопов просвечивающего типа невозможно изучить структуру шлифа непосредственно, так как металлический образец «непрозрачен» для электронов. Поэтому приходится прибегать к косвенному методу. В этом случае результаты электронно-микроскопического исследования в значительной степени зависят от качества приготовления специальных объектов — тонких металлических пленок или реплик (слепков) с поверхности шлифа. Методика их приготовления достаточно сложна; она подробно описана в [30, 34, 35].

Растровый электронный микроскоп имеет меньшую разрешающую способность, но позволяет непосредственно наблюдать структуру поверхности объекта без изготовления слепков (реплик) или получения тонких металлических пленок.

Известную сложность представляют собой расшифровка, анализ микрофрактограмм и микроструктур, полученных при больших увеличениях. Разобраться в них помогут специальные и справочные издания [36, 34].

При составлении заключения о причинах разрушения деталей следует иметь в виду, что установление истинных причин разрушения представляет собой довольно сложную задачу. Часто невозможно выделить единственную причину разрушения, связанную только с технологией изготовления (восстановления) или условиями эксплуатации, так как выход деталей из строя часто вызывается одновременным действием нескольких факторов. Поэтому в заключение следует выделить основную причину, вызвавшую разрушение (деформацию) детали и одновременно указать дополнительные, второстепенные причины, способствовавшие разрушению (деформации) детали.

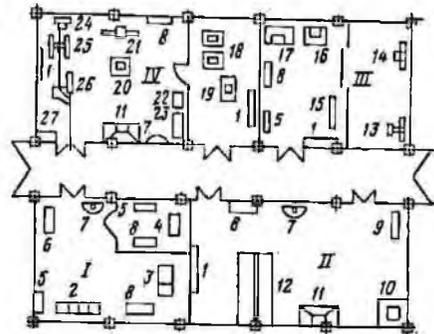
Все исследования, необходимые для разработки новых технологических процессов, внедрения прогрессивных технологий, разработки мероприятий по борьбе с браком, применения новых материалов и сырья, разработки эффективных методов контроля качества изделий, оценки работы технологического оборудования, выполняются в центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ) машиностроительного завода [37].

Непосредственно для исследования вышедших из строя во время эксплуатации деталей машин, составления заключения о причинах их разрушения и для разработки мероприятий по устранению поломок и преждевременного износа деталей необходимо наличие на ремонтно-механическом заводе специализированной лаборатории, показанной на рис. 32. Площадь такой лаборатории составляет примерно 250 м².

В лаборатории целесообразно также иметь следующие переносные приборы для неразрушающего контроля деталей:

Рис. 32. План лаборатории ремонтно-механического завода горного машиностроения;

1—V — отделения металлографии, химического анализа, рентгенодефектоскопии механических испытаний соответственно; 1 — стеллажи; 2 — твердомеры (ТШ, ТК, ЛМТ-3, ТП); 3 — микроскопы (МИМ-7, МБР-1); 4 — стол для проявления фотоэляк; 5 — шкаф; 6 — хранение эксикаторов; 7 — раковина умывальника; 8 — рабочие столы; 9 — стилоסקоп; 10 — термостат; 11 — вытяжной шкаф; 12 — аналитический стол; 13, 14 — рентгеновские передвижной и стационарный аппараты; 15 — пульт управления; 16 — микрофотометр; 17 — дегазоскоп; 18, 19 — машины для испытания на выносливость и на трение соответственно; 20 — универсальная испытательная машина (Р5, УММ-5); 21 — маятниковый копер (КМЗО); 22 — муфельная печь (ПМ-8; МП-2УМ); 23 — шлифовально-полировальный станок (ПСШМ-2); 24 — сверлильный станок; 25 — отрезной и заточный станки; 26 — ножовочная пила; 27 — верстак



магнитный дефектоскоп МД-42К — для обнаружения трещин в зубчатых передачах крупного модуля, выполненных из ферромагнитных материалов. Контроль осуществляется вручную путем сканирования преобразователем по впадине зубчатого колеса; дефектоскоп применяется в реальных производственных условиях без полной разборки зубчатых передач (редукторов) модуля 4.5—8 мм; габариты 300×250×120, масса 8 кг;

измеритель твердости ИТ-IV для экспресс-контроля твердости деталей различных машин. Принцип действия основан на измерении отношения скоростей отскока и падения специального бойка; измеритель позволяет производить контроль в труднодоступных местах на деталях сложной формы; диапазон измерения твердости 10—70 HRC, габариты 220×280×110, масса 3,2 кг;

вихретоковый дефектоскоп ВД-80Н — для выявления поверхностных дефектов на галтельных переходах валов, а также деталей сложной формы; габариты 265×160×80, масса 2,4 кг;

ультразвуковой дефектоскоп УДЦ-100 — для контроля дефектов в сварных изделиях, а также металла поковок и литых, позволяет осуществлять прямое измерение площади дефекта; габариты 250×150×350, масса 9,5 кг;

магнитный толщиномер МТА-2М — для измерения толщины немагнитных покрытий (хром, цинк), нанесенных на ферромагнитную основу; пределы измерения 0—300 мм, масса 0,24 кг;

телеэндоскоп ТА-1 — для обнаружения дефектов в труднодоступных местах (корпуса гидрораспределителей, полости оснований механизированных крепей); масса 38 кг.

В спорных случаях разрушенную деталь можно направить на исследование в лабораторию машиностроительного завода, имеющую электронный микроскоп, микроанализатор и другое специализированное оборудование.

3.3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ О ХАРАКТЕРЕ И ПРИЧИНЕ РАЗРУШЕНИЯ ДЕТАЛИ

Эффективность и своевременность мероприятий по устранению дефектов и предупреждению повреждений и отказов деталей и соответственно повышению надежности очистного оборудования будут зависеть от стройности системы учета и анализа разрушенных деталей. В настоящее время в угольной промышленности такая система начинает создаваться. Заводы угольного машиностроения анализируют причины отказов, если отказ детали случился в период гарантийного срока и шахта поставила в известность завод. Так же поступают и ремонтные заводы.

Отраслевое Положение о планово-предупредительной системе технического обслуживания и ремонта [40] предусматривает следующее.

1. Учет и анализ сведений, содержащих информацию об отказах и неисправностях, должны производить постоянно работники шахт и ремонтных предприятий в соответствии с Классификатором причин простоя и перерывов в работе действующих очистных забоев шахт по добыче угля (сланца) Минуглепрома СССР.

2. Отказы и неисправности, повлекшие unplanned остановку оборудования, подлежат расследованию и учету производственной и энергомеханической службой на всех уровнях.

3. Расследование и учет аварий и вынужденных остановок в работе оборудования на предприятиях, не подконтрольных Госгортехнадзору СССР, должны производиться при простое оборудования различных служб шахт из-за аварий свыше 3 ч, а шахты — свыше 2 ч. Обязательны составление акта с выявлением причин, виновных лиц, а также разработка мероприятий по предотвращению подобного рода аварий комиссией, назначаемой приказом по предприятию. При простое шахты свыше 1 сут или различных служб шахт свыше 3 сут комиссия по расследованию аварии назначается приказом по объединению. Состав комиссии может быть определен по указанию вышестоящей организации. Причины аварий и вынужденных остановок в работе оборудования должны рассматриваться на технических совещаниях шахты (еженедельно), объединения (ежемесячно) с разработкой мер по их предотвращению.

4. Аварии, происшедшие с оборудованием на предприятиях, подконтрольных Госгортехнадзору СССР, должны рассматриваться в соответствии с «Инструкцией по расследованию аварий, не повлекших за собой несчастных случаев на подконтрольных Госгортехнадзору предприятиях и объектах», утвержденной Госгортехнадзором СССР 26 сентября 1957 г. и с «Инструкцией о расследовании и учете несчастных случаев на подконтрольных Госгортехнадзору СССР предприятиях и объектах», утвержденной Госгортехнадзором СССР 21 июня 1967 г. Вышеупомянутый «Отраслевой классификатор причин и простоев в работе действующих очистных забоев шахт ...» кодирует отказы на уровне, как прави-

ло, сборочной единицы, реже детали и редко причину разрушения (всего 8 % закодированных видов отказа). ОСТ 12.44.024—82 предусмотрено, что при использовании изделия по назначению на шахте должны заполняться формы, которые входят в формуляр на машину (приложение 1). В форме 5 необходимо указывать причину неисправности (отказа), продолжительность работы отказавшей составной части; в форме 6 среди прочих данных предусмотрено указывать причину замены и характер повреждения.

Для установления объективных причин повреждения деталей необходимо:

разработать единый классификатор видов повреждений и отказов деталей очистного оборудования и классификатор возможных причин разрушений. При этом указываются наименования детали и разрушенной поверхности. Отсутствие единых классификаторов и наименований разрушенной поверхности приводит к тому, что информация об отказе детали является недостаточно ценной;

установить взаимосвязь между информацией, которая содержится в данных формах, и той, которую получают ремонтные заводы при дефектировке во время капитального ремонта. Это объясняется тем, что в формах 5 и 6 информация в основном охватывает составные части и сборочные единицы, реже детали; а на ремонтном заводе при дефектировке деталей доходят до поверхности и устанавливают вид повреждения поверхности.

установить, кем и на какой стадии должна систематизироваться и обрабатываться информация, содержащаяся в формах 5 и 6, сравниваться с результатами дефектировки деталей при капитальном ремонте очистного оборудования; кем разрабатываться рекомендации по предотвращению преждевременных повреждений, повышению равноресурсности или кратности ресурсов сборочных единиц и составных частей; доводить данные рекомендации и их согласовывать с проектно-конструкторскими организациями и заводами угольного машиностроения;

в формы включать информацию о горно-технологических условиях разрабатываемого пласта, что облегчит расчет фактической работы в МДж, выполненной оборудованием, и последующую оценку удельной работы разрушения рабочих поверхностей деталей.

В некоторых добывающих отраслях промышленности учет и анализ отказов горного оборудования ведут в соответствии с ГОСТ 20307—74 «Система сбора и обработки информации. Донесение об отказе изделия», который регламентирует порядок сбора данных о надежности изделий машиностроения. Опыт апробирования этой системы в п. о. «Белорусский» показал, что она позволяет оперативно и достаточно полно вести учет и анализ надежности оборудования, доходя до рабочей поверхности детали, систематизировать и классифицировать данные по отказам и своевременно разрабатывать рекомендации по повышению надежности машин и механизмов.

Таблица 24
Донесение об отказе №...

Основные сведения	Условия и причина отказа	Цифровой код
Место установки оборудования	Лава 6-го участка	
Наименование оборудования	Комбайн	
Марка (тип)	1К101	131112
Инвентарный номер	17	17
Состояние оборудования (подчеркнуть)	Новое, после капитального ремонта	2
Условия эксплуатации:		
тип пласта	К14	
мощность пласта, м	1,2	1,2
сопротивляемость резанию А, кН/м	116	116
включения, %	—	
Наработка оборудования часа отказ:		
Время:		
календарное, сут	30	30
машинное, ч	155	155
эквивалентное, ч	185	185
Объем добычи, т	10 500	10 500
Внешние проявления и характер отказа	Не работал редуктор режущей части	51
Наименование и номер разрушенной детали	Вал-шестерня 1К101.20.302	
Наименование разрушенной поверхности	Зубья шестерни	
Характер повреждения (отказа) детали	Смятие зубьев	32
Состояние детали (подчеркнуть)	Новая, после восстановления, повторно использованная при ремонте	
Дата установки детали	05.10.83 г.	05.10.83 г.
Наработка детали на отказ:		
дата отказа детали	15.10.83 г.	15.12.83 г.
время:		
календарное, сут	35	35
машинное, ч	180	180
эквивалентное, ч	225	225
Дата и вид последнего планового ремонта	T ₂	T ₂
Ф., и., о. выполнявших ремонт	П. Н. Петров, П. И. Сидоров	11 13 10
Время восстановления работоспособности оборудования, ч	10	10
Причина разрушения детали	Некачественное изготовление	—
Возможный виновник	Завод-изготовитель	
Принятые меры	Замена вала-шестерни, вызов представителя завода	
Донесение составил (ф. и. о., должность, дата)	А. И. Петров (зам. гл. мех.)	16.12.83

Примечание. При выполнении донесения используются отраслевые классификаторы оборудования, предприятий и организаций, причин простоев оборудования и др., разработанные во ВНИИуголь.

В соответствии с данным ГОСТом заключение о характере и предполагаемой причине разрушения детали первоначально составляется механиком горного предприятия, например шахты.

По результатам осмотра разрушенной детали механик должен заполнить «Донесение об отказе» (табл. 24) и зарегистрировать его в журнале «Регистрации донесений об отказах» (приложение 2), если донесение отправляется в производственное объединение. Если же по существующей в бассейне системе шахта направляет донесение об отказе непосредственно заводу-изготовителю или ремонтному заводу, механик шахты заполняет графы 1—9 в журнале «Учет донесений об отказах и причинах разрушений (деформаций)» (приложение 3).

Представляет интерес предложенный главным механиком второго рудника п. о. «Белорусский» А. Д. Карякиным технический паспорт оборудования (приложение 4). Паспорт ведет механик рудника (шахты) и с помощью паспорта можно в любой момент установить, какие детали (сборочные единицы), в каком состоянии и когда были установлены на горно-шахтном оборудовании, а также коды состояния оборудования.

	Код
Новая	Н
Бывшая в употреблении	Б
Годная к повторному использованию	Г
После восстановления	В
Аварийная	А

Донесение об отказе очистного оборудования следует составлять также в случаях, когда при проведении технического обслуживания установлено, что дальнейшая эксплуатация оборудования может привести к отказу.

На отказы оборудования, угрожающие жизни людей или приводящие к большим экономическим потерям, составляют срочные донесения, отличающиеся от приведенных в табл. 24 специальным обозначением, которое представляет собой красную полосу, идущую по диагонали от левого нижнего угла к правому верхнему. Красную полосу на донесении наносят красным карандашом по указанию главного механика шахты. Красная полоса указывает на необходимость срочного оформления и направления донесения для разработки мероприятий по устранению или предупреждению этих отказов.

Срочные донесения на отказы нового оборудования вместе с образцами дефектных деталей должны отправляться немедленно в адрес завода-изготовителя. Донесения на отказы оборудования, в адрес завода-изготовителя. Донесения на отказы оборудования, эксплуатируемого после капитального ремонта, отправляются вместе с образцами дефектных деталей в адрес того ремонтного завода, откуда получено оборудование.

Несрочные донесения на отказы отправляют заводу-изготовителю или ремонтному заводу один раз в месяц (в соответствии с тем, как принято в той или иной добывающей отрасли).

Копии всех донесений остаются на шахте (руднянке).

Донесение об отказе оборудования оформляется шахтой в соответствии с ГОСТ 20307—74 «Система сбора и обработки информации. Донесение об отказе изделия».

При составлении заключения о причинах повреждения или отказа часто подменяют причину отказа его внешним проявлением. Например, при отказе редуктора режущей части механик записывает в журнале «... причина — поломка выходного вала». В данном случае поломка вала — это внешнее проявление отказа, а причина должна была быть установлена при анализе излома и в последующем металлографическом исследовании. Поэтому для обеспечения достоверности и объективности информации, представленной в донесении на отказ очистного оборудования, его должны выполнять лица, прошедшие специальный инструктаж и подготовку. Изучение рекомендаций, изложенных в предыдущих разделах, поможет механику более правильно указывать предполагаемую причину разрушения детали.

По результатам исследования разрушенной детали в лаборатории составляется заключение о причинах разрушения детали (приложение 5).

Лаборатория направляет заключение в отдел главного механика производственного объединения или главному механику шахты (если донесение об отказе и деталь для исследования доставлены с шахты).

По поступлении заключения лаборатории инженер отдела главного механика производственного объединения или механик шахты, направивший детали в лабораторию, заполняют графики 10—13 журнала «Учет донесений».

Заключение металлографической лаборатории вместе с донесением об отказе является основанием для составления акта расследования аварии с очистным горно-шахтным оборудованием (приложение 6) и предъявления иска заводу-изготовителю или ремонтно-механическому заводу; иска рабочим (машинист, гроз, электрослесарь) за некачественную работу.

При предъявлении акта поставщику оборудования рассчитывается ущерб от отказа оборудования в соответствии с методикой Госстандарта СССР [38].

При определении ущерба от отказов учитываются как ущерб, обусловленный простоем оборудования, который несет объединение, так и затраты на замену или ремонт отказавшего устройства.

Под ущербом, обусловленным простоем оборудования, понимается стоимость недополученной продукции в том подразделении, где случился его отказ.

Методика применяется в тех случаях, когда ущерб от отказов может быть оценен в стоимостном выражении.

Средний ущерб от отказа β (руб.) рассчитывается по формуле

$$\beta = C_p + C_{отк}$$

где C_p — средние затраты на ремонт, руб.; $C_{отк}$ — средние потери подразделения от недополучения продукции из-за простоя оборудования, руб.;

$$C_p = \frac{\sum_{i=1}^{N(t_M)} C_{pi}}{N(t_M)}, \quad C_{отк} = \frac{\sum_{i=1}^{N(t_M)} C_{отки}}{N(t_M)}, \quad (55)$$

где $N(t_M)$ — число отказов за t_M .

В расчетах используется время включенного состояния машины.

Затраты на ремонт C_{pi} (руб.), связанные с устранением i -го отказа, составляют

$$C_{pi} = Z + Ц, \quad (56)$$

где Z — зарплата ремонтных рабочих, занятых снятием отказавшей детали (сборочной единицы) и установкой новой детали (сборочной единицы), руб.; $Ц$ — стоимость новой детали (сборочной единицы), руб.

Потери подразделения от недополучения продукции из-за простоя оборудования при i -ом отказе находятся по выражению

$$C_{отки} = t_{к.пр} Q_{ср} q, \quad (57)$$

где $t_{к.пр}$ — календарное время простоя оборудования из-за устранения i -го отказа, ч; $Q_{ср}$ — средняя производительность отказавшего оборудования, т/ч. Если простаивающее оборудование включено в технологическую цепь и из-за него простаивает вся технологическая цепь, то берется средняя производительность технологической цепи; q — цена 1 т продукции, недополученной из-за простоя отказавшего оборудования, руб.

Ущерб от i -го отказа β (руб.) будет

$$\beta_i = C_{pi} + C_{отки}. \quad (58)$$

На основании заключения о причинах повреждения и отказов разрабатываются рекомендации по предупреждению повреждений и отказов на шахте, если они вызваны неправильной эксплуатацией оборудования, или на машиностроительном или ремонтном заводе, если они являются следствием некачественного изготовления или восстановления детали (машины).

Так как машиностроительные и ремонтные заводы располагают более совершенной технической базой для анализа разрушенных деталей, на них должна ложиться основная работа по выявлению и установлению причин разрушения (деформации) деталей. Задачи горного предприятия — получить достоверную информацию о работе машины, провести предварительный анализ разрушенной детали (если это возможно), грамотно заполнить донесение об отказе и отправить его на завод.

Машиностроительным и ремонтным заводам для своих изделий

целесообразно разработать рекомендации по повышению равно-ресурсности или кратности ресурсов деталей, сборочных единиц и составных частей, ресурса машины в целом.

При всем многообразии деталей среди них нужно выделять детали в наибольшей степени лимитирующие ресурс и у этих деталей, в свою очередь, установить рабочие поверхности, также лимитирующие ресурс данной детали. В этом основной путь повышения равноресурсности и надежности горного оборудования.

При учете и анализе отказов и повреждений деталей горного оборудования желательно использовать особенности той или иной добывающей отрасли. Например, в угольной промышленности в каждом бассейне можно выделить ведущие ремонтные заводы, наиболее технически оснащенные и располагающие квалифицированными инженерно-техническими кадрами. Такими заводами могут быть, например, в Донецком угольном бассейне — Рутченковский Горловский и Бряжковский РРЗ; в Карагандинском угольном бассейне — завод РГШО и т. д. Данные предприятия могли бы быть центрами сбора, обработки и анализа информации об отказах деталей и причинах преждевременного разрушения рабочих поверхностей. Именно здесь происходит соединение информации о разрушенных деталях, установленных на горном предприятии, и информации о разрушениях, обнаруженных на ремонтном заводе. На последнем можно установить величину разрушения и рассчитать коэффициенты равноресурсности деталей и сборочных единиц. Ремонтные заводы в состоянии разработать предварительные рекомендации по повышению надежности и равноресурсности очистного оборудования.

Рекомендации, связанные с совершенствованием конструкции и технологии изготовления очистного оборудования, направляются в проектно-конструкторские и технологические организации и машиностроительные заводы по специализации. Данные организации и заводы обобщают рекомендации, разрабатывают и реализуют мероприятия по повышению равноресурсности деталей, сборочных единиц и надежности своих машин. Здесь важно по удельной работе разрушения деталей оценить, насколько предполагаемые технические решения повышают ее величину и на каком уровне данные решения находятся по сравнению с другими отраслями промышленности. Рекомендации ремонтных заводов, связанные с совершенствованием технологии восстановления деталей, реализуются самими заводами и отправляются в донецкий отдел ремонта ВНИИПТуглемаша, который систематизирует данную информацию по типам деталей и видам повреждений и учитывает ее при разработке типовых технологических процессов восстановления. Он же рассылает рекомендации всем ремонтным заводам по повышению равноресурсности восстанавливаемых деталей и надежности отремонтированного очистного оборудования. Лаборатории надежности и ремонта ГШО бассейновых институтов в установленном порядке оценивают фактическую надежность очистного оборудования и уровень его равноресурсности для очистных

механизированных комплексов, машин, составных частей, сборочных единиц и деталей. Данную информацию в установленном порядке доводят до всех заинтересованных организаций и заводов, эти же лаборатории разрабатывают рекомендации по полному использованию ресурса и поддержанию надежности машин на шахтах своего бассейна и доводят до производственных объединений по подземной добыче угля. Они же оказывают помощь по внедрению разработанных рекомендаций.

Повышение надежности и особенно равноресурсности очистного оборудования — комплексная работа, требующая скоординированных усилий ученых, конструкторов, машиностроителей, эксплуатационного и ремонтного персонала.

4. СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ПОДДЕРЖАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ОЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Мероприятия, направленные на предотвращение повреждений и повышение надежности деталей должны предусматриваться и осуществляться на всех стадиях жизни детали: при конструировании, изготовлении, эксплуатации и восстановлении. Большие возможности в этом плане сосредоточены в руках конструктора. Конструктор не только определяет форму детали. Он выбирает материал для ее изготовления и назначает вид обработки, обеспечивающий получение требуемой конструктивной прочности. Решая вопросы обеспечения ремонтной технологичности, равнопрочности и равноресурсности, конструктор постоянно стремится снизить материалоемкость и проектировать детали с заданной долговечностью. Вопросам конструирования и расчета деталей, направленным на повышение их надежности, посвящено большое число работ. Мы рассмотрим более подробно пути повышения надежности деталей и машин очистного оборудования, и предотвращения их разрушений на стадии изготовления, эксплуатации и восстановления.

4.1. ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ

Технологические способы повышения надежности деталей должны предусматриваться на всех стадиях: при производстве заготовок, их механической обработке, термической и упрочняющей обработке деталей.

Значительное повышение надежности деталей может быть достигнуто при комплексном подходе к решению вопроса, заключающемся в разработке и осуществлении мер по предупреждению дефектов на каждой стадии технологического процесса (обеспечение безотказности), а также совершенствовании технологических процессов (обеспечение долговечности).

4.1.1. Предупреждение дефектов

Предупреждение дефектов отливок. При конструировании литой детали следует обеспечить направленное затверждение металла от нижних частей детали к верхним, которые должны питаться металлом из приливов, в противном случае в отливке могут образоваться усадочные раковины.

Для предотвращения газовых раковин в отливках, представляющих собой полости сферической формы, необходимо строго соблюдать технологию заливки форм, обеспечивать достаточный

перегрев сплава, тщательно вентилировать формы и стержни, применять смеси с высокой газопроницаемостью и низкой газотворной способностью.

Для избежания шлаковых раковин — пустот в отливке, заполненных шлаком, необходимо перед заливкой сплава тщательно очищать зеркало металла от шлака, не прерывая струю металла при заливке формы и выдерживать правильное соотношение элементов литниковой системы.

Предотвратить появление земляных раковин — пустот в отливке, заполненных формовочной смесью, располагающихся обычно, как и шлаковые раковины, в верхней части отливки, можно тщательным изготовлением и отделкой формы, так как земляные раковины образуются вследствие частичного разрушения формы или стержня.

Основные средства предотвращения трещин в отливках — правильное конструирование литых деталей с соблюдением плавных переходов от массивных стенок к тонким, обеспечение пониженного содержания серы и фосфора в металле, применение податливых смесей для изготовления стержней и форм для того, чтобы не затормаживать процесс усадки.

Пригар, наросты на поверхности отливок появляются при использовании формовочных смесей с низкой прочностью и газопроницаемостью. Во избежание этих пороков следует тщательно подбирать и контролировать составы формовочных и стержневых смесей.

Недоливы, спай, перекосы предотвращаются строгим соблюдением технологического режима: температуры заливки, применением качественной модельной оснастки и т. д.

Ликвация, или неоднородность химического состава по сечению отливки, проявляется из-за высокой температуры заливки, недостаточного перемешивания жидкого металла перед заливкой.

Предупреждение дефектов поковок. В поковках, штамповках и заготовках, полученных из проката, могут быть дефекты, наследуемые от слитков стали: усадочные раковины, газовые пузыри, трещины, ликвация (химическая неоднородность слитка, особенно по неметаллическим включениям), которые вызывают трещины, расслоение в заготовках. За эти пороки ответственность несет металлургический завод.

По вине прокатки в сортовом металле бывают закаты, заусенцы, неправильный профиль и др. Дефекты проката при использовании его в качестве заготовки под ковку или штамповку ведут к получению негодной поковки.

Таким образом, входной контроль металлопроката на машиностроительном заводе позволит избежать ряда дефектов поковок. Остальные дефекты поковок следует предотвращать в процессе их изготовления:

неполное заполнение ручьев штампа при штамповке появляется как результат заниженной массы заготовки;

чернота на деталях может появиться как следствие от заштампованной окалины на глубину, превышающую припуск, предусмотренный на механическую обработку;

отклонение по геометрическим размерам поковки может быть следствием износа ручьев штампа;

трещины внутри поковок и на поверхности появляются при чрезмерном обжатии заготовок с пониженной температурой из-за малой пластичности металла;

смещение верхней части штампованной поковки относительно нижней появляется из-за нарушения регулировки штампа от сотрясений при работе на штамповочных молотах;

заштамповка окалины в поковку, приводящая к появлению раковин в поковке, происходит из-за плохой зачистки заготовки перед укладкой ее в штамп;

обезуглероживание и перегрев металла заготовки являются следствием нарушения температурного режима нагрева заготовок и приводят к резкому снижению прочностных характеристик металла;

обезуглероживанию способствует длительный нагрев в печах с окислительной атмосферой (применение контактных и индукционных электронагревательных устройств для нагрева заготовок, а также нагрева заготовок в печах с нейтральной или защитной атмосферой в несколько раз снижают потери металла на угар, повышают качество поверхностного слоя и прочностные характеристики поковок).

Предупреждение дефектов сварки. Для предупреждения непроваров — отсутствия сплавления наплавленного металла с металлом изделия — необходимо строго соблюдать режимы сварки и помнить, что применение недостаточного или избыточного тока, малой мощности газовой горелки, слишком быстрое перемещение электрода или горелки по шву приводят к непроварам.

Неправильный подбор режима сварки приводит также к подрезу — углублению вдоль шва на основном металле.

Предотвратить перегрев и пережог металла — местное окисление металла в зоне сварки из-за наличия среды с высокой окислительной способностью — можно, снижая величину тока или мощность газовой горелки, а также повышая скорость перемещения электрода или газовой горелки вдоль шва.

Для предотвращения пористости сварных швов — наличия газовых раковин, свищей — необходимо проверить и снизить, если это необходимо, влажность флюса, удалить ржавчину с поверхности раздела кромок.

Предотвратить трещины, возникающие в металле шва или околошовных зонах, можно путем повышения равномерности нагрева и охлаждения металла и снижения концентрации водорода в швах.

Следует избегать усиления наплавленными элементами растянутых сторон балок, так как сварка увеличивает концентрацию напряжений.

Предупреждение дефектов термической обработки. Образование мягких пятен, получения «пятнистой» и пониженной твердости можно избежать, если в печи поддерживается заданная температура, время выдержки соответствует расчетному и обеспечена требуемая интенсивность охлаждения (достаточно энергичное перемещение детали в охлаждающей жидкости и применение закалочных сред соответствующей способности).

Предотвратить окисление и обезуглероживание поверхности следует применением нагрева в печах с контролируруемыми атмосферами.

Предупредить повышенную хрупкость — дефект, обычно появляющийся в результате закалки от слишком высоких температур, можно обычным контролем за температурой печи.

Причиной пониженной твердости деталей, подвергнутых химико-термической обработке, могут быть как некачественная закалка, так и пониженная концентрация насыщающего компонента в поверхностном слое. В современных термических печах концентрация насыщающего компонента регулируется автоматически. При отсутствии такой регулировки требуется тщательно следить за расходом карбюризатора на протяжении всего процесса. В случае газовой цементации пониженная концентрация углерода в слое может получиться в связи с изменением состава газа-карбюризатора, засорением газопроводов, попаданием кислорода воздуха в печь (подсос) и образованием в печи обезуглероживающего газа CO_2 , снижением температуры в зоне цементации.

Повышенное содержание карбидов, нитридов и особенно их расположение в виде сетки ухудшают вязкость слоя и могут послужить причиной выкрашивания. Во избежание такого дефекта необходимо следить за процессом насыщения; не допускать превышения температуры печи и активности карбюризатора.

Причиной получения недостаточной глубины слоя может послужить пониженная температура в печи, пониженная активность карбюризатора, перегрузка печи деталями, загрузка в печь деталей, покрытых ржавчиной, грязью.

Неравномерность диффузионного слоя может образоваться по причинам неправильной укладки деталей (вплотную), неравномерного нагрева печи, неудовлетворительной циркуляции газов в последней, неправильного и неаккуратного использования защитных паст и засыпок.

Резкое изменение концентрации углерода по глубине слоя приводит к отслаиванию цементованного слоя. Плавное изменение концентрации по глубине слоя может быть достигнуто повышением температуры цементации и применением менее активного карбюризатора.

Дефектом цементации, снижающим усталостную и контактно-усталостную прочность стали, является внутреннее окисление легирующих элементов. Этот дефект возникает во время цементации в том случае, если в поверхностный слой проникает кислород и окисляет легирующие элементы стали.

Таблица 25

Рекомендуемые способы деформационного упрочнения деталей горных машин

Способ упрочнения	Область применения	Режим упрочнения	$\sigma_{пр}$, МПа
Наклеп дробью	Рессоры, пружины (HB 350...400) Зубчатые колеса с модулем 3—6 мм (HRC 56...60) Крупномодульные зубчатые колеса (HRC 56...60)	Скорость потока дробин 54 м/с; расход дробин 80—100 кг/мин, диаметр дробин 0,6—0,8 мм, время наклепа 1,5—2 мин	1200
		Скорость потока дробин 80 м/с; расход дробин 100—120 кг/мин, диаметр дробин 0,8—1,2 мм, время наклепа 2,5—3 мин	1380
Чеканка роликом	Крупномодульные зубчатые колеса (HRC 58...62)	Энергия удара 12 Дж; диаметр ролика 50 мм, профильный диаметр ролика 12 мм, число проходов 1—3	1600
Обкатывание роликом	Валы, оси, штоки HB < 350	Усилie обкатывания 5000 Н, диаметр ролика 50 мм, число проходов 1—3	1200

Закалка цементованных деталей с пониженных температур может привести к наличию феррита в сердцевине, в этом случае в процессе эксплуатации цементованный слой будет продавливаться и детали выйдут из строя при нагрузках, ниже расчетных.

Наличие грубоигольчатого мартенсита и большого количества аустенита в поверхностном слое свидетельствует о повышенной температуре закладки и об отсутствии промежуточного высокого отпуска стали перед закалкой. Такие структуры недопустимы для деталей, работающих при ударных нагрузках.

Одними из эффективных методов снижения количества остаточного аустенита, получения мелкоигольчатого мартенсита в поверхностных и подповерхностных слоях деталей и, как следствие этого, повышения долговечности деталей за счет появления остаточных сжимающих напряжений, повышения прочности слоя являются методы поверхностного пластического деформирования (ППД), такие как наклеп дробью, упрочняющая чеканка, обкатывание роликами.

При упрочнении деталей данными способами приведенные рабочие напряжения $\sigma_{пр}$ в зоне контакта могут составлять 1200—1600 МПа (табл. 25). Это приводит к изменению свойств микроструктуры поверхностного слоя. Например, при упрочнении образцов цементованной стали 20X2H4A содержание остаточного аустенита в поверхностном слое уменьшилось с 45 до 20 %, микротвердость увеличилась на 30—40 %. В поверхностном слое были за-

фиксированы сжимающие остаточные напряжения 900—1200 МПа. Стендовые испытания зубчатых колес комбайна 2К52 на гидроресурсоре, проведенные совместно с ИГД им. А. А. Скочинского, показали, что после упрочнения долговечность колес при изгибе увеличилась в 1,2—5,2 раза.

Весьма распространенным дефектом термообработки является коробление деталей. Но этот дефект уменьшается целым комплексом мероприятий, он рассмотрен ниже.

Предупреждение коробления в процессе термической обработки и доводки деталей. Проблема снижения коробления деталей (изменения их размеров и формы) в процессе термической обработки весьма актуальна в горном машиностроении, так как надежность машин существенно зависит от точности деталей и постоянства их размеров в процессе эксплуатации. Так, коробление зубчатых колес ведет к смещению пятна контакта в зацеплении и, как следствие, к увеличению давлений на поверхности, росту износа, снижению контактной прочности.

Коробление, превышающее величину припуска на последующее шлифование, приводят к браку, а повышенные припуски на механическую обработку деталей увеличивают расход металла и общий объем механической обработки. Сокращение припуска на окончательную доводку деталей, подвергаемых химико-термической обработке, важно и для повышения их долговечности и качества, так как в процессе шлифования часто происходит удаление поверхностного наиболее прочного и износостойкого слоя.

Коробление термообработанных деталей может возникнуть при последующих технологических операциях, например шлифовании, при длительном вылеживании или в условиях эксплуатации, что также в конечном счете снижает качество деталей.

Мероприятия, направленные на снижение коробления деталей должны осуществляться на следующих стадиях производственного процесса: конструирование деталей, предварительная термическая обработка, окончательная термическая обработка, доводка термообрабатываемых деталей до заданной точности.

Следует отметить, что в большинстве случаев при изготовлении точных деталей меры по снижению их коробления необходимо принимать на всех указанных стадиях производства, а не на какой-либо одной.

Уменьшение коробления деталей можно предусмотреть при конструировании путем рационального выбора: конструктивных форм детали; конструктивных решений, допускающих исключение термической обработки на машиностроительном заводе (например, применением термоупрочненного проката, местного упрочнения); материала и метода упрочнения.

Выбор конструктивных форм. Имеются две основные возможности, позволяющие достичь максимальную точность после термической обработки: конструктивное усиление или ослабление различных участков детали и выбор исходных размеров с учетом коробления при термической обработке.

Общие рекомендации по получению рациональной, с точки зрения термической обработки, конструкции детали заключаются в следующем: нужно избегать больших перепадов толщины в одном и том же сечении, не должно быть сопряженных элементов с резко различным соотношением площадей поверхности и объемов; нежелательны массивные консольные выступы и тонкие перемычки; сопряжение элементов детали должно осуществляться плавными радиусами.

При конструировании деталей целесообразно введение технологических припусков — утолщение стенок при резко выраженной разностенности деталей, технологических разъемов и перемычек.

Часто на практике определяют заранее преимущественное направление деформаций при термической обработке и в процессе предшествующей механической обработки предусматривают намеренное отклонение от чертежных размеров по ряду поверхностей. Однако величины преднамеренного изменения чертежных размеров строго индивидуальны для каждого способа и режима термообработки, материала и конфигурации детали, поэтому в каждом конкретном случае такие методы могут быть применены лишь после тщательного эксперимента.

Применение термоупрочненного проката. В настоящее время с помощью устройств для охлаждения проката, снижения колебаний температуры конца прокатки и внедрения в практику прокатных цехов новейших результатов исследований по теории термической обработки и деформации сталей удалось существенно расширить сортамент термоупрочняемого проката.

Применение термоупрочненного проката там, где это допускают условия эксплуатации деталей, позволяет отказаться от термической обработки на машиностроительных заводах.

Выбор материала и метода упрочнения. Окончательная величина коробления при термической обработке в значительной степени зависит от химического состава, прокаливаемости, исходной структуры и других факторов, характеризующих материал, из которого изготовлена деталь.

Для точных деталей рекомендуется применять легированные стали с низкими значениями критических скоростей закалки. Для деталей, подвергаемых химико-термической обработке, целесообразны стали, у которых необходимые прочностные характеристики могут быть обеспечены при меньшем числе нагревов. Так, если позволяют условия эксплуатации, целесообразно заменять стали марок 12ХНЗ, 12Х2Н4А на стали марок 25ХГМ, 25ХГНТР, 20ХГНМТ, так как последние не требуют дополнительного нагрева под закалку и промежуточного высокого отпуска.

Особое внимание при выборе марки стали следует обращать на ее прокаливаемость. Например, пониженная прокаливаемость стали марки 25ХГНМАЮ способствует снижению коробления деталей при термической обработке. С уменьшением прокаливаемости уменьшается доля объема детали, где происходят структурные изменения. Соответственно уменьшается и доля структурных на-

пряжений, что в результате приводит к снижению коробления.

Следует, однако, учитывать, что снижение прокаливаемости можно считать оправданным только с учетом требований к деталям, предъявляемых условиями эксплуатации. Очень часто сквозная прокаливаемость детали оказывается необходимой.

В любом случае применение сталей с узкими полосами прокаливаемости способствует получению постоянных значений деформации конкретных деталей, а уменьшение разброса по короблению ограничивает направления поиска других факторов, влияющих на него.

Большое влияние на величину коробления оказывает способ выплавки стали. Так, применение технологии выплавки стали 25ХГТ в электродуговых печах с ковшовым вакуумированием и электромагнитным перемешиванием позволило сузить допуск на термическое коробление шестерен примерно на 15—20 %.

Однако при выборе материала конструкторам зачастую приходится в большей степени ориентироваться на прочностные и пластические характеристики. Далекое не всегда удается снизить коробление за счет рациональной конструкции, так как часто создать идеальную с точки зрения термистов форму детали просто невозможно в современных машинах.

Таким образом, конструктивные мероприятия, снижающие коробление, довольно ограничены, и термистам приходится максимально использовать технологические возможности в процессе предварительной и окончательной термической обработки.

Предварительная термическая обработка. Из всех известных видов предварительной термической обработки наименьшее коробление окончательно обработанных деталей обеспечивает изотермический отжиг. Этому особенно способствует ускоренное охлаждение от температуры аустенитизации при отжиге до температуры 700—500 °С (например, душирование водой). Полезно также применять ускоренное охлаждение послековки, штамповки до указанных температур с последующим использованием остающейся теплоты для экономичного нагрева на изотермический отжиг или нормализацию. Такой режим рекомендует В. Д. Кальнер для цементуемых сталей марок 30ХГТ, 25ХГТ, 25ХГНМАЮ и др. Нельзя, однако, применять ускоренное охлаждение до изотермической выдержки для высоколегированных хромоникелевых сталей марок 18Х2Н4ВА, 20Х2Н4А, так как при такой обработке в этих сталях могут образоваться структуры, затрудняющие последующую механическую обработку. С целью улучшения обрабатываемости на станках стали этих марок подвергают нормализации с высоким отпуском 650 °С; ускоренное охлаждение (подстукивание) для них проводится только до температуры нормализации.

Окончательная термическая обработка. Основные методы уменьшения коробления при окончательной термической обработке:

снижение температуры процесса;

создание оптимальных условий закалочного охлаждения (выбор охлаждающих сред, замена объемной закалки поверхностной); применение средств принудительного фиксирования формы детали при закалке и отпуске (использование повышенной пластичности стали при фазовых превращениях);

использование приспособлений при нагреве деталей и различных технологических приемов при закалке.

Известно, что применение среднетемпературной нитроцементации (830—870 °С) вместо цементации существенно уменьшило коробление деталей благодаря снижению температуры и длительности процесса. Однако нитроцементации не рекомендуется подвергать детали, у которых глубина диффузионного слоя должна быть более 1 мм.

При азотировании детали имеют меньшее коробление, однако и в этом случае оно неизбежно, что связано с природой азотированного слоя. Размеры детали в среднем увеличиваются на 4—6 % глубины упрочняемого слоя.

Меньшее коробление наблюдаются у деталей, подвергаемых тонкому азотированию (азотирование в тлеющем разряде) или низкотемпературной нитроцементации (550—600 °С) в газовых средах.

Доводка деталей до заданной точности. Для осевых деталей наиболее распространенный способ исправления коробления, полученного в процессе термообработки, — механическая правка на правильных прессах различных типов с установкой детали в центрах и на специальных призмах.

При обычно применяемой правке изгибом местная пластическая деформация достигает 20—45 %. Однако имеются данные, что при двукратных перегибах и степени деформации около 20 % статическая прочность понижается примерно на 35 %, а предел выносливости — на 50—60 %, поэтому необходимо принимать все меры к предупреждению и исключению процесса холодной правки.

Последние исследования показали, что упрочнение осевых деталей дробью после правки дает возможность существенно уменьшить вредное влияние правки, повысить ресурс деталей, подвергнутых правке, в 2—3 раза или снизить металлоемкость на 5—8 % уменьшением рабочих сечений при сохранении существующего запаса по долговечности.

Практика показывает, что правку осевых деталей больших сечений, подвергаемых химико-термической обработке, целесообразно проводить непосредственно после закалки, не подвергая детали отпуску. Для уменьшения напряжений, особенно у деталей высокой точности, правку следует вести в условиях интенсивных структурных превращений. Сочетание правки с отпуском позволяет получать меньшие остаточные напряжения в стали по сравнению с правкой отпущенной стали.

Коробление может возникнуть также и в результате шлифования деталей. При обработке деталей абразивным инструментом остаточные напряжения возникают главным образом вследствие

локальных разогревов поверхности. Уровень остаточных напряжений может быть снижен благодаря повышению скорости шлифования, уменьшению глубины резания, применению смазочно-охлаждающих жидкостей, улучшающих теплоотвод и снижающих трение в процессе резания. Уровень остаточных напряжений практически не зависит от поперечной подачи инструмента относительно шлифуемой детали.

Схема закрепления детали при обработке оказывает существенное влияние на распределение остаточных напряжений. Установка детали на магнитной плите позволяет получить более благоприятное распределение остаточных напряжений, чем при шлифовании деталей, зажатых, например, в машинных тисках. Это учитывают при проектировании приспособлений для шлифования.

Регулирование остаточных напряжений в процессе доводки деталей до заданной точности и шероховатости может быть осуществлено:

подбором режимов шлифования, инструмента (алмазные и эльборовые круги дают лучшие результаты вследствие их высокой режущей способности и теплопроводности);

введением промежуточного отпуска перед чистовым шлифованием;

разработкой режимов и методов поверхностного пластического деформирования и электромеханического упрочнения, позволяющих в ряде случаев отказаться от шлифования.

На практике наиболее эффективным может оказаться любой из описанных выше методов снижения коробления.

Предупреждение дефектов механической обработки. Дефекты механической обработки проявляются в нарушении точности и шероховатости поверхности деталей. Нарушение точности проявляется в погрешности геометрических размеров, формы и взаимного расположения поверхностей. Погрешности геометрических размеров особенно опасны в местах концентрации напряжений (галтель, радиус закругления у дна шпоночной канавки и форма выхода канавок, подрез ножки зуба и т. д.), так как они снижают усталостную прочность детали. Например, шпоночная канавка, выполненная дисковой фрезой, заканчивается плавным выходом, а профрезерованная торцевой фрезой имеет резкий (ступенчатый) выход [28]. Эффективный коэффициент концентрации напряжений для валов со шпоночной канавкой, выполненной торцевой фрезой, на 20—30 % выше, чем для валов со шпоночной канавкой, полученной дисковой фрезой. Соответственно усталостная прочность последних выше.

Погрешности формы и взаимного расположения поверхностей приводят к нарушению контакта (особенно в конических зубчатых передачах) и повышенным ударным нагрузкам и, как следствие, сокращают ресурс деталей. Здесь не рассматриваются случаи ухудшения функционирования машины или механизма.

Отклонения шероховатости поверхности особенно нежелательны в местах концентрации напряжений и контакта рабочих по-

верхностей. При грубой шероховатости ($R_z > 40 \dots 80$ мкм) величина рабочих напряжений в концентраторах увеличивается на 5—12 %; площадь контакта уменьшается на 8—25 % по сравнению с поверхностями, имеющими шероховатость в пределах $R_a = (0,63 \dots 2,5)$ мкм.

Предупреждение дефектов гальванических покрытий. Основными дефектами гальванических покрытий, влияющих на долговечность горно-шахтного оборудования, являются трещиноватость и отслаивание. Трещиноватость покрытия вызывается повышенной хрупкостью из-за высокой твердости, отслаивание — из-за некачественной подготовки поверхности перед покрытием. Перед электролитическим хромированием и цинкованием шероховатость покрываемой поверхности деталей должна соответствовать $R_a = 2,5 \dots 0,63$ мкм; покрываемые поверхности должны проходить хорошее обезжиривание, подвергаться перед покрытием анодному декапированию (для хромирования). Твердость хромовых покрытий, выступающих в качестве антикоррозионных, должна находиться в пределах $H_{100} 600 \dots 700$.

После гальванического процесса с целью удаления водорода и снижения водородной хрупкости детали целесообразно нагревать до температуры 120—150 °С и выдерживать в течение 25—35 мин.

Предупреждение дефектов сборки. При сборке основное внимание необходимо уделять правильной укладке валов, сборке подшипников качения и скольжения, зубчатых пар, селективной сборке гидропар, притирке клапанов. Сборка должна обеспечивать расчетные зазоры, натяги, отклонения, которые оговорены технической документацией на машину.

4.1.2. Совершенствование технологических процессов

Основные направления совершенствования технологических процессов, обеспечивающие повышение надежности деталей на стадии изготовления, приведены в табл. 26 (составлены с учетом опыта передовых отечественных и зарубежных машиностроительных предприятий и фактически сложившейся технологии на заводах угольного машиностроения).

Наряду с повышением качества и долговечности приведенные мероприятия и технологические процессы обеспечивают экономию энергоресурсов, материалов в народном хозяйстве и высвобождение людей.

4.2. ПОДДЕРЖАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ОЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Надежность очистного оборудования закладывается в процессе проектирования, реализуется в металле при изготовлении, контролируется при испытаниях и поддерживается в эксплуа-

Основные направления комплексного повышения надежности деталей при изготовлении очистного оборудования

Стадии жизненного цикла изделия	Перспективные материалы и процессы	Ожидаемая эффективность
<p>Конструирование (выбор материалов)</p>	<p>Применение особо высококачественных сталей для наиболее нагруженных деталей типа зубчатых колес, валов-шестерен: сталей электрошлакового переплава (ЭШП), рафинированных синтетическими шлаками, сталей вакуумно-дугового переплава (ВДП); низколегированных качественных сталей взамен сталей обыкновенного качества для оснований и перекрытий механизированных крепей, желобов конвейеров; вагонок и др.</p>	<p>Повышение пределов прочности и текучести, снижение хрупких поломок Предель выносливости стали при ЭШП и ВДП повышается на 20—30 %</p>
<p>Изготовление: производство отливок</p>	<p>Литье в формах, изготовленных прогрессивными методами улучшения (на автоматических формовочных линиях) Литье с применением стержней, изготовленных по горячей осалке</p>	<p>Снижение брака на 10 %</p>
<p>кузнечно-штамповочное производство</p>	<p>Горячая штамповка конических шестерен с формообразованием зубьев Горячее накатывание цилиндрических зубчатых колес Изготовление шестерен, звездочек и шлицевых валов методом накатывания в горячем и холодном состоянии Безотходное холодное формообразование взамен резания (высадка, холодное выдавливание и др.)</p>	<p>Повышение долговечности на 15 % То же, на 10 % * на 20 %</p>
<p>термическая и химико-термическая обработка</p>	<p>Цементация и нитроцементация со ступенчатым повышением углеродного потенциала на существующем оборудовании (по рекомендациям НИИТавтропрома) Изотермический отжиг поковок Автоматические линии химико-термической обработки</p>	<p>Повышение прочности на 10—20 % Повышение долговечности на 20 % Снижение коробления деталей повышением уровня качества по точности Повышение уровня качества по составу и свойствам, повышению производительности труда</p>

Стадия жизненного цикла изделия	Перспективные материалы и процессы	Ожидаемая эффективность
поверхностное пластическое деформирование	Оснащение термического оборудования приборами автоматического регулирования состава газа Разработка автоматизированных комплексов для химико-термической обработки с управлением процессом от мини-ЭВМ Применение для всех деталей, испытывающих знакопеременные циклические нагрузки, деформационного упрочнения	То же → Повышение долговечности в 1,2—7,5 раза, усталостной прочности — на 7—25 % Повышение долговечности на 5 %
механическая обработка	Автоматические линии механообработки. Специальные металлорежущие станки Лазерная обработка деталей — сварка Лазерная термообработка Лазерная обработка — раскрой листовых материалов	→ Увеличение точности раскроя в 2 раза Повышение долговечности на 0,5 % То же на 3 %
Процессы сборки	Обеспечение слесарно-сборочным пневмоинструментом и электронным инструментом Обеспечение сборочным автоматизированным и механизированным оборудованием Электроосаждение лакокрасочных покрытий	Повышение уровня качества покрытий То же
Окрасочное и гальваническое производство	Применение новых антикоррозионных материалов — пластизолов, составов для обезжиривания, фосфатирования и др. Газотермическое и ионно-вакуумное	Повышение долговечности в 2 раза Снижение рекламаций на 20 % (повышение надежности)
Напыление	Создание автоматизированного оборудования (автоматы и полуавтоматы для неразрушающего контроля, системы активного контроля, автоматы и полуавтоматы для измерения линейно-угловых величин и т. д.)	
Процессы контроля		

тации путем соблюдения требований нормативно-технической документации.

По данным института ДонУГИ, за период 1978—1980 гг. отказы наблюдаемого очистного оборудования распределялись по причинам: организационные недостатки—34—38 %; несоблюдение правил использования, технического обслуживания и ремонта—48—56 %; конструктивные недостатки, дефекты изготовления—10—14 %.

В соответствии с ОСТ 12.44.024—82 «Изделия угольного машиностроения. Порядок разработки эксплуатационных документов» совместно с изделием поставляется руководство по эксплуатации, которое наряду с другими разделами включает раздел «Регламент технического обслуживания, планового текущего ремонта и устранение возможных неисправностей и отказов».

Подраздел «Техническое обслуживание, плановый текущий ремонт и устранение возможных неисправностей и отказов» оформляется в виде технологической карты, которая включает в себя нормативы на все виды технического обслуживания (ежесменное, ежесуточное, еженедельное и т. д.), плановые и неплановые текущие ремонты. Ниже в качестве примера приведен перечень работ по ежесменному техническому обслуживанию для комбайна 1ГШ68Е, которое заключается в проверке: состояния тяговой цепи; надежности закрепления предохранительного каната; состояния и надежности крепления крышек взрывобезопасных камер блока электрооборудования; работоспособности гидросистемы механизма подачи; работоспособности гидросистемы гидродомкратов; состояния наружной оболочки кабеля; состояния соединителя; наличия и состояния резцов на спиралах шнеков; состояния и работоспособности оросительного устройства, а также фильтра оросительного устройства комбайна.

Против каждой операции указывается профессия и число исполнителей, необходимых для выполнения операции, и продолжительность выполнения последней. Всего технологическая карта имеет семь колонок (граф).

Выполнение требований руководства по эксплуатации и другой нормативно-технической документации обязательно.

В условиях реальной эксплуатации оборудования уровень надежности зависит от качества и периодичности выполнения операций технического обслуживания, соблюдения режимов работы, своевременного ремонта или замены сборочных единиц, ресурс которых исчерпан.

О существенности влияния уровня эксплуатации на надежность свидетельствуют данные (см. табл. 16), из которых следует, что при соблюдении правил эксплуатации расход запасных частей в 3,5 раза ниже, чем при эксплуатации с отступлением от правил.

По данным Гипроуглемаша, использование очистного оборудования в условиях, соответствующих его технической характеристике, и выполнение полного объема работ по ТО и ТР, предусмотренного технологической картой, позволяют снизить частоту от-

казов по сравнению с условиями работы и ремонта, отличными от нормативных, более чем в 1,35 раза.

Таким образом, правильная эксплуатация оборудования позволяет эффективно реализовать заложенный в конструкции уровень надежности и снизить скорость исчерпания ресурса оборудования.

4.3. РАСЧЕТ СТРУКТУРЫ РЕМОНТНОГО ЦИКЛА ОЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Поддержание надежности очистного оборудования в эксплуатации, как было указано выше, во многом зависит от своевременного выполнения работ по техническому обслуживанию и текущему ремонту, которые должны быть увязаны с фактическим техническим состоянием оборудования.

Однако, как показывает практика функционирования системы технического обслуживания и ремонта подвижных средств по состоянию, диагностированию подвергают в первую очередь жизненно важные для данных средств составные части и сборочные единицы, для которых применение средств технической диагностики возможно. Но даже в этих случаях находит применение сочетание стратегий технического обслуживания и ремонта по ресурсу и по состоянию: стратегию технического обслуживания и ремонта после наступления отказа машины стараются исключать из практики эксплуатации. Стратегия технического обслуживания и ремонта машин по ресурсу базируется на месячных и годовых графиках планово-предупредительного ремонта, в основе которых лежат структуры ремонтного цикла эксплуатируемых машин и механизмов.

Для очистного оборудования в настоящее время основной является стратегия технического обслуживания и ремонта по ресурсу, хотя Положение о планово-предупредительной системе технического обслуживания и ремонта [40] разрешает обслуживать данное оборудование по его фактическому техническому состоянию. Однако пока в отрасли не разработаны надежные методики и технические средства диагностики для очистного оборудования, и оценка фактического технического состояния машины и механизмов во многом зависит от подготовленности машинистов, дежурных и ремонтных электрослесарей, механиков.

Поэтому вопрос совершенствования методов расчета структуры ремонтного цикла горно-шахтного оборудования, включая очистное оборудование, продолжает оставаться актуальным. Чем точнее структура ремонтного цикла учитывает свойства эксплуатируемого оборудования и режим его работы, тем больше эффективность выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту.

До 1981 г. ремонтный цикл очистного оборудования (наработка до первого капитального ремонта или между двумя капитальными ремонтами) и межремонтные периоды (наработка между двумя плановыми одноименными ремонтами) назначались по машинному времени (рис. 33, а); после 1981 г. для того же оборудования ре-

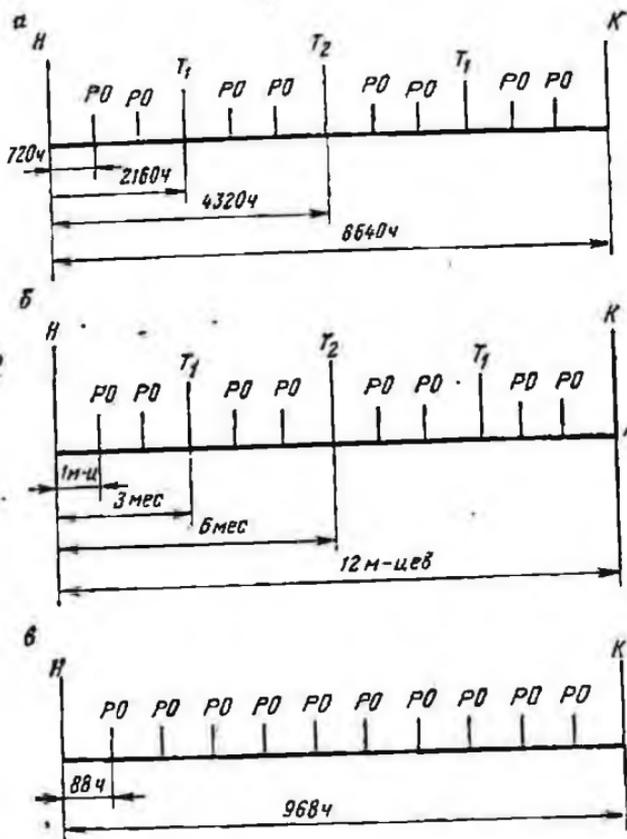


Рис. 33. Структуры ремонтного цикла очистных комбайнов

монтажный цикл и межремонтные периоды стали назначаться по календарному времени (рис. 33, б). В обоих случаях виды и количество плановых текущих ремонтов для одних и тех же машин практически не изменились.

За период 1965—1981 гг., т. е. за время действия Положения о плано-предупредительном ремонте оборудования и транспортных средств угольной и горнорудной промышленности [41], мощность электропривода и производительность очистного оборудования возросли в 1,3—2,2 раза; усложнились и постоянно усложняются условия эксплуатации данного оборудования. С 70-х годов на угольных шахтах внедряются вычислительная техника и технические средства учета машинного времени очистного оборудования (очистных комбайнов и на некоторых шахтах проходческих комбайнов). Разрабатываются и внедряются в отрасли технические средства, позволяющие оценивать нагруженность оборудования. Известно (см. гл. 1), что оценка наработки машины по календарному времени, особенно для высоконагруженного очистного оборудования (очистные комбайны, забойные конвейеры), дает

Большой разброс значений, чем оценка по машинному времени. Это приводит к тому, что часто дата ремонта не совпадает с состоянием очистного оборудования, месячные и годовые графики ППР не отражают реального технического состояния оборудования.

Оптимальную структуру ремонтного цикла можно получить, применяя методы комбинаторного анализа и выбирая требуемую структуру из конечного множества всевозможных структур по минимуму удельных затрат на обязательные и плановые работы по техническому обслуживанию и текущему ремонту и затрат, вызванных простым оборудованием в ремонте и при внезапных отказах.

При планировании ремонтов очистного оборудования приходится иметь дело с машинами, наработку которых целесообразно, как было показано ранее, оценивать по эквивалентному времени.

Контролируя наработку очистного оборудования по эквивалентному времени и применяя методы комбинаторного анализа, можно получить динамические структуры ремонтного цикла, в которых меняется состав работ по техническому обслуживанию и текущему ремонту и периодичность их проведения в зависимости от свойств оборудования и условий его работы.

При расчете динамической структуры ремонтного цикла группирование и периодичность работ относятся только к техническому обслуживанию и текущим ремонтам. Периодичность капитальных ремонтов очистного оборудования устанавливается исходя из теории старения машин.

Все множество работ по техническому обслуживанию и текущему ремонту очистного оборудования (множество M) можно разделить на два подмножества M_1 и M_2 . В подмножество M_1 входят обязательные работы, т. е. связанные с безопасной работой очистного оборудования и предотвращением внезапных отказов. Эти работы предписываются заводом-изготовителем и проводятся с назначенной периодичностью [40]: ежесменные работы (ТО-1), ежесуточные (ТО-2); еженедельные (ТО-3). В подмножество M_2 входят работы, оптимальную периодичность которых можно находить по экономическому критерию. Они в основном связаны с заменой деталей, сборочных единиц и составных частей очистного оборудования. В настоящее время [40] такие работы рекомендуется выполнять при текущих ремонтах (РО, T_1 , T_2 , T_3 и т. д.).

Работы подмножества M_2 по срокам и объемам необходимо планировать так, чтобы минимальная периодичность текущих ремонтов была не больше наработки быстроповреждаемой детали или сборочной единицы. Учитывая, что текущий ремонт очистного оборудования сводится к замене отдельных сборочных единиц или составных частей машин и механизмов или их регулировке, оценивается наработка этих быстроповреждаемых сборочных единиц или составных частей. Объемы работ по текущему ремонту, которые входят в подмножество M_2 , по трудоемкости составляют 60—70 % общей трудоемкости текущих ремонтов.

Ранее было доказано (см. гл. 1), что критерий наработки очистного оборудования по эквивалентному времени ($t_{\text{экр}}$) наиболее объективен и из него для любых групп деталей и сборочных единиц можно вывести критерий наработки по календарному и машинному времени.

Принимая во внимание условие (20) и учитывая, что эквивалентное время является функцией машинного времени и энергии, расходуемой на повреждение деталей, можно записать условие безотказной работы очистного оборудования:

$$t_{\text{экр}_1} \leq t_{\text{экр}_n} \quad \dots \quad (59)$$

где $t_{\text{экр}_1}$ — текущее эквивалентное время наработки очистного оборудования, ч; $t_{\text{экр}_n}$ — эквивалентное время наработки на отказ быстроповреждаемой сборочной единицы или составной части очистного оборудования, ч.

Любой плановый текущий ремонт очистного оборудования включает несколько регламентированных форм, каждая из которых выполняется с собственной периодичностью. При расчете динамической структуры ремонтного цикла очистного оборудования принимаются условия, сформулированные в [42]:

минимальные убытки от простоев машин обеспечиваются, если периодичность принимаемой формы ремонта является наименьшим общим кратным всех последующих форм;

допускается, что на практике техническое обслуживание или текущий ремонт всегда могут выполняться точно в моменты, определяемые расчетом.

В соответствии с первым условием можно записать:

$$t_{\text{экр}_1} = \frac{1}{q_1} \cdot t_{\text{экр}_2} = \frac{1}{q_1 q_2} t_{\text{экр}_3} = \dots = \\ = \frac{1}{q_1 q_2 \dots q_{n-1}} t_{\text{экр}_n}, \quad q_i = 1, 3, 5, 7 \dots \text{ или } 2, 4, 6, 8 \dots \quad (60)$$

Возможное количество структур ремонтного цикла и видов текущих ремонтов определяется из канонического разложения частного p_i отношения наработки базовой сборочной единицы или составной части ($t_{\text{экр}_б}$) к наработке быстроповреждаемой сборочной единицы или составной части ($t_{\text{экр}_п}$), т. е.

$$p_i = \frac{t_{\text{экр}_б}}{t_{\text{экр}_п}} = y_1^{\alpha_1} y_2^{\alpha_2} \dots y_n^{\alpha_n}, \quad (61)$$

где y_1, y_2, \dots, y_n — основания канонического разложения; $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ — показатели канонического разложения, причем $y_1, y_2, \dots, y_n; \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ — натуральные числа.

Величина $t_{\text{экр}_б}$ устанавливается при проектировании очистного оборудования. Например, для новых очистных комбайнов, как было указано ранее (см. гл. 1), $t_{\text{экр}_б}$ при $P_{\text{вк}} = [P_p]$ рассчитыва-

Таблица 27

Матрица перестановок канонического разложения частного, получаемого от деления наработки базовой сборочной единицы на наработку быстроповреждаемой сборочной единицы

Номер структуры ремонтного цикла	Номер перестановки			
	первый	второй	третий . . .	n-ый
1	y_1	y_2	$y_3 \dots$	y_n
2	y_2	y_1	$y_3 \dots$	y_n
...
k	y_n	y_{n-1}	$y_{n-2} \dots$	y_1

ется по зубчатым колесам и подшипникам качения, или устанавливается при наблюдениях; значения $t_{экр.п}$ устанавливаются при наблюдениях или по аналогам — деталям (сборочным единицам) [15].

Зная величину α_i из (61), рассчитывают возможное число структур ремонтного цикла очистного оборудования ($N_{стр}$) и максимальное число форм ремонтов (N_{Φ}) [42]:

$$N_{стр} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i!}{\alpha_1! \alpha_2! \dots \alpha_n!}; \quad (62)$$

$$N_{\Phi} = \sum_{i=1}^n \alpha_i + 1. \quad (63)$$

Для определения возможных структур ремонтного цикла и межремонтных периодов по каждой структуре основания канонического разложения записываются в матрицу перестановок (табл. 27).

Таблица 28

Кратности межремонтных периодов динамической структуры ремонтного цикла очистного оборудования

Номер структуры ремонтного цикла	q_1	q_2	$q_3 \dots$	q_n
1	1	y_1	$y_1 y_2 \dots$	$\prod_{i=1}^n y_i$
2	1	y_2	$y_2 y_3 \dots$	...
3	1	y_3	$y_3 y_4 \dots$	...
...
k	1	y_n	$y_n y_{n-1} \dots$	$\prod_{i=1}^n y_i$

Таблица 29

Периодичность и формы ремонтов очистного оборудования

Номер структуры ремонтного цикла	Периодичность ремонтов				Капитального	Суммарные затраты, руб.
	Текущие					
	Формы ремонта					
первая	вторая	...	n-1-ая			
1	$t_{экр.п}$	$t_{экр.п} \cdot q_2$	...	$t_{экр.п} q_{n-1}$	$t_{экр.п} q_n$	$C_{\Sigma 1}$
2	$t_{экр.п}$	$t_{экр.п} \cdot q_2$	...	$t_{экр.п} q_{n-1}$	$t_{экр.п} q_n$	$C_{\Sigma 2}$
...
k	$t_{экр.п}$	$t_{экр.п} \cdot q_2$	...	$t_{экр.п} q_{n-1}$	$t_{экр.п} q_1$	$C_{\Sigma k}$

причем число строк матрицы равно числу структур ремонтного цикла. Путем последовательного перемножения оснований канонического разложения находят кратности для межремонтных периодов (табл. 28).

Соответствующая периодичность выполнения каждого вида ремонта определяется путем умножения $t_{экр.п}$ на q_i ($i=1, 2, 3, \dots, n$) (табл. 29).

Из множества структур ремонтного цикла принимается та, при которой суммарные затраты C_{Σ} (руб.) на техническое обслуживание и ремонт с учетом убытков от простоев, будут минимальными

$$C_{\Sigma} = \left[\sum_{i=1}^{n_1} C_{1,i} \left(\frac{t_{экр.б}}{t_{экр.п}} - 1 \right) + \sum_{i=1}^{n_2} C_{2,i} t_{экр.б} + C \sum_{i=1}^n B_i \left(\frac{t_{экр.б}}{t_{экр.п}} - 1 \right) \right] \rightarrow \min, \quad (64)$$

где $C_{1,i}$ — прямые затраты на проведение работ с назначенной периодичностью, руб.; $C_{2,i}$ — то же, с оптимальной периодичностью, руб/ч; C_3 — стоимость простоя очистного оборудования, руб/ч; $t_{экр.б}$ — эквивалентное время работы очистного оборудования за ремонтный цикл, ч; $t_{экр.п}$ — эквивалентное время, через которое проводятся работы с назначенной периодичностью, ч; B_i — среднее время простоя очистного оборудования при проведении i-й работы по техническому обслуживанию и ремонту, ч; n_1, n_2 — количество работ по техническому обслуживанию и ремонту, про-

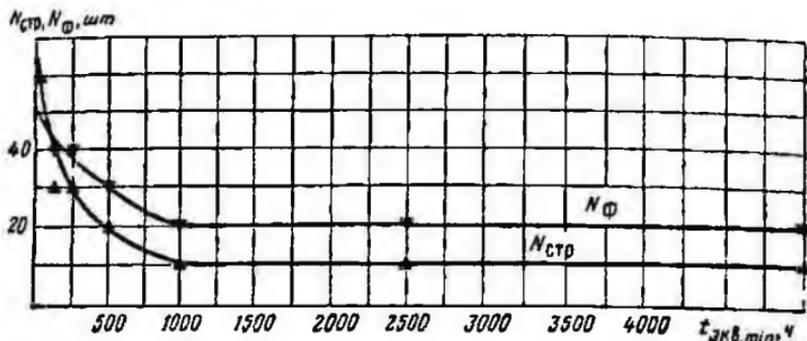


Рис. 34. Изменение количества структур ремонтного цикла и форм ремонта от наработки быстроповреждаемой сборочной единицы

водимых с машиной с назначенной (n_1) и с оптимальной периодичностью (n_2) за ремонтный цикл. Здесь $n = n_1 + n_2$; M_1 — подмножество работ по техническому обслуживанию и ремонту, выполняемых с назначенной периодичностью согласно инструкций заводов-изготовителей (обязательные работы); M_2 — подмножество плановых работ по техническому обслуживанию и ремонту; M — общая совокупность работ по техническому обслуживанию и ремонту очистного оборудования за ремонтный цикл, т. е. $M = M_1 \cup M_2$.

Из анализа (61) — (63) следует:

1. Так как структуры и формы ремонта рассчитываются по эквивалентному времени, которое учитывает напряженность работы очистного оборудования, они будут более стабильными, чем существующие.

2. С учетом $t_{экв. б}$ и $t_{экв. п}$ для одного типа машин можно рассчитывать единую структуру ремонтного цикла, которая будет приемлема для различных бассейнов страны и лучше учитывать условия работы оборудования, чем существующая структура ремонтного цикла (например, для комбайна ГШ68 на рис. 33, в по данным [39]).

3. При проектировании очистного оборудования необходимо стремиться к увеличению ресурса быстроповреждаемых деталей сборочных единиц и составных частей, чтобы $(t_{экв. б}/t_{экв. п} \rightarrow 1$ и $N_{стр}, N_{ф} \rightarrow \min$.

Это приводит к уменьшению структур ремонтного цикла и форм ремонта и, следовательно, к уменьшению числа разборок-сборок оборудования, уменьшению времени простоя машин в ремонте ($B_r \rightarrow \min$).

На рис. 34 приведены зависимости числа структур ремонтного цикла и форм ремонта от наработки быстроповреждаемой сборочной единицы (при $t_{экв. б} = 5000$ ч — на примере очистных комбайнов). Видно, что при $t_{экв. б} = 100$ ч $N_{стр} = 3$ и $N_{ф} = 4$; при $t_{экв. п} = 2500$ и $N_{стр} = 1$ и $N_{ф} = 2$.

4. Длительность ремонтной смены по проведению работ по техническому обслуживанию и текущему ремонту должна увязываться с объемом работ при оптимальной структуре ремонтного цикла очистного оборудования.

5. При планировании горных работ (нарезки выемочных полей) объем добываемого угля необходимо увязывать с ресурсом очистного оборудования и горно-геологическими условиями, которые влияют на режим работы машины и повреждаемость деталей. Для этого необходимо машины подбирать в технологическую цепь по ресурсу, чтобы обеспечить выемку угля в пределах нарезанного выемочного поля без замены базовых сборочных единиц и составных частей.

Для каждой типовой технологической схемы выемки угля можно разработать обобщенные типовые структуры ремонтного цикла очистного оборудования, которое указано на этих схемах с учетом $t_{\text{э.к.}}$ и $K_{\text{м}}$. Обобщенные типовые структуры ремонтного цикла очистного оборудования являются базой для разработки типовых технологических карт по техническому обслуживанию и текущему ремонту.

В реальных условиях механику добычного участка приходится иметь дело не с одной машиной, а с системой машин, которые обеспечивают технологический процесс добычи угля. На участке может быть одновременно задействовано до 20—25 единиц оборудования и средств управления этим оборудованием. Поэтому механику нужно выбрать такую стратегию ремонта, чтобы обеспечить максимальную безотказность всего оборудования, занятого в технологическом процессе. Так как каждая единица очистного оборудования работает в различном режиме и имеет различные свойства, ее наработку необходимо привести к единому критерию — эквивалентному времени. В этом случае для каждой единицы оборудования устанавливаются наработки; для базовой сборочной единицы (составной части) — $t_{\text{э.к. б}}$ и быстроповреждаемой сборочной единицы (составной части) — $t_{\text{э.к. п}}$. Рассчитывается структура ремонтного цикла в соответствии с (61) — (63) для каждой единицы оборудования и составляется обобщенная структура ремонтного цикла всего оборудования, по которой находятся периоды в $t_{\text{э.к.}}$ и в календарном времени, через которые требуется проводить текущие ремонты с данной системой машин.

4.4. ПОДДЕРЖАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ

В угольной промышленности принято, что при текущем ремонте восстановление свойств, утраченных очистным оборудованием, производят в основном заменой сборочных или составных частей. После выдачи на поверхность и установления причины повреждения сборочные единицы или составные части отправляются на капитальный ремонт на рудоремонтные заводы (РРЗ) или ремонтно-механические заводы (РМЗ) или в центральные электро-

механические мастерские (ЦЭММ). После отработки своего ресурса очистное оборудование в обязательном порядке направляется на капитальный ремонт на РМЗ или в ЦЭММ, в зависимости от наличия и состава ремонтных баз в бассейне. Шахтам запрещено производить капитальный ремонт полнокомплектного очистного оборудования, его сборочных единиц или составных частей. Это вызвано тем, что шахты не имеют всей номенклатуры технологического оборудования и достаточной квалификации ремонтного персонала, которые бы позволили получить заданные свойства деталей.

Большинство деталей очистного оборудования изготавливается из качественных конструкционных сталей, имеет сложные геометрические поверхности, номинальные размеры которых соответствуют 6—9 качеству точности и имеют шероховатость в пределах R_z 80...0,8 мкм, в процессе изготовления подвергаются термической обработке. Поэтому восстановление деталей очистного оборудования в основном производится на ремонтных предприятиях, которые ответственны за их надежность при условии правильной эксплуатации оборудования. В тех случаях, когда шахта своими силами производит восстановление отдельных деталей (в основном электро-сварочные и наплавочные работы, реже газосварочные), она несет ответственность за их надежность.

В настоящее время директивными документами Совета Министров СССР и Минуглепрома СССР установлено, что ресурс машины после капитального ремонта должен быть не менее 0,8 от ресурса новой машины, т. е.

$$t_{\text{экр.н}} \approx 0,8 t_{\text{экр.п}}, \quad (64)$$

где $t_{\text{экр.н}}$ — ресурс в эквивалентном времени машины после капитального ремонта, ч; $t_{\text{экр.п}}$ — ресурс в эквивалентном времени новой машины, ч.

Соотношение (64) правомерно, если ресурс машины будет исчисляться в календарном или машинном времени, в объемах добытого угля и т. д.

Из (64) следует, что после капитального ремонта сборочных единиц и составных частей машины, а следовательно, и деталей их ресурс должен подчиняться данному соотношению.

В соответствии с ГОСТ 18322—78 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения» при капитальном ремонте производят полное или близкое к полному восстановление свойств изделия.

Возникает вопрос, можно ли обеспечить при капитальном ремонте машины ее ресурс, равный или больше, чем у новой. Многочисленные исследования по надежности как горно-шахтного и карьерного оборудования, так и оборудования других отраслей промышленности дают отрицательный ответ. Это объясняется двумя причинами: первая — при капитальном ремонте машины часть деталей имеет остаточный ресурс, который меньше чем у но-

вых деталей; вторая — ремонтные предприятия, как правило, по уровню технологии уступают машиностроительным заводам. Однако при восстановлении деталей и несложных сборочных единиц их ресурс может быть равен ресурсу новых деталей и сборочных единиц и иногда, особенно деталей, даже быть больше. Это происходит в тех случаях, если технологический процесс изготовления детали не реализует всех свойств материала, из которых эта деталь изготавливалась. Например, И. В. Кудрявцев, Э. А. Сатель и др. своими исследованиями доказали, что применение при изготовлении и восстановлении способов поверхностного пластического деформирования (ППД) позволяет получить в поверхностных слоях сжимающие остаточные напряжения и плотность дислокаций, приближающуюся к критической. Тем самым данные способы позволяют полностью использовать свойства материала детали.

Например, если валы, валы-шестерни очистного оборудования при изготовлении не проходят операции ППД и основным видом их повреждения являются поломки (по данным [24], 17—23 % зубчатых колес забойных конвейеров и очистных комбайнов не отработывают свой ресурс из-за поломок), то при восстановлении указанных деталей только за счет операции ППД их ресурс можно увеличить в 1,2—1,5 раза.

Дружковский машиностроительный завод при изготовлении штоков гидрокрепей в качестве антикоррозионного покрытия применяет гальваническое хромирование, которое имеет микротвердость H_{100} 650...950.

В таком покрытии при работе очистного механизированного комплекса с течением времени из-за повышенной хрупкости и наличия остаточных растягивающих напряжений появляются микротрещины, через которые металлическая поверхность штока подвергается коррозии и на ней появляются раковины глубиной до 1 мм. Такие штоки при ремонте шлифуют и подвергают восстановлению. Если восстановление сводится к электролитическому оставлению и последующему электролитическому хромированию или цинкованию, то ресурс этих штоков не превысит ресурса новых.

На Рутченковском РРЗ и на ряде других заводов восстановление штоков производят механизированной наплавкой нержавеющей проволокой типа Св-1Х18Н10Т в среде флюса АН-26С или АН-30С. Штоки после восстановления не подвергаются коррозии и их ресурс выше, чем у новых.

На надежность восстановленных деталей очистного оборудования прямо или косвенно влияют технология, организация и управление производством на ремонтном предприятии. Задача ремонтного предприятия обеспечить у детали, сборочной единицы, составной части и машины или механизма в целом расчетный ресурс для определенных условий эксплуатации в соответствии с (64). Решая данную задачу, необходимо обеспечить:

в области технологии восстановления геометрические и физико-механические свойства восстанавливаемых деталей, сборочных единиц и составных частей, которые указаны на чертежах и в тех-

няческих условиях; минимальное снижение усталостной прочности деталей и максимальную стабильность их свойств в пределах партии;

в области организации процессов восстановления ритмичную загрузку рабочих мест в течение рабочей смены;

в области управления процессами восстановления объективный и постоянный учет свойств очистного оборудования и его элементов как поступающих в ремонт, так и после ремонта; комплектование ремонтируемых машин и механизмов деталями с равными ресурсами в пределах сборочной единицы или составной части и сборочными единицами и составными частями с кратными ресурсами в пределах машины или механизма.

Надежность ремонтируемого очистного оборудования начинает формироваться уже при приемке у шахты оборудования в ремонт. При агрегатно-узловом методе ремонта важно принять полнокомплектные сборочные единицы и составные части или полнокомплектные машины. Имеется в виду, что сборочная единица, составная часть или машина, сдаваемые в ремонт, должны иметь детали, которые работали в ней и имеют взаимную приработку, даже если у них есть повреждения.

ГОСТ 19504—74 «Порядок сдачи в ремонт и приемка из ремонта. Общие требования» запрещает разуккомплектовывать оборудование, сдаваемое в ремонт. Это вызвано тем, что у деталей, поставленных от других машин, вообще трудно определить остаточный ресурс, если повреждения деталей связаны с изменением микроструктуры и физико-механических свойств материала детали. Детали от других машин не имеют приработанных трущихся поверхностей, и для ответственных деталей (зубчатые колеса, валы-шестерни, конические подшипники, золотники, клапаны и т. д.) при ремонте нарушается взаимный контакт деталей и требуется определенное время на их приработку. Детали, снятые как годные с оборудования, отправляемого в ремонт, могут иметь скрытые разрушения (трещины, раковины), которые нельзя обнаружить невооруженным глазом; эти детали могут отказаться при установке в другой машине быстрее, так как размеры фактической площади контакта с другой деталью у них много меньше расчетной ввиду их взаимной неприработанности и соответственно рабочие напряжения больше расчетных.

Необходимо соблюдать требование ГОСТ в той части, где сказано, что оборудование, сдаваемое в ремонт, должно быть очищено от угольного штыба, грязи; полости редукторов и гидроцилиндров не должны иметь остатков смазочных масел и рабочих жидкостей, желательнее, чтобы они были чистыми. Цель одна — при приемке оборудования в ремонт путем наружного осмотра представитель ремонтного завода (мастер ОТК) и механик шахты должны предварительно выявить и оценить степень повреждения базовых деталей и, главное, установить возможные причины повреждения. Поэтому, лицо, принимающее оборудование в ремонт, и лицо, сдающее это оборудование, должны быть компетент-

ными специалистами в этом вопросе. Все эти замечания должны отражаться в ведомости дефектации изделий (деталей, сборочных единиц) по ГОСТ 3.1115—79.

В тех случаях, когда в полостях гидроцилиндров и гидродомкратов, в насосных станциях оставляется рабочая жидкость, при сдаче в ремонт в зимний период за счет низких температур и расширения объема рабочей жидкости при ее замерзании происходят дополнительные деформации и разрушения деталей (например, раздутые корпуса гидроцилиндра, трещины в корпусах).

Важными моментами технологического процесса, также влияющими на надежность, являются разборка и мойка очистного оборудования.

При их выполнении необходимо обеспечить минимум повреждений деталей и добиться, чтобы каждая деталь, поступающая на дефектацию и сортировку, была чистой, не имела следов грязи, особенно в местах концентрации напряжений. Рабочие места слесарей по разборке машин необходимо укомплектовывать набором регулируемых в пространстве стедов, приспособлений, рабочего инструмента, которые позволяют ему производить разборку в наиболее удобной рабочей позе, исключая при этом резку деталей ацетилено-кислородным пламенем и электрической дугой. При резке разрушается полностью не только та деталь, которую удаляют этим способом, но и повреждаются частично или полностью находящиеся рядом детали. Слесари, занятые на разборке машин перед запуском нового изделия в ремонт, например, на авиаремонтных заводах проходят стажировку на заводах-изготовителях, где знакомятся с технологией сборки агрегатов тех моделей, которые им придется разбирать. Ежемесячно представитель ОТК завода (а не цеха) проверяет комплектность и исправность технологического оборудования, технологической оснастки и рабочего инструмента. Внедряются методы материального поощрения за увеличение процента выхода годных деталей при разборке машин.

При капитальном ремонте очистного оборудования необходимо особое внимание уделять мойке и очистке деталей. Например, на авторемонтном заводе № 5 Главного управления автомобильного транспорта «Главмосавтотранса» принят такой девиз: «При разборке автомобиля слесарь и контролер ОТК должны иметь дело с чистой деталью». На практике это достигается тем, что на этом заводе применяют пять стадий мойки: первая стадия — наружная струйная мойка автомобиля в специальной камере; вторая стадия — ванная мойка (выварка) отдельных агрегатов автомобиля (кабина, рама, двигатель, передний и задний мосты, коробка перемены передач и т. д.); третья стадия — струйная мойка в проходных моечных машинах отдельных сборочных единиц (кривошипно-шатунный механизм, дифференциал заднего моста и др.) и крупных деталей; четвертая стадия — струйная мойка в малых проходных моечных машинах всех деталей, за исключением крепежа (шпильки, болты, гайки); пятая стадия — барабанная мойка крепежа. Состав моющих растворов, режимы мойки, оборудова-

ние, применяемое для мойки деталей машин приведены в [43].

Заслуживает внимание опыт Рутченковского рудоремонтного завода по организации процесса мойки механизированных крепей. Здесь применяется двухстадийная система мойки: первая стадия — электрогидравлическая очистка секций механизированной крепи в специальных ваннах от угольного штыба, грязи; вторая стадия — струйная мойка деталей в проходных моечных машинах. На некоторых РМЗ для очистки мелких деталей гидрооборудования ГШО используют ультразвуковые ванны УЗВ-15М.

Оценка технического состояния деталей очистного оборудования производится при дефектации.

В угольной промышленности принято все детали в зависимости от технического состояния сортировать на четыре группы: годные для применения при капитальном ремонте машин; подлежащие восстановлению; не подлежащие восстановлению и применению при капитальном ремонте машин и оборудования по браковочным картам, но годные для частичного использования при текущем ремонте; непригодные для дальнейшего использования (подлежат списанию). Детали третьей группы должны реализовываться непосредственно угледобывающим предприятиям при условии соответствия параметров предельных состояний указанных деталей и сборочных единиц, определенных эксплуатационной документацией. Данные детали и сборочные единицы должны иметь соответствующую маркировку ремонтных предприятий.

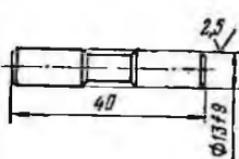
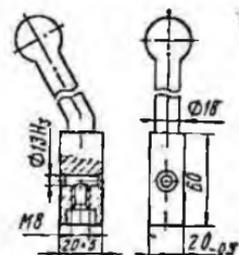
Отнесение деталей к той или иной группе осуществляется на основании карт браковочных признаков, которые разрабатываются проектно-конструкторскими организациями или заводами-изготовителями. Пример карты браковочных признаков приведен в табл. 30.

Из таблицы видно, что при дефектации деталей очистного оборудования, поступившего в ремонт, необходимо установить и оценить: фактическую погрешность геометрических размеров, погрешность формы (овальность, эллипсность, некруглость и т. д.), погрешность взаимного расположения поверхностей, фактическую шероховатость рабочих поверхностей, особенно у высокоточных и ответственных деталей (детали гидравлики, зубья, шлицы, посадочные места под подшипники на валах и т. д.); наличие раковин на поверхности деталей (штоки гидроцилиндров и гидродомкратов, конические зубчатые колеса); наличие поверхностных и подповерхностных усталостных трещин в местах концентрации рабочих напряжений.

Если величина фактической погрешности не выходит за пределы допустимого размера без ремонта, то такие детали относятся к первой группе — к годным. Эти детали не должны иметь раковин и трещин, приобретенных в процессе эксплуатации машины. Детали, у которых величина фактической погрешности выходит за пределы допустимого размера без ремонта или у которых имеются раковины и трещины, относятся ко второй или четвертой группе, т. е. к восстанавливаемым или невосстанавливаемым деталям. По-

Таблица 30

Карта браковочных признаков для деталей очистного оборудования [19]

№ детали, наименование, материал и термобработка	Число измерений	Отклонения, допустимые без ремонта	Рекомендуемые методы восстановления	Признаки повреждений	Эскиз детали
Г404.12.001; ось; сталь 45 (ГОСТ 1050—74); улучшение НВ 241...285	1	$\varnothing 13^{+0,016}_{-0,059}$	Остатки-ванне	Изъяны-ванне <12,93	
Г404.12.002; рукоятка; сталь 45 (ГОСТ 1050—74); улучшение НВ 241...285	1	$\varnothing 13^{+0,043}$ М8 $20_{-0,5}$	Заплавка	Наличие изломов, трещин Смятие резьбы Износ	

этому в группу невосстанавливаемых деталей включают детали, которые по техническим условиям не подлежат восстановлению (например, все резинотехнические изделия) и детали, восстановление которых в настоящее время экономически нецелесообразно или невозможно с соблюдением технических условий на данную деталь.

Деление на восстанавливаемые и невосстанавливаемые детали весьма условно. Это зависит от технологического процесса восстановления, который сложился в отрасли или на ремонтном предприятии. В принципе существующие методы восстановления позволяют отремонтировать деталь с любыми повреждениями. Вопрос заключается в том, разработаны и внедрены ли данные методы на ремонтном заводе, где восстанавливают эти детали. Например, на Кемеровском авторемонтном заводе п. о. «Кемеровоуголь» 85 % всех деталей, имеющих разрушения, полученные в процессе эксплуатации, восстанавливаются или складываются в ожидании восстановления. На этом заводе действует девиз: «Восстанавливаем все, если это экономически целесообразно в данных условиях и в данное время». На воротах завода по ремонту гор-

ношахтного оборудования в г. Лилль (Франция) висит лозунг: «Восстанавливаем все, что Вы нам привезете». Сложившаяся практика показывает, что детали экономически выгодно восстанавливать, если стоимость их восстановления C_v (руб.) в среднем будет

$$C_v < (0,5 + 0,6) C_n, \quad (65)$$

где C_n — стоимость новой детали, руб.

Аналитическая зависимость для выбора экономически целесообразного способа восстановления приведена в [44].

При дефектации каждая группа деталей маркируется краской: годные детали клеймятся зеленым цветом в виде полосы на нерабочей поверхности, восстанавливаемые детали — желтым или белым цветом в местах обнаружения разрушения; невосстанавливаемые детали — красным цветом в местах обнаружения невосстанавливаемых разрушений.

На заводе РГШО п.о. «Карагандауголь» при клеймении дефектированных деталей ставят цифру кода технического состояния (ТС) детали (1 — годные, 2 — восстанавливаемые; 3 — невосстанавливаемые). Рядом с цифрой кода ТС клеймят цифру, соответствующую клейму работника. Знак клеймения ОТК при дефектации имеет вид равностороннего треугольника высотой 10—15 мм, внутри которого ставят код ТС.

Место клеймения на детали устанавливается согласно техническим требованиям чертежа или указаниям конструкторско-технологической службы ремонтного предприятия. Знак клеймения наносится на нерабочей поверхности в одном и том же месте для каждой детали. Знак клейма и цифры внутри него должны быть устойчивыми и четкими. При повторном поступлении деталей в ремонт старое клеймо аннулируется и наносится новое, соответствующее новому техническому состоянию детали. Для мелких деталей, на которых по техническим условиям нельзя производить клеймение, завод РГШО рекомендует знак клейма наносить на бумажную или металлическую этикетку, прикрепляемую к таре, где хранятся данные детали, или к самим деталям.

На этикетке кроме знака клеймения указывается дата дефектации и число деталей в таре (рис. 35), причем цифра один означает код ТС: годная деталь, а цифра пять — номер работника ОТК, проводившего дефектацию.

Стандарт предприятия завода РГШО рекомендует для восстанавливаемых деталей на местах повреждения ставить условный код. Последний несет информацию о наименовании разрушения (деформации) и способе его устранения. Такой подход к кодированию разрушенных поверхностей дополняет маршрутную технологию восстановления деталей, разработанную проф. К. П. Кошкиным и принятую на авторемонтных заводах. При маршрутной технологии восстановления для восстанавливаемых деталей ставится номер маршрута (от № 1 до № 4). Номер маршрута назна-

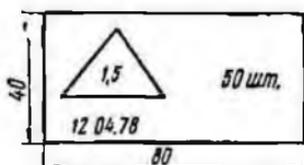


Рис. 35. Этикетка, рекомендуемая Карагандинским заводом РГШО для продефектированных деталей

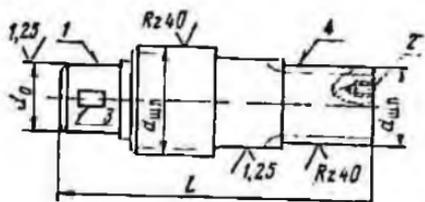


Рис. 36. Формирование маршрутов восстановления детали, имеющей повреждение:

1 — посадочного места под подшипник; 2 — резьбы; 3 — шпоночного паза; 4 — шлиц

чается в зависимости от сочетания повреждений. Маршрут № 1 назначается для устранения самого распространенного повреждения. Для детали, показанной на рис. 36, этот маршрут включает восстановление посадочного места под подшипник. Маршрут № 2 и последующие усложняются за счет включения дополнительных повреждений. Для приведенной детали маршрут № 2 предусматривает восстановление посадочных мест под подшипники и прогонку резьбы, маршрут № 3 — работы по маршруту № 2 плюс восстановление шпоночного паза, маршрут № 4 — работы по маршруту № 3 плюс восстановление шлицев. Маршрут № 4 — самый редкий, так как сочетание всех одновременно повреждений встречается редко, но и самый трудоемкий — восстанавливаются все повреждения. Номер маршрута указывается числом линий (желтая или белая краска) на детали. Чтобы при восстановлении легко было установить, какие поверхности восстанавливаются, все они метятся краской.

Маршрутная технология восстановления позволяет внедрить подетальную и позлементную специализации рабочих мест на ремонтных заводах и повысить коэффициент их загрузки за счет формирования оптимальной партии и уменьшения количества переналадок. Все восстанавливаемые детали находятся в складе накопления или площадке накопления, рассортированы по маршрутам восстановления, и производственно-диспетчерский отдел завода ведет учет наличия деталей по наименованию и по маршрутам. Кроме того, при маршрутной технологии легче установить технически обоснованную норму времени и главное — в зависимости от маршрута восстановления можно приближенно установить ожидаемый ресурс детали. Чем больше номер маршрута, тем меньше будет ресурс детали. Однако нужно стремиться к получению численного значения ожидаемого ресурса восстановленной детали. Это возможно только благодаря детальному изучению и знанию физико-механических свойств восстановленных деталей и их связи с ресурсом. Данный способ дефектации с установлением маршруту-

Таблица 31

Карта дефектации к групповому технологическому процессу восстановления деталей типа «корпус гидродиллиндра»

Карта дефектации забои РГШО	Иллюстрация дефекта и со- путствующие показания	Метод выявления	Метод устранения	Метод контроля	Методы измерения			Метод испытания	Материал детали	Материал инструмента	Материал защиты	Материал средств защиты	Материал средств защиты	Материал средств защиты
					Метод измерения	Метод измерения	Метод измерения							
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														
<p>Иллюстрация детали</p>														

та восстановления является основой для разработки групповых и типовых технологических процессов восстановления деталей.

В этом отношении внимания заслуживает опыт Карагандинского завода РГШО по разработке комплексной детали для процессов дефектации. Впервые идея разработки комплексной детали для процессов дефектации была предложена Н. Н. Поповым из Карагандинского политехнического института. Комплексная деталь составляется на подгруппу определенного класса деталей. В табл. 31 в качестве примера приведена карта дефектации к технологическим процессам восстановления деталей с эскизом комплексной детали (документ Д1.1.01.01), в которой указываются виды восстанавливаемых дефектов единичной, типовой или комплексной детали, код дефекта согласно классификатору дефектов.

По продефектированной партии деталей работник ОТК указывает количество: дефектов по каждому виду; годных деталей; восстанавливаемых деталей; деталей, идущих в брак. Так как на заводе функционирует автоматизированная система управления ремонтом (АСУПремонт), в которой решается задача «Учет и статистическая обработка данных дефектации», то на основании документа Д1.1.01.01 заполняется макет перфокарт, информация с которого по телетайпу передается на ИВЦ п. о. «Карагандауголь» для решения вышеуказанной задачи. В задаче рассчитываются коэффициенты по каждому наименованию деталей ремонтируемого очистного оборудования:

$$K_{г.дj} = \frac{P_{г.дj}}{N_j}; \quad K_{в.дj} = \frac{P_{в.дj}}{N_j};$$

$$K_{б.дj} = \frac{P_{б.дj}}{N_j}, \quad (66)$$

где $K_{г.д}$, $K_{в.д}$, $K_{б.д}$ — соответственно коэффициенты деталей, годных для повторного использования, подлежащих восстановлению, бракованных. Коэффициенты рассчитываются по каждому j -му наименованию; N_j — размер партии продефектированных деталей j -го наименования; $P_{г.д}$, $P_{в.д}$, $P_{б.д}$ — соответственно количество деталей j -го наименования в партии, годных для повторного использования, подлежащих восстановлению, бракованных.

Для невосстанавливаемых деталей $K_{в.дj}$ не рассчитывается; для восстанавливаемых деталей дополнительно рассчитывается коэффициент восстановления по видам повреждений:

$$K_{в.дjk} = \frac{P_{в.дjk}}{N_j}, \quad (67)$$

где $K_{в.дjk}$ — коэффициент восстановления по k -му повреждению j -й детали в партии продефектованных деталей; $P_{в.дjk}$ — число j -деталей с k -ом дефектом в партии продефектованных деталей.

Задача позволяет ежегодно корректировать коэффициенты восстанавливаемых и невосстанавливаемых деталей, что позволяет

повышать точность данных коэффициентов с увеличением выборки исходных данных и изменением вида повреждения.

С точки зрения надежности деталей анализ данных коэффициентов и особенно $K_{в.д.д}$ позволяет установить повреждения, которые лимитируют надежность. Учитывая, что по требованию завода, шахты при сдаче оборудования в ремонт заполняют формуляр на машину и указывают в нем наработку в машино-часах и в тысячах тонн добычи, данная информация может быть полезна для уточнения предельных размеров деталей и размеров деталей, допустимых без ремонта.

Важным моментом для повышения надежности восстанавливаемых деталей имеет определение внутренних повреждений в местах их концентрации неразрушающими методами контроля.

Анализ показывает, что в настоящее время неразрушающие методы контроля мало распространены на ремонтно-механических заводах горного оборудования. Опыт применения при ремонте очистного оборудования неразрушающего контроля имеется на Рутченковском РРЗ.

По данным Н. В. Жигулева, средства, затрачиваемые на неразрушающий контроль, окупаются в 5—6 раз быстрее, чем затрачиваемые на технологическое оборудование.

При ремонте очистного оборудования неразрушающие методы контроля целесообразны не только при дефектации деталей после разборки и мойки, но и после их восстановления, особенно тех деталей, которые восстановлены с применением способов электродуговой сварки и наплавки, гальванических способов восстановления (электролитическое осталивание и цинкование, электролитическое хромирование) или которые в процессе восстановления подвергаются термической обработке. Это объясняется тем, что при данных способах восстановления в поверхностных слоях наводятся растягивающие остаточные напряжения (электродуговая сварка и наплавка, осталивание, хромирование), возникают термические напряжения (электродуговая сварка и наплавка, термическая обработка); охрупчивается поверхностный слой из-за его наводороживания (осталивание, хромирование, цинкование), что в конечном итоге приводит к появлению поверхностных трещин.

Кроме того, при восстановлении электродуговой сваркой и наплавкой у деталей могут возникать дефекты, присущие этим способам (например, непровар, раковины, неметаллические включения). При механической обработке восстановленных деталей такими способами, как шлифование поверхностей, имеющих твердость $HRC\ 56..62$, или размерно-чистовая обработка (штоки, цилиндры) обкатыванием и раскатыванием за счет несоблюдения режимов обработки, появляются шлифовочные трещины и прижоги (при шлифовании) или шелушение поверхностного слоя из-за перенаклепа (при обкатывании и раскатывании).

Цель применения методов неразрушающего контроля при ремонте очистного оборудования — недопустить на сборку и в даль-

нейшем в шахту детали со скрытыми повреждениями и дефектами. Описания современных методов неразрушающего контроля приведены в [45, 46].

Накоплен большой практический опыт по разработке способов восстановления и восстановлению различных классов деталей, который хорошо систематизирован [47]. В угольной промышленности практическим восстановлением деталей очистного оборудования успешно занимаются Донецкий отдел ВНИИПТуглемаш, ремонтно-механические заводы.

При большом многообразии способов восстановления деталей на практике применяется ограниченное их число. По удельному весу в общей номенклатуре способы восстановления, принятые при ремонте очистного оборудования, распределяются следующим образом: электродуговая сварка и наплавка деталей (ручная, механизированная, под слоем флюса, в среде инертных газов, вибродуговая, комбинированные способы наплавки) до 60—70 % (в перспективе до 40—50 %); плазменная наплавка и плазменное напыление металла — 5—7 % (в перспективе до 20—35 %); электролитические способы восстановления: для наращивания изношенных поверхностей деталей — 15—20 % (в перспективе до 5—7 %), для антикоррозионных покрытий штоков гидроцилиндров и гидродомкратов — 85—95 % (в перспективе 15—20 %) при выделении фондов ремонтным предприятиям на нержавеющую проволоку; прочие методы восстановления (3—15 %). Влияние способов восстановления на усталостную прочность деталей и твердость восстанавливаемых поверхностей показано в табл. 32.

При восстановлении деталей электродуговой сваркой слабым местом является зона около сварного шва (зона термического влияния), даже в случае правильного выбора типа и марки электрода. В этой зоне (рис. 37) за счет высокой температуры нагрева имеем крупнозернистую структуру перегретого металла — в этом месте прочность материала резко снижается.

Во избежание появления больших значений температурных напряжений, которые могут привести к деформации детали и даже появлению трещин на восстановленной поверхности, при сварке и наплавке необходимо соблюдать определенные правила ведения данных работ. При электродуговой сварке и наплавке в зависимости от содержания углерода и легирующих элементов в стали предусматривают технологические операции предварительного подогрева места, подлежащего сварке, до 500—550 °С и медленного охлаждения детали после сварки. Это делается для сталей, у которых время распада остаточного аустенита составляет менее 5 с.

При восстановлении деталей сложной геометрической формы или малой жесткости (корпуса редукторов, линейные секции забойных конвейеров, штоки большой длины, штоки с внутренними центральными отверстиями и т. д.) рекомендуется эти процессы вести постоянным током обратной полярности, применяя сварку прерывистым швом, сварку с применением водоохлаждаемых или

Таблица 32

Влияние способов восстановления на усталостную прочность деталей и твердость восстанавливаемых поверхностей

Способы восстановления	Вид и величина остаточных напряжений, МПа	Снижение усталостной прочности, %	Твердость восстановленных поверхностей	Толщина наращиваемого слоя, мм
Электродуговая сварка и наплавка деталей	Растягивающие до 600	10—32% в зависимости от толщины наплавляемого слоя и режима наплавки; при вибродуговой наплавке в среде жидкости на 40—55% за счет образования трещин в наплавленном слое	От <i>HV</i> 35...400 до <i>HRC</i> 56...62	2,5—8
Плазменная наплавка	Растягивающие до 150—300 (в зависимости от толщины слоя)	8—20% в зависимости от толщины наплавляемого слоя и режима наплавки; при наплавке порошком чугуна на 30—40% за счет увеличения трещиноватости	До <i>HRC</i> 56...62	1—3; 0,1—0,8 при напылении
Электролитические способы	Растягивающие до 680 (в зависимости от толщины осадка)	22—50% в зависимости от режима процесса	$H_{100} = 650...1100$ при хромировании $H_{100} = 150...550$ при осталивании	До 0,3 мм при хромировании, до 0,6 мм при осталивании То же

массивных медных подкладок, многозаходную наплавку, наплавку с внутренним охлаждением детали (при механизированных способах наплавки). В некоторых случаях рекомендуется предварительный подогрев деталей перед восстановлением и медленное охлаждение их после восстановления. При электролитических способах восстановления во избежание отслаивания электролитического осадка от основы детали необходимо качественно готовить деталь перед данными процессами (предварительная механическая обработка — шлифование, обезжиривание и травление покрываемой поверхности) и грамотно вести процесс наращивания слоя, поддерживая в оптимальных пределах кислотность и температуру

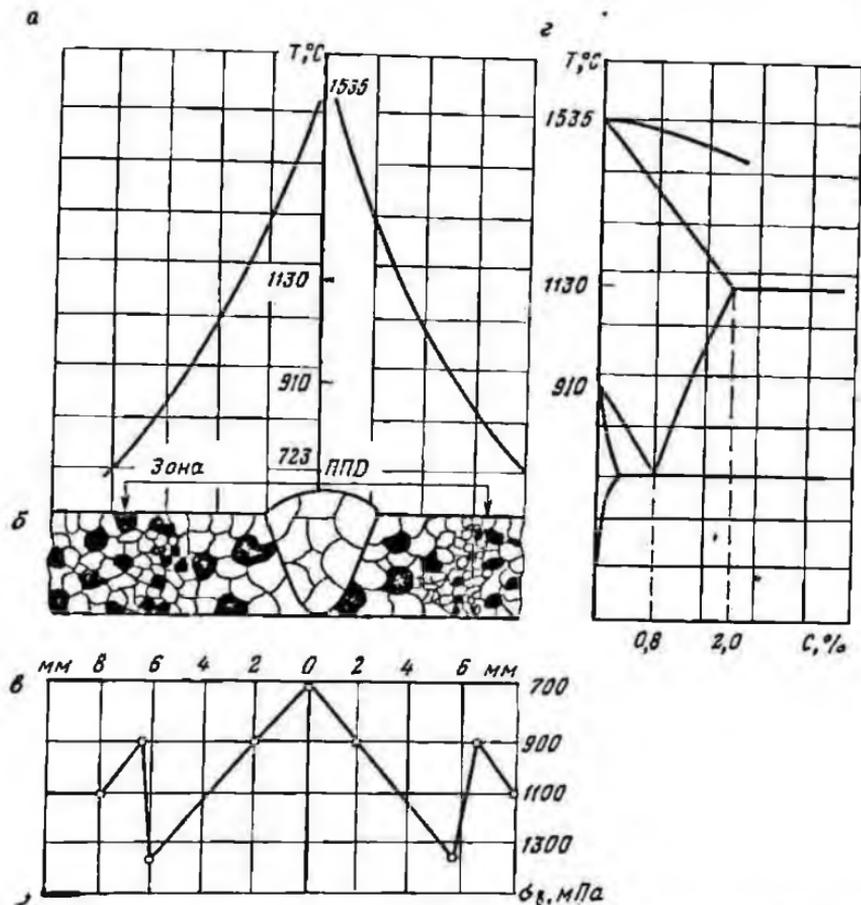


Рис. 37. Изменение свойств деталей, восстановленных электродуговой ручной сваркой:

а — эпюра распределения температуры по фронту детали б — микроструктура сварного шва и околошовной зоны; в — изменение механических свойств по фронту детали, г — участок диаграммы железо — углерод

электролита, катодную плотность, соотношение между компонентами, входящими в электролит, и правильно располагая деталь относительно анодов в электролитической ванне.

Для уменьшения наводороживания восстановленной поверхности детали выдерживают при $130\text{--}150^\circ\text{C}$ в течение 35—45 мин. За этот период количество водорода в усадке уменьшается на 50—70 %.

Так как при восстановлении деталей наблюдается снижение усталостной прочности, то при проектировании технологических процессов необходимо предусматривать операции ППД. При выборе способа и режима ППД следует учитывать следующие рекомендации:

выбор способа упрочнения ППД зависит от геометрической формы деталей, толщины и твердости восстановленного слоя. Для сварных металлоконструкций (основание, перекрытия секций механизированной крепи, линейные секции забойных конвейеров, корпуса редукторов) наиболее эффективным способом может быть упрочняющая чеканка металлическими щетками, составленными из проволоки ОВС диаметром 1—1,2 мм (способ, предложенный ЦНИИТМАШем). В этом случае упрочняется как околошовная зона, так и сварной шов. Для деталей типа валы, валы-шестерни, штоки гидроцилиндров и гидродомкратов, имеющих твердость наплавленного слоя $HV\ 220\div 360$, места концентрации напряжений упрочняют обкатыванием одно- и трехроликовыми инструментами бесшарпаторного типа.

Для деталей, имеющих твердость $HV > 360$ применяют виброобкатывание, упрочняющую чеканку роликом или наклеп стальной дробью. Учитывая, что при сварке и наплавке соединение присадочного материала с основой детали происходит методом сплавления и сцепляемость этих материалов высокая, выбор режимов ППД осуществляют исходя из свойств поверхности восстановленной детали (учитывают пределы текучести σ_T и прочности σ_B материала поверхности);

упрочнение деталей, восстанавливаемых электролитическим хромированием, делают до хромирования ввиду высокой хрупкости осадка хрома. Применяют только в тех случаях, если деталь при изготовлении не подвергалась ППД, иначе эффект будет незначительным.

Упрочнение деталей, восстановленных электролитическим оставлением и цинкованием, производят после восстановления (микротвердость электролитического осадка железа не должна превышать $H_{100} = 350$). При микротвердости электролитического осадка железа $H_{100} > 350$ упрочнение делают до электролитического оставления. Режимы выбирают с учетом прочности поверхности осадка железа (цинка) и сцепляемости электролитического осадка с основой детали.

Для деталей, восстановленных электролитическим оставлением и цинкованием, скорость пластической деформации при ППД не должна увеличивать водородную хрупкость электролитического осадка. Хрупкость материала, вызванная присутствием водорода, особенно сильно сказывается при малых скоростях деформирования и практически исчезает при скоростях порядка 0,2 м/с и выше. Установлено, что при небольших скоростях деформирования, в зародышевых трещинах металла в результате направленной диффузии водорода может возникнуть и поддерживаться давление в 0,1—0,3 ГПа, что, по данным К. В. Попова, приводит к разрушению электролитического осадка.

При упрочнении как вновь изготавливаемых, так и восстанавливаемых деталей очистного оборудования рабочие напряжения в зоне контакта деформирующего элемента с поверхностью детали должны вызывать пластическую деформацию поверхностного слоя

и не приводить к его разрушению, т. е. должно выполняться условие

$$\sigma_T \leq \sigma_p < \sigma_b,$$

где σ_T — предел текучести материала поверхностного слоя детали в зоне контакта; σ_p — рабочие напряжения при ППД в зоне контакта деформирующего элемента и детали; σ_b — предел прочности материала детали в зоне контакта.

Режимы по упрочнению восстановленных деталей горного оборудования приведены в [49].

Упрочнение структуры поверхностного слоя восстановленных деталей сопровождается изменением знака напряжений. Если электролитическое осталивание, так же как электродуговая сварка и наплавка, наводит в деталях остаточные растягивающие напряжения порядка 100—500 МПа, то после ППД в поверхностных слоях деталей наводятся сжимающие напряжения. Величина сжимающих напряжений зависит от физико-механических свойств принимаемых материалов и режимов деформирования.

ППД позволяет полностью восстановить утраченную усталостную прочность деталей, если упрочнение проводилось по оптимальным режимам.

При упрочнении за счет новой схемы формирования напряженного состояния поверхностного слоя детали, когда $\bar{\sigma}_x = \bar{\sigma}_p + (-\bar{\sigma}_{ост})$; очаг зарождения усталостной трещины перемещается с поверхности образца (детали) в подповерхностные слои. На рис. 38 приведены схемы изменения напряженного состояния поверхностного слоя образцов при испытании на усталость до и после упрочнения

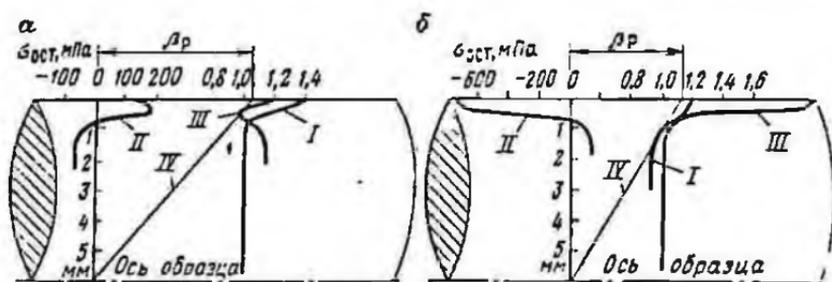


Рис. 38. Эпюры напряжений в углеродоазотированных образцах стали 25ХГТ при испытании на выносливость [48]:

а — после углеродоазотирования ($\beta_p = \frac{\sigma_p}{\sigma_{-1}} = 1,06$, $\beta_p = 1,06$); б — после углеродоазотирования

и наклепа дробью $\beta_p = \frac{\sigma_p}{\sigma_{-1}} = 1,23$, $\beta_p = 1,15$ (база сравнения — образцы после закалки и

низкого отпуска):

I — эпюры пределов выносливости зон слоя без учета остаточных напряжений; II — эпюры остаточных напряжений; III — эпюры суммарных напряжений с учетом остаточных напряжений; IV — эпюры предельных рабочих напряжений; β_p ; β_p — соответственно расчетный и экспериментальный коэффициенты сопротивления усталости материала (по В. П. Когачеву)

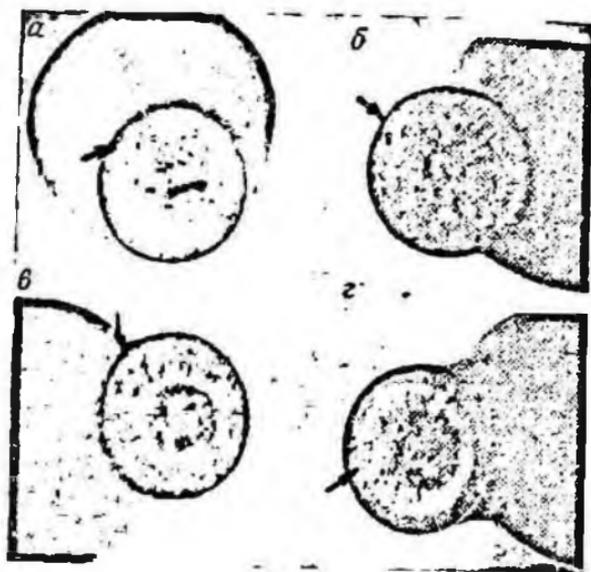


Рис. 39. Зоны зарождения усталостных трещин в образцах цементированной стали 20X2H4A (а— до наклепа; в— после наклепа) и углеродоазотированной стали 20X2H4A (б— до наклепа; г— после наклепа) при испытании их на выносливость (по Н. Б. Шубиной)

ППД, а на рис. 39 — соответствующие фотографии изломов. За счет уменьшения величины суммарных рабочих напряжений (σ_x) увеличивается долговечность работы деталей.

Отсюда следует вывод, что по результатам анализа поверхности излома можно судить об использовании свойств материала детали. В тех случаях, когда очаг зарождения трещины находится в глубине, можно сказать, что для данных деталей выбран наилучший технологический процесс их изготовления и деталь эксплуатировалась в расчетном режиме. При неправильной сборке или нарушении условий эксплуатации машины рабочие напряжения (σ_p) могут быть намного больше сжимающих остаточных напряжений ($-\sigma_{ост}$), т. е.: $\sigma_p \gg (-\sigma_{ост})$. Это приводит к тому, что максимум суммарных рабочих напряжений будет находиться на поверхности и соответственно там же будет находиться очаг зарождения трещины. Но даже в этом случае за счет упрочнения долговечность деталей увеличится в 1,2—1,5 раза.

На ресурс отремонтированного очистного оборудования влияет качество сборки и испытания машин и механизмов. При сборке целесообразно комплектовать сборочные единицы и составные части деталями с близкими, равными или кратными ресурсами; проводить испытания машин и механизмов по методикам заводоизготовителей.

5. ВЗАИМООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ЗАВОДАМИ-ИЗГОТОВИТЕЛЯМИ, ШАХТАМИ И РЕМОНТНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ ПОВРЕЖДЕНИЙ И ОТКАЗОВ ДЕТАЛЕЙ ОЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Повышение надежности очистного оборудования во многом определяется взаимоотношениями между заводами-изготовителями, ремонтными предприятиями, шахтами и производственными объединениями. При юридически правильно построенных взаимоотношениях любая из данных сторон будет экономически заинтересована в повышении надежности оборудования на своей стадии. В этом случае будет нормально действовать обратная связь потребитель — изготовитель машины.

Взаимоотношения поставщиков и потребителей горно-шахтного оборудования регламентируют следующие основные нормативные документы:

Основы гражданского законодательства СССР и союзных республик;

Положение о социалистическом государственном производственном объединении и предприятии;

Положение о поставках продукции производственно-технического назначения (утверждено постановлением Совета Министров СССР от 10.02.1981 г., № 161);

Инструкция о порядке приемки продукции производственно-технического назначения и товаров народного потребления по качеству (утверждена постановлением Государственного арбитража при Совете Министров СССР от 25.04.1966 г. № П-7, дополнения от 14.02.1974 г., № 98);

Особые условия поставки продукции тяжелого, энергетического, транспортного, строительного и дорожного машиностроения (утверждены постановлением Государственного комитета Совета Министров СССР по материально-техническому снабжению и Государственного арбитража при СМ СССР от 27.01.1972 г., № 2/50);

Положение о порядке предъявления и рассмотрения претензий предприятиями, организациями и учреждениями и урегулирования разногласий по хозяйственным договорам (утверждено Советом Министров СССР постановлением от 17.10.1973 г., № 758);

Правила рассмотрения хозяйственных споров государственными арбитражами (утверждены постановлением Совета Министров СССР от 5.06.1980 г., № 440).

5.1. ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Понятия качество продукции и показатели качества продукции определяются ГОСТ 15467—79.

В угольной промышленности входной контроль качества продукции поставщика, поступающей к потребителю для использования по назначению, выполняется в соответствии с ГОСТ 16504—81 и инструкцией [50], утвержденной Минуглепромом 12.12.1980 г., и перечисленными выше документами.

Поставка продукции производится по договорам. Договор — основной документ, определяющий права и обязанности сторон по поставке всех видов продукции.

При заключении и выполнении договоров поставщики, изготовившие или отремонтировавшие горное оборудование (в дальнейшем — поставщики), и получатели изготовленного или отремонтированного оборудования (в дальнейшем — получатели) обязаны руководствоваться Положением о поставках продукции, разрешающим общие для всех поставщиков и получателей вопросы.

Поставщик одновременно с отгрузкой очистного оборудования обязан выслать комплект эксплуатационной документации в соответствии с ОСТ 12.44.024—82.

Поставляемая продукция должна соответствовать по качеству (надежности, долговечности и другим показателям) стандартам (государственным, отраслевым, республиканским и СЭВ) и техническим условиям, утвержденным в установленном порядке. Если на продукцию не имеется утвержденных соответствующими органами стандартов, технических условий, то качество продукции должно соответствовать техническим условиям, утвержденным объединением — поставщиком и потребителем. Номера и индексы стандартов и технических условий указываются в договоре.

Гарантийные сроки на продукцию устанавливаются в стандартах или технических условиях. Гарантийный срок исчисляется со дня ввода изделия в эксплуатацию, но не позднее 6 мес для действующих предприятий со дня поступления продукции на предприятие, если иное не установлено стандартами, техническими условиями или договором.

Приемка продукции по качеству производится представителем отдела материально-технического снабжения или отдела оборудования на складе получателя в следующие сроки:

при иногородней поставке — не позднее 20 сут, а при однородной поставке — не позднее 10 сут после поступления ее на склад получателя.

Проверка качества продукции, поступившей в таре, производится не позднее указанных выше сроков.

Машины и оборудование, поступившее в таре и имеющее гарантийные сроки службы и хранения, проверяются по качеству при вскрытии тары, но не позднее установленных гарантийных

сроков. Приемка продукции, поступившей в незатаренном виде, производится в день выдачи груза органами транспорта.

При визуальном осмотре в процессе приемки продукции по качеству могут быть обнаружены детали с нарушением защитного покрытия, со следами коррозии, пластической деформации (изгиб, смятие), могут быть сорваны пломбы. На все эти отклонения не менее важно обратить внимание, чем на вопросы некомплектности поставки. Акт о скрытых недостатках продукции должен быть составлен в течение 5 сут по обнаружении недостатков, однако не позднее 4 мес со дня поступления на склад получателя, обнаружившего скрытые недостатки, если иные сроки не установлены обязательными для сторон правилами. Когда скрытые недостатки продукции могут быть обнаружены лишь в процессе ее эксплуатации, акт о скрытых недостатках должен быть составлен не позднее 4 мес со дня получения продукции предприятием, обнаружившим недостатки.

Акт о скрытых недостатках, обнаруженных в продукции с гарантийными сроками службы и хранения, должен быть составлен в течение 5 сут по обнаружении недостатков, но в пределах установленного гарантийного срока.

Скрытыми недостатками признаются такие, которые не могли быть обнаружены при обычной для данной продукции проверке и выявлены лишь в процессе эксплуатации.

При обнаружении несоответствия качества поступившей продукции получатель обязан обеспечить хранение этой продукции в условиях, предотвращающих ее ухудшение.

На шахтах и в производственных объединениях входной контроль осуществляется для серийно выпускаемых механизированных крепей, щитовых агрегатов, очистных и проходческих комбайнов, скребковых конвейеров, насосных станций погрузочных машин, бурового оборудования.

Входной контроль горно-шахтного оборудования может быть проведен в течение срока гарантии и, как правило, не позднее 45 сут со дня окончания поставки оборудования.

Продолжительность проведения входного контроля горно-шахтного оборудования на предприятии (РРЗ, РМЗ) не должна превышать 15 сут с момента получения оборудования от угольного производственного объединения (шахты).

Объемы выборок для входного контроля по каждому производственному объединению устанавливаются в зависимости от числа комплектов однотипного оборудования, поставляемого производственному объединению в год.

Число комплектов оборудования:				
поставляемого	1—10	11—20	21—30	>30
проверяемого	1	2	3	4

Материалы входного контроля могут быть использованы при оформлении претензий поставщикам за низкое качество продукции, выявленное при эксплуатации в течение срока гарантии.

Для проведения входного контроля механизированных крепей и скребковых конвейеров отбор секций и рештаков с цепями производится комиссией или по ее поручению несколькими членами комиссии с обязательным включением в их число представителей угольного производственного объединения и завода-изготовителя.

Оборудование, отобранное для контроля, должно включать в себя:

две секции одного комплекта крепи;

два линейных рештака, затянутых замковыми и болтовыми соединениями, два отрезка цепи со скребками и соединительными звеньями от одного конвейера. Очистной комбайн с цепным механизмом перемещения должен доставляться с двумя отрезками тяговой цепи и одним соединительным звеном.

Входной контроль качества очистного оборудования осуществляется при его поступлении или проводится в плановом порядке по ежегодному согласованному с бассейновыми НИИ и РРЗ (РМЗ) графику, утвержденному производственным объединением, а для Минуглепрома УССР — энергомеханическим управлением Министерства.

Получатель при поступлении некачественной продукции должен до истечения срока гарантии вызвать представителя предприятия-изготовителя для составления двустороннего акта, если это предусмотрено в особых условиях поставки, других обязательных правилах или договоре. При однородной поставке вызов представителя предприятия-изготовителя (отправителя) и его явка для участия в проверке качества продукции и составления акта являются обязательными.

В уведомлении о вызове, направленном изготовителю, должно быть указано:

наименование машины (сборочной единицы), детали;

основные обнаруженные недостатки;

количество продукции ненадлежащего качества.

Уведомление о вызове представителя предприятия-изготовителя должно быть направлено (передано) ему по телеграфу (телефону) не позднее 24 ч после обнаружения несоответствия качества, если другие сроки не установлены для сторон обязательными правилами или договорами. Копия вызова остается в отделе главного механика объединения.

Представитель однородного предприятия-изготовителя обязан явиться по вызову не позднее, чем на следующий день. Представитель иногороднего предприятия-изготовителя обязан явиться не позднее чем в 3-дневный срок после получения вызова, не считая времени, необходимого для проезда, если иной срок не предусмотрен в особых условиях поставки, других обязательных правилах или договоре. Представитель предприятия-изготовителя должен иметь удостоверение на право участия в определении качества поступившей продукции.

При неявке представителя предприятия-изготовителя в установленный срок, проверка качества продукции проводится:

с участием компетентного представителя другого предприятия (представитель другого предприятия должен предъявить удостоверение);

либо с участием компетентного представителя общественности производственного объединения (ПО), выделенного его руководством из числа лиц, утвержденных решением профкома ПО (материально ответственные лица, а также осуществляющие учет, хранение, приемку и отпуск материальных ценностей, в качестве представителей общественности выделяться не должны);

либо односторонне службой главного механика ПО, если изготовитель дал согласие на одностороннюю приемку продукции.

Если между изготовителем (поставщиком) и получателем (покупателем) продукции возникнут разногласия в том, являются ли недостатки конструктивными или производственными и по чьей вине они возникли, то эти разногласия в 10-дневный срок передаются по соглашению сторон на рассмотрение соответствующего научно-исследовательского института или экспертов-специалистов, которые выбираются по согласованию или устанавливаются вышестоящими организациями.

Входной контроль оборудования осуществляется на ремонтных или ремонтно-механических заводах производственных объединений по добыче угля или ремонтных объединений, осуществляющих капитальный ремонт данного оборудования.

Для проведения входного контроля на всех РРЗ (РМЗ) создаются постояннодействующие комиссии. Председателем комиссии является директор или главный инженер ремонтного предприятия. Заместителем председателя является заместитель главного механика ПО, оборудование которого подвергается входному контролю.

Членами комиссии являются: начальник ОТК ремонтного предприятия, представитель лаборатории ремонта и надежности ГШО бассейнового НИИ, представитель монтажно-наладочного управления соответствующего ПО, представитель завода-изготовителя, представители специализированных отраслевых лабораторий (при их наличии в данном бассейне). В комиссию также включают главного механика шахты — получателя оборудования.

Для участия в проверке ГШО должны выделяться лица, компетентные (по роду работы, образованию, опыту трудовой деятельности) в вопросах определения качества и комплектности подлежащей приемке продукции.

Представителю, уполномоченному для участия в приемке продукции по качеству и комплектности, выдается надлежаще оформленное разовое удостоверение за подписью руководителя предприятия (организации) или его заместителя (приложение 7).

Если для участия в приемке продукции выделяется представитель общественности, то в удостоверении указывается также дата и номер решения заводского, фабричного или местного комитета, которым предприятию выделен данный представитель

Лица, которые привлекаются предприятием-получателем для

участия в приемке продукции, должны быть ознакомлены с соответствующими ГОСТами, техническими условиями, чертежами, образцами (эталоном), Основными и Особыми условиями поставки и договором, на основании которых произведена поставка данной продукции.

Лица, осуществляющие приемку продукции по качеству и комплектности, обязаны строго соблюдать правила приемки продукции и удостоверяют своей подписью только те факты, которые были установлены с их участием. Запись в акте данных, не установленных непосредственно участниками приемки, запрещается.

За подписание акта о приемке продукции по качеству, содержащего не соответствующие действительности данные, лица, подписавшие такой акт, несут установленную законом ответственность.

При проведении на ремонтном предприятии входного контроля оборудования используют: учтенные экземпляры рабочих чертежей, комплекты действующей НТД (стандарты, отраслевые нормы, технические условия и т. д.); набор контрольно-измерительных средств, который должен быть снабжен свидетельствами метрологических организаций; бланки карт входного контроля. Весь объем работ по входному контролю определяется в каждом случае комиссией. На заданный объем составляется рабочая программа.

В результате работы комиссия определяет:

наличие эксплуатационной документации, разработанной и утвержденной в установленном порядке по действующему ОСТу и в соответствии с ТУ;

соответствие объекта оборудования всем требованиям действующих технических условий, параметрам, характеризующим качество оборудования и его элементов до разборки, качество изготовления деталей, качество антикоррозионных покрытий.

Инструкция по входному контролю качества ГШО [50] включает в себя методические указания по контролю следующих составных частей оборудования: гидрооборудования, металлоконструкций секций крепи, насосных станций, линейных рештаков, отрезков цепи и приводов скребковых конвейеров, очистных и проходческих комбайнов, погрузочных машин и т. д.

По результатам приемки продукции по качеству и комплектности составляется акт о фактическом качестве и комплектности полученной продукции (приложение 8). Он должен быть оформлен в день окончания приемки продукции по качеству и комплектности и подписан всеми лицами, участвовавшими в проверке качества и комплектности продукции. Лицо, не согласное с содержанием акта, обязано подписать его с оговоркой о своем несогласии и изложить свое мнение.

К акту должны быть приложены:

документы изготовителя (отправителя), удостоверяющие качество и комплектность продукции;

упаковочные ярлыки из тарных мест, в которых установлены ненадлежащее качество и некомплектность продукции;

транспортный документ (накладная);
документ, удостоверяющий полномочие представителя, выделенного для участия в приемке;
акт отбора образцов (проб) и заключение по результатам анализа (испытания) отобранных образцов (проб);
другие документы, могущие свидетельствовать о причинах порчи (ухудшения) качества продукции или некомплектности ее.

Акт, устанавливающий надлежащее качество или некомплектность продукции, составленный с участием представителей, утверждается руководителем предприятия-получателя или его заместителем не позднее 3-дневного срока после составления акта.

Оформленный в установленном порядке акт направляется для реализации заводу-изготовителю, производственному объединению по добыче угля, поставившему данное оборудование на входной контроль, бассейновому НИИ. Заводу-изготовителю высылается сохраняемая расписка о принятии ГШО на ответственное хранение. Иногородний изготовитель (отправитель) в 10-дневный срок со дня получения указанного сообщения обязан распорядиться продукцией, от принятия которой получатель (покупатель) отказался.

Одногородний изготовитель (отправитель) обязан вывезти недоброкачественную продукцию в 5-дневный срок.

Претензия, вытекающая из поставки продукции, несоответствующей по качеству, комплектности, таре, упаковке и маркировке ГОСТам, техническим условиям, чертежам, должна быть предъявлена получателем (покупателем) изготовителю (отправителю, поставщику) не позднее 10 сут, а получателями (покупателями), находящимися в районах Крайнего Севера, отдаленных районах и других районах досрочного завоза, — не позднее 20 сут после составления акта. Если изготовитель или его местонахождение получателю (покупателю) не известны, претензия в двух экземплярах посылается отправителю (поставщику), который немедленно, после ее получения обязан направить один экземпляр изготовителю, известив об этом получателя (покупателя).

К претензии о поставке продукции ненадлежащего качества или некомплектной должны быть приложены акт и сопроводительные документы. В случаях, предусмотренных договором, к претензии должны прилагаться акт о сдаче продукции в металлолом и документы об использовании продукции на месте в соответствии с фактическим ее качеством.

Ответ на претензию должен быть дан не позднее 20-дневного срока после поступления претензии.

В этот же срок признанная по претензии сумма должна быть перечислена получателю. При полном или частичном отказе в удовлетворении претензии получателю возвращаются приложенные им к претензии подлинные документы с мотивированным письмом о причинах полного или частичного отказа. В тех случаях, когда поставщик (завод-изготовитель, РРЗ или РМЗ и т. д.) и потребитель (шахта, ремонтно-механический завод) не пришли к общему мнению, они могут передать свои претензии в арбитраж

Предприятия, подчиненные одному производственному объединению, рассматривают свои взаимные претензии через арбитражную комиссию объединения. Предприятия одной отраслевой подчиненности, не имеющие статус самостоятельной производственной единицы и пользующиеся правами юридического лица, рассматривают свои взаимные претензии через арбитраж Минуглепрома СССР. Предприятия, принадлежащие к разным Министерством, рассматривают свои взаимные претензии через Госарбитраж.

При оформлении претензий и при обращении в арбитраж необходимо привлекать к данной работе юриста предприятия или юридический отдел объединения. Это гарантирует юридическую достоверность актов и прилагаемых документов.

Анализ работы энергомеханических служб передовых производственных объединений показывает, что хорошо организованный входной контроль качества очистного оборудования снижает его аварийность на $10 \div 17$ %.

5.2. ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ГОРНО-ШАХТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЗАВОДАМИ-ИЗГОТОВИТЕЛЯМИ

Одним из перспективных направлений повышения эффективности использования очистного оборудования является внедрение системы технического обслуживания и ремонта данного оборудования заводами-изготовителями.

В угольной промышленности впервые данная система стала разрабатываться и внедряться по инициативе Копейского машиностроительного завода им. С. М. Кирова применительно к проходческому горно-шахтному оборудованию в производственных объединениях «Челябинскуголь» и «Карагандауголь» с 1977 г. В дальнейшем эта система была распространена на очистное оборудование (очистные комбайны, забойные конвейеры, механизированные крепи) и к ней были подключены основные заводы угольного машиностроения.

С 1982 г. при Донецком проектно-конструкторском технологическом институте создано специализированное управление по техническому обслуживанию и обеспечению запасными частями горно-шахтного оборудования «СпецГШОобслуживание», которое подчинено ВПО «Союзуглемаш».

В структуре управления «СпецГШОобслуживание» предусмотрены специализированные участки по монтажу, наладке, техническому обслуживанию и ремонту горно-шахтного оборудования, в состав которых включаются специалисты (механики) заводов-изготовителей механизированных крепей, очистных комбайнов, скрепковых конвейеров. Созданные специализированные участки, по сути дела, выполняют функции заводских районных бюро по техническому обслуживанию.

Основная задача управления «СпецГШОобслуживание» — повысить эффективность использования очистного горно-шахтного

оборудования за счет разработки совершенных конструкций машин, качественного их изготовления, качественного проведения технического обслуживания и ремонта, своевременного и полного обеспечения производственных объединений запасными частями к данному оборудованию для конкретных условий. Техническое обслуживание проходческого оборудования (проходческие комбайны, погрузочные машины) осуществляет Копейский машиностроительный завод им. С. М. Кирова через свои опорные пункты.

Специализированные участки «СпецГШОобслуживание» и опорные пункты Копейского машиностроительного завода осуществляют следующие функции: организуют за счет своевременного представления информации о конструкции новых машин, обучение обслуживающего и ремонтного персонала шахт и ремонтных заводов, грамотную эксплуатацию горно-шахтного оборудования; участвуют в проведении текущих ремонтов и устранении отказов оборудования в гарантийный и послегарантийный период; осуществляют надзор за правильной эксплуатацией оборудования; собирают и обрабатывают информацию о неисправностях и отказах деталей и сборочных единиц и их заменах как при плановых, так и внеплановых работах по техническому обслуживанию, текущему и капитальному ремонту и доводят ее до проектно-конструкторских институтов и заводов-изготовителей; разрабатывают рекомендации по модернизации конструкции ГШО, улучшению технологии изготовления и ремонта и участвуют совместно с институтами и заводами в их реализации; на основании учета шахт о заменах деталей и сборочных единиц выделяют остродефицитные запчасти для оперативной корректировки номенклатуры и объема их изготовления на заводе и обеспечивают данными запасными частями шахты и ремонтные заводы; содействуют модернизации оборудования на эксплуатационных и ремонтных предприятиях с учетом новых разработок и накопленного опыта в других бассейнах и на месте; разрабатывают предложения по нормам расхода запасных частей для текущих и капитальных ремонтов.

Для обеспечения работы «Системы технического обслуживания...» производственное объединение должно выполнять свои функции: выделяет и оборудует помещения для участка и районного бюро; выделяет и оборудует помещение под склады-магазины и централизованную базу запасных частей; выделяет жилплощадь для семей работников участка и бюро; выделяет достаточное количество транспорта для оперативной доставки запасных частей при отказах оборудования, а также для проведения планового технического обслуживания, текущих ремонтов на шахтах и капитального ремонта на ремонтном заводе; обеспечивает участок и бюро бесплатно электроэнергией, отоплением, телефонной и телеграфной связью, инвентарем и противопожарными средствами; обеспечивает проведение всех осмотров и текущих ремонтов в сроки согласно графику плановых ремонтов силами ремонтных бригад шахт, а также обеспечивает проведение капитальных ремонтов силами своих ремонтных предприятий; обеспечивает закрепление за

горной техникой постоянного обслуживающего персонала для ликвидации обезличенности; обеспечивает устранение нарушений требований инструкции по эксплуатации; обеспечивает выполнение обслуживающим персоналом правил эксплуатации и правил техники безопасности при работе на данном оборудовании; не допускает разборки и замены деталей горной техники в период гарантии без участия специалистов участка и бюро; незамедлительно сообщает специалистам участка и бюро о поломке горной техники в период ее гарантии; обеспечивает внедрение в производство принятых заводом-изготовителем предложений по модернизации изделий при капитальном ремонте; ведет учет в паспортах (формулярах) изделий и в другой документации всех неисправностей, замен деталей и сборочных единиц и проводимых работ по техническому обслуживанию, текущему и капитальному ремонту; обеспечивает централизованные базы и склады-магазины запасными частями, изготовление которых нормативами предусмотрено за ремонтными предприятиями, а также покупными изделиями.

Опыт работы районных бюро, межзаводских районных бюро по техническому обслуживанию и участков «СпецГШОобслуживание» показал высокую эффективность системы. Например, после внедрения данной системы количество отказов проходческого оборудования в п. о. «Челябинскуголь» сократилось на 32 %, в п. о. «Карагандауголь» на 22 %; темпы проходки горных выработок комбайном ГПК повысились на 8 %. Техническое обслуживание заводом-изготовителем внесло изменения в существующий порядок движения запасных частей, при котором детали при поступлении с завода на базу УМТС в основном распределялись по шахтам, исходя из заявок шахт. На базах УМТС п. о. «Челябинскуголь» и «Карагандауголь» были созданы склады-магазины районных бюро завода с необходимыми запасными частями.

Данное изменение привело к упорядочению обеспечения запасными частями и сокращению их расхода на эксплуатацию и капитальный ремонт. В п. о. «Челябинскуголь» расход запасных частей за указанный период снизился с 222,8 тыс. руб. до 153,4 тыс. руб.; в п. о. «Карагандауголь» за тот же период удельный расход запасных частей по комбайну ГПК сократился с 830 руб. до 650 руб. По очистным комбайнам Горловского машиностроительного завода им. С. М. Кирова в 1980 г. расход запасных частей на шахтах п. о. «Донбассантрацит», «Артемуголь», «Интауголь», «Ленинскуголь», «Кузбассуголь», «Южкузбассуголь», «Павлоградуголь» снизился на 6 %.

Заводом по рекомендации Воркутинского бюро ФТО было проведена модернизация серийно выпускаемых очистных комбайнов.

При полном внедрении системы технического обслуживания и ремонта ГШО заводами-изготовителями должен быть решен вопрос о дефиците запчастей, чем будет достигнуто рациональное использование мощностей заводов и материальных ресурсов, существенно повышен коэффициент использования проходческого и очистного оборудования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предупреждение повреждений и отказов очистного оборудования является проблемой, решение которой особенно актуально сейчас и будет более актуально в будущем. Это объясняется возрастающим уровнем автоматизации очистных механизированных комплексов, усложнением горно-геологических условий, ростом нагрузки на оборудование комплекса. Общая тенденция развития техники показывает, что с ростом ее сложности и производительности требования к надежности элементов становятся более жесткими. Например, П. Белянин отмечает, что для гибких производственных систем (ГПС) наработка на отказ технологического оборудования (время до первой поломки) должна быть в 8—10 раз больше, чем у универсальных металлорежущих станков. Для очистного оборудования среднюю наработку на отказ необходимо повысить не менее чем в 5—10 раз, чтобы обеспечить безотказную работу в течение недели, а в дальнейшем и в течение месяца. Это может быть обеспечено только постоянными совместными усилиями проектно-конструкторских организаций, научно-исследовательских институтов, заводов-изготовителей, шахт и ремонтных предприятий. Основу таких совместных работ должны составлять мероприятия: по повышению ресурса лимитирующих рабочих поверхностей деталей и самих деталей; по обеспечению равноресурсности деталей, сборочных единиц и составных частей или гарантированных кратных ресурсов сборочных единиц и составных частей в пределах как отдельной единицы оборудования, так и систем машин, которые входят в очистной механизированный комплекс; по полному использованию ресурса, который имеют элементы машин после изготовления, и свойств материала деталей; по качественному выполнению в полном объеме плановых работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования, грамотному управлению машиной и применению оборудования в условиях, которые оговорены в его технической характеристике.

Повышение надежности очистного оборудования должно сводиться к повышению надежности деталей и сборочных единиц, лимитирующих ресурс машины. Для этого необходимо вести постоянный и грамотный учет и анализ повреждений и отказов очистного оборудования, разрабатывать и реализовывать мероприятия, направленные на повышение надежности лимитирующих элементов машин и поддержание надежности машин в эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года. М., Издательство политической литературы, 1981.
2. Меламедов И. М. Физические основы надежности. Л., Энергия, 1970.
3. Рахутин Г. С., Белкин И. Л., Грязнов Б. П. Методика учета факторов в моделях расчета надежности при проектировании очистных комбайнов. М., Сб. Надежность сложных систем, ВНИИМаш, 1982, вып. 43, с. 72—78.
4. Рахутин Г. С., Грязнов Б. П. Влияние конструкции, качества изготовления и условий эксплуатации на надежность элементов очистных комбайнов. М., Горные машины и автоматика, 1983, № 5, с. 2—4.
5. Коллегаев Р. Н. Определение наивыгоднейших сроков службы Экономиздат, 1963.
6. Лаврухина Л. Я., Лаврухин В. Н., Галанович Л. Н. Экономическая эффективность повышения надежности технологических схем очистных работ. М., ЦНИИЭИУголь, 1975.
7. Лукацкий Я. И. Теория корреляции и ее применение к анализу производства. М., Госстандарт, 1961.
8. Временные нормативы технического обслуживания и ремонта основного подземного оборудования угольных шахт Минуглепрома СССР, М., изд. ИГД, им. А. А. Скочинского, 1980.
9. Шмарьян Е. М., Батура В. П. Определение ресурсов сборочных единиц очистных комбайнов 2К52М по их эксплуатационной нагруженности. Сб. Научные сообщения. М., ИГД им. А. А. Скочинского, 1982, вып. 205, с. 113—117.
10. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. М., Машиностроение, 1977.
11. Иванова В. С., Терентьев В. Ф. Природа усталости металлов. М., Металлургия, 1975.
12. Хевилэнд Р. Инженерная надежность и расчет на долговечность. М.-Л., Энергия, 1966.
13. Солод Г. И., Морозов В. И., Провоторов В. П. Погрешность оценки расходов ресурса выемочных машин, обусловленная квантованием контролируемого параметра по уровню. — Изв. вузов. Горный журнал, 1976, № 1, с. 78—83.
14. Морозов В. И., Провоторов В. Н. Выбор источника первичной информации для системы прогнозирования состояния выемочных комбайнов. Изв. вузов, — Горный журнал, 1975, № 6, с. 142—144.
15. Денисенко Е. В., Морозов В. И. Выбор критерия для оценки ресурса очистных комбайнов. — Уголь, 1984, № 4, с. 9—13.
16. Дружинин В. В., Конторов Д. С. Вопросы военной системотехники. М., Военное издательство Министерства обороны СССР, 1976.
17. Одум Г., Одум Э. Энергетический базис человека и природы. М., Прогресс, 1978.
18. Методика проведения стендовых ресурсных ускоренных испытаний трансмиссией режущих частей очистных комбайнов/Х. И. Хазанов, Е. И. Трушина, П. В. Семенча и др. М., ИГД им. А. А. Скочинского, 1980.
19. Ремонт забойных машин/Б. П. Воробьев, В. П. Воробьев, Ю. Л. Ковенский и др. М., Недра, 1976.
20. Инструкция по выбору параметров и критериев технического и предельного состояния оборудования угольных шахт. М., ИГД им. А. А. Скочинского, 1982.
21. Бэр Г. Д. Техническая термодинамика. М., Мир, 1977.
22. Классификатор ЕСКД. Классы 71, 72, 73, 74, 75, 76. Приложение. Алфавитно-предметный указатель. Термины и толкования. Перечень сокращений слов. Условные обозначения. М., ВНИИМаш, 1980.

23. Молдавский Л. А., Финкельштейн Э. Л., Верклов Б. А. Виды поврежденной и долговечность трансмиссий горных машин. М., Недра, 1981.
24. Повышение прочности и долговечности горных машин/А. В. Докукин, П. В. Семенча, Е. Е. Гольдбух, Ю. А. Зислин, М., Машиностроение, 1982.
25. Солод Г. И., Шахова К. И., Русихин В. И. Повышение долговечности горно-шахтного оборудования. М., Машиностроение, 1979.
26. Круглозвенные цепи и соединительные звенья для горного оборудования. Тр. ВНИИПТуглемаш, вып. 19, М., 1975, 186 с.
27. Лакадemonский А. Д., Кваша Ф. С., Медведев Я. И., Шерман А. Д., Киян Э. Ф. Литейные дефекты и способы их устранения. М., Машиностроение, 1972, 152 с.
28. Котляревский Г. П. Основы повышения надежности и долговечности горношахтного оборудования. М., Недра, 1971.
29. Николаев Р. С. Причины поломок деталей подвижного состава и рельсов. М., Трансжелдориздат, 1954.
30. Фрактография и атлас фрактограмм. Справочник. Перевод с англ. М., Металлургия, 1982.
31. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Классификация видов поверхностей разрушения (изломов) металла. Рекомендации. Госстандарт СССР, ВНИИНАМАШ, М., 1979, 49 с.
32. Атлас дефектов стали. Пер. с нем. М., Металлургия, 1979, 188 с.
33. Коваленко В. С. Металлографические реактивы. Справочник. 3-е изд. М., Металлургия, 1981.
34. Шиммель Г. Методика электронной микроскопии. Пер. с немецкого, М., Мир, 1972.
35. Тьлкин М. А. Справочник термиста ремонтной службы. М., Металлургия, 1981.
36. Утевский Л. М. Электронно-микроскопическая фрактография (альбом). М., Металлургия, 1973.
37. Проектирование машиностроительных заводов и цехов. Справочник в 6 томах под общей редакцией Е. С. Ямпольского. т. 5, М., Машиностроение, 1975.
38. Методика определения экономического ущерба от отказов. М., Издательство стандартов, 1975.
39. Денисенко Е. В., Морозов В. И. Расчет динамической структуры ремонтного цикла очистных комбайнов. Вибл. указат. ВИНТИ, деп. рук., вып. 11 (145), М., 1983, с. 108.
40. Положение о планово-предупредительной системе технического обслуживания и ремонта оборудования угольных и сланцевых шахт Министерства угольной промышленности СССР, М., ИГД им. А. А. Скочинского, 1981.
41. Положение о планово-предупредительном ремонте оборудования и транспортных средств угольной и горнорудной промышленности. М., Углетехиздат, 1965.
42. Талаякер Л. Е. Методы оптимизации профилактики сложных машин. М., Знание, 1971.
43. Козлов Ю. С. Очистка автомобилей при ремонте. М., Транспорт, 1981.
44. Иващенко Н. И. Технология ремонта автомобилей. Киев, Высшая школа, 1977.
45. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник под редакцией Г. С. Самойловича, М., Машиностроение, 1976.
46. Номенклатурный каталог изделий на 1982—1983 гг. Средства неразрушающего контроля, приборы охранной сигнализации и ограничители грузоподъемности. Кишинев, Тимпул, 1981.
47. Воловик Е. Л. Справочник по восстановлению деталей. М., Колос, 1981.
48. Морозов В. И., Шубина Н. Б. Наклеп дробью тяжелоагрессивных зубчатых колес. М., Машиностроение, 1972.
49. Морозов В. И., Морозов Г. И. Способы повышения долговечности восстановленных деталей горного оборудования. М., Цветметинформация, 1974.
50. Инструкция по входному контролю качества горно-шахтного (очистного и проходческого) оборудования. М., ИГД им. А. А. Скочинского, 1981.

Приложение 1

Форма 5 (ОСТ 12.44.024—82)

Учет неисправностей при использовании изделия по назначению

Дата, время и место отказа изделия или его составных частей	Причина неисправности (отказ), продолжительность работы отказавшей составной части, ч	Принятые меры по устранению неисправности, расход ЗИП	Средняя трудоемкость ликвидации неисправности (отказа), чел-ч	Длительность простоя изделия из-за неисправности (отказа), ч	Должность, фамилия и подпись ответственного за устранение неисправности

Примечание. Форму в формуляре не заполнять, если на предприятии-потребителе изделия ведется учет в другом документе, принятом в отрасли.

Форма 6 (ОСТ 12.44.024—82)

Сведения о замене деталей и сборочных единиц за время использования изделия по назначению

Дата замены	Обозначение детали, сборочной единицы	Причины замены (характер повреждения)	Срок службы в календарных днях	Ресурс в объемных показателях	Должность, фамилия и подпись ответственного лица

Приложение 2

Журнал регистрации донесений об отказах

№ донесения	Дата	Наименование изделия	Наименование и № детали	Причина повреждения	Величина ущерба, руб.	Предлагаемый виновник	Принятые меры

Приложение 3

Журнал учета донесений об отказах и причинах разрушений (деформаций)

№ донесения	Дата	Изделие	Деталь	Вид разрушения, деформации	Код вида повреждения, деформации	Наработка детали		Причина разрушения			Код причины разрушения	Принятые меры
						Календарное время, сут	Машинно-часы (эквивалентное время в часах)	Установлено в шахте	Установлено в лабораториях	Окончательно установленного		

Приложение 4

Технический паспорт на горно-шахтное оборудование

Оборудование				Сборочная единица			Деталь			Состояние деталей						
Наименование	Код	Место установки	Идентификационный номер	Наименование	№ по чертежу	Код	Наименование	№ по чертежу	Код	1-й ремонт		2-й ремонт		3-й ремонт		
										до ремонта	после ремонта	до ремонта	после ремонта	до ремонта	после ремонта	

Приложение 5

Лицевая сторона

Заключение о причинах разрушения

(номер чертежа и наименование)

Характер разрушения

Макроструктура

Фото

Результат химического анализа

Элементы										Прочие	Марка материала	
C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	V	Mo			по результатам исследования	по ТУ чертежа

Механические свойства

Испытания на растяжение (ГОСТ 1497—73)					Испытания на удар (ГОСТ 9454—78)
Диаметр образца, мм	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость, Дж/м ²

Обратная сторона

Качество термобработки

Твердость (ГОСТ 9012—59, 9013—59)

До отпуска							После дополнительного отпуска						
поверхности				сердцевины			поверхности				сердцевины		
HRC	HRA	HRB	HB	HRC	HRB	HB	HRC	HRA	HRB	HB	HRC	HRB	HB

Глубина слоя, мм

цементованного	нитроцементованного	закаленного ТВЧ	гальванического покрытия

Структура

поверхности	сердцевины

Заключение _____

Исследование проводил _____

Начальник лаборатории _____

Акт

рассмотрения аварии с очистным горно-шахтным
оборудованием,

происшедшей 198 г.

1. Наименование аварии:
2. Наименование шахты и ее адрес. Наименование производственного объединения, в которое входит шахта:

3. Состав комиссии:

председатель _____
(ф., и., должность)

члены комиссии _____
(ф., и., должность)

4. Характеристика места, где установлен объект, на котором произошла авария, участок, лава, пласт, мощность и угол наклона пласта, характеристика кровли и почвы, сопротивляемость угля разрушению, наличие и вид включений и т. д.

5. Характеристика объекта, на котором произошла авария: инвентарный номер, завод-изготовитель (для нового оборудования); ремонтный завод (для оборудования после капитального ремонта); монтажно-наладочная организация (для оборудования после его монтажа и наладки); дата установки оборудования и начала его работы; наработка в тыс. т угля, машино-ч, экв.ч.

6. Квалификация обслуживающего и ремонтного персонала, который работал, обслуживал и ремонтировал оборудование: фамилия, имя, отчество, табельный номер, год рождения, специальность, образование, общий стаж работы по специальности, в том числе на данном оборудовании; где и когда проходил обучение (проверку знаний в квалификационной комиссии).

7. Краткое описание аварии.

8. Обстоятельства аварии (прилагаются, если это необходимо, схемы, эскизы, протоколы, экспертные заключения и пр.).

9. Статистические сведения:

длительность простоя фактическая (ч); потери добычи (тыс. т угля); материальный ущерб, причиненный аварией (руб.).

10. Были ли ранее на данной шахте, участке, объекте аналогичные аварии, разрабатывались ли мероприятия по предупреждению аварий (когда, кем и какие) и выполнение этих мероприятий.

11. Заключение комиссии, расследовавшей аварию:

а) причины аварии;

б) предложенные комиссией технические и организационные мероприятия с указанием сроков исполнения;

в) кто виновен в аварии и меры взыскания, предлагаемые комиссией по расследованию.

Расследование произведено, акт составлен

_____ (дата)

Приложение: материал расследования на _____ листах

ф., и., о., подписи _____

Приложение 7

Удостоверение представителя общественности

_____ (наименование предприятия)

Дата _____

№ _____

Удостоверение

Выдано тов. _____, работающему на _____ (наименование

_____ в должности _____ (предприятия)

_____, стаж работы по специальности

на право участия в качестве представителя общественности в приемке _____

_____ (наименование продукции)

по количеству (качеству), поступившего в адрес _____

_____ по транспортной (наименование предприятия)

накладной № _____

Тов. _____ выделен представителем общественности решением заводского

комитета профсоюза № _____

от _____ 19____ г., материально-ответственным лицом не является, с учетом

и хранением материальных ценностей не связан.

Руководитель предприятия

или его заместитель

_____ (подпись)

Акт приемки продукции по качеству

«Утверждаю»

(наименование и адрес предприятия,
составившего акт)

Руководитель предприятия или его
заместитель

(подпись)

_____ 198 _____ г.

Акт № 43
приемки продукции по качеству

Место составления акта и приемки продукции _____

Производственное объединение _____

Время начала приемки продукции _____

Время окончания приемки _____

Комиссия в составе: _____

С участием представителя поставщика, незаинтересованной организации, об-
щественности _____

Дата и № удостоверения представителя _____

Комиссия ознакомлена с Инструкцией о порядке приемки продукции про-
изводственно-технического назначения и товаров народного потребления по ка-
честву.

Наименование поставщика _____

Наименование и адрес отправителя (изготовителя) _____

Дата и номер телеграммы или телефонограммы о вызове представителя,
отправителя (изготовителя) _____

Номер и дата договора (наряда) на поставку продукции _____

Дата и № счета-фактуры _____

Дата и номер транспортной накладной _____

Дата и номер документа, удостоверяющего качество продукции, паспорт
(комплектовочная ведомость) _____

Станция и дата отправителя _____

Станция (порт, пристань) назначения и дата прибытия продукции _____

Время выдачи груза органом транспорта _____

Время вскрытия вагона, контейнера, автофургона и других опломбированных средств _____

Дата и № коммерческого акта _____

Время доставки груза на склад получателя _____

Условия хранения груза на складе получателя _____

Состояние тары и упаковки в момент осмотра продукции, содержание наружной маркировки тары, в чьей таре, упаковке предъявлена для осмотра продукция (изготовителя или отправителя) _____

Дата вскрытия тары и упаковки _____

Замечания по маркировке, таре, упаковке, а также количеству продукции, к которым относится каждый из обнаруженных недостатков _____

Если проводилась выборочная проверка продукции (на каком основании: ГОСТ, ТУ, особые условия поставки, другие обязательные правила, договор), то порядок отбора продукции _____

За чьими пломбами (отправителя или органа транспорта) отгружена и поступила продукция, исправность пломб, оттиски на них отправителя _____

Транспортная и отправительная маркировка мест (по документации и фактически) _____

Наличие или отсутствие улаковочных ярлыков, пломб на отдельных местах _____

Отметка о выдаче груза на основании ст. 65 Устава железных дорог _____

Количество (масса), полное наименование и перечисление предъявленной к проверке и фактически проверенной продукции.

Наименование продукции (товара)	Единица измерения	Цена	По документам поставщика	Фактически поступило			
			к-во (сумма)	к-во	сумма	в том числе брак	
						к-во	сумма

Указать продукцию, сорт которой не соответствует сорту, указанному в его документе, удостоверяющем ее качество _____

Подробное описание выявленных недостатков и их характер _____
указать конкретные недостатки _____

Основания, по которым продукция переводится в более низкий сорт, со ссылкой на стандарт, технические условия, другие обязательные правила (указать) _____

Количество некомплектной продукции, перечень недостающих частей, узлов и деталей и их стоимость (перечислить) _____

Номера ГОСТов, ТУ, чертежей, образцов (эталонов), по которым производилась проверка качества продукции, указать номер ГОСТ или др. _____

Номер браковщика предприятия-изготовителя продукции, если на продукции такой номер имеется _____

Указать, сделан ли отбор образцов (проб) и куда они направлены _____

Другие данные, которые, по мнению комиссии, необходимо указать в акте для подтверждения ненадлежащего качества или некомплектности продукции _____

Заключение комиссии о характере выявленных дефектов в продукции и причинах их возникновения: некомплектная (некачественная) поставка произошла по вине отправителя, отгрузившего не все узлы (детали) или некачественное оборудование _____

Члены комиссии предупреждены об ответственности за подписание акта, содержащего данные, не соответствующие действительности.

Подписи членов комиссии: 1. _____ 2. _____
3. _____ 4. _____

Представители поставщика, _____
незаинтересованной организации,
общественности _____
(подписи)

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1 Надежность очистного оборудования	7
1.1. Особенности условий эксплуатации	7
1.2. Оценка надежности очистного оборудования	9
1.3. Выбор, нормирование и контроль показателей надежности	18
1.4. Расчет оптимального среднего ресурса очистного комбайна на стадии проектирования	25
1.5. Расчет показателей безотказности очистного комбайна на стадии проектирования	31
1.6. Оценка ресурса очистного оборудования по эквивалентному времени	37
1.7. Оценка равноресурсности деталей очистного оборудования	56
1.8. Фактическая надежность очистного оборудования	69
2. Характерные виды разрушения деталей очистного оборудования	76
2.1. Классификация деталей	76
2.2. Виды разрушений деталей	88
2.3. Причины разрушений деталей	99
3. Методика анализа разрушенных деталей	124
3.1. Анализ разрушенных деталей на горном предприятии	125
3.2. Анализ разрушенных деталей в лаборатории	138
3.3. Заключение о характере и причине разрушения детали	146
4. Способы обеспечения и поддержания надежности очистного оборудования	154
4.1. Обеспечение надежности при изготовлении деталей	154
4.1.1. Предупреждение дефектов	154
4.1.2. Совершенствование технологических процессов	164
4.2. Поддержание надежности очистного оборудования при эксплуатации	164
4.3. Расчет структуры ремонтного цикла очистного оборудования	168
4.4. Поддержание надежности при восстановлении деталей	175
5. Взаимоотношения между заводами-изготовителями, шахтами и ремонтными предприятиями при обнаружении повреждений и отказов деталей очистного оборудования	193
5.1. Входной контроль качества очистного оборудования	194
5.2. Организация системы технического обслуживания и ремонта горно-шахтного оборудования заводами-изготовителями	200
Заключение	203
Список литературы	204
Приложения	206

Нелли Борисовна Шубина
Борис Петрович Грязнов
Илья Михайлович Шахтин
Владимир Игнатьевич Морозов
Владимир Георгиевич Березкин

**ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ
ЗАБОПНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

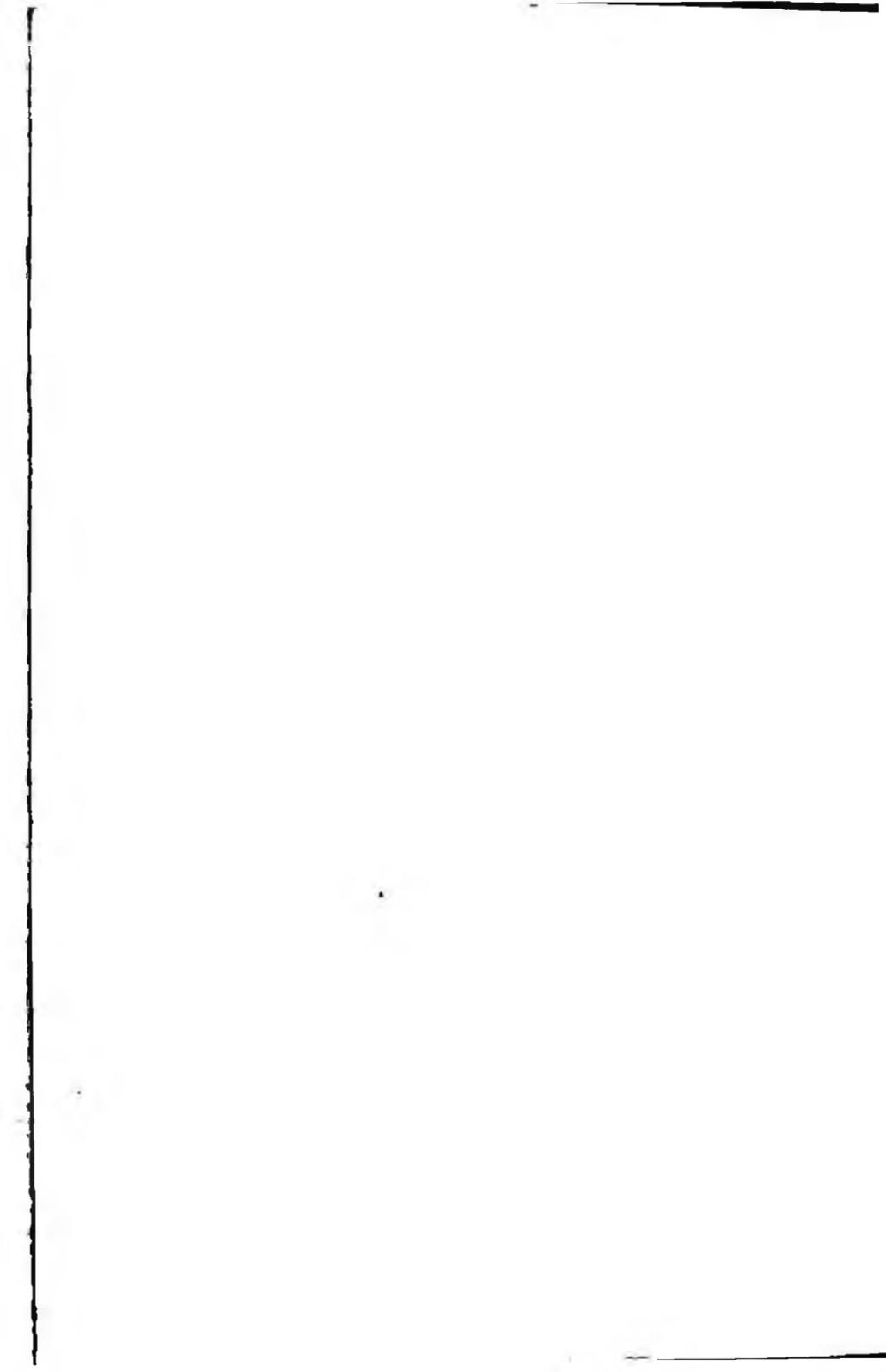
Редактор издательства *О. Н. Кожина*
Обложка художника *А. Е. Чучканова*
Художественный редактор *О. Н. Зайцева*
Технический редактор *О. А. Колотвина*
Корректор *В. И. Нанкина*

ИБ № 4828

Сдано в набор 24.05.85. Подписано в печать 23.09.85. Т-18576. Формат 60×90^{1/8}. Бумага типографская № 1. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 13,5. Усл. кр.-отт. 13,75. Уч.-изд. л. 14,84. Тираж 3700 экз. Заказ 394/8805-12. Цена 80 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра»,
103633, Москва, К-12, Третьяковский пр., 1/19.

Московская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.



80 коп.

НЕДРА