

5227
У-51

А.И. ОКОНИШНИКОВ
В.Я. ЗАПСЕЛЬСКИЙ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ
И РЕМОНТ
ОБОРУДОВАНИЯ
НА УГЛЕ-
ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ
ФАБРИКАХ

622,7 | 33347
0-51 | ОКОШНИКОВ

Книга должна быть возвращена не
позже указанного здесь срока

Количество предыдущих выдач _____

27/VI 215

28/IV-86 1128

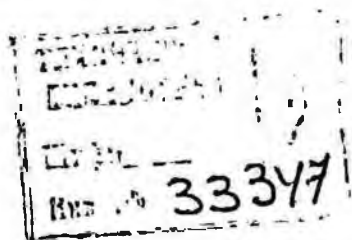
77

2005.

622, 7

А. И. ОКОНИШНИКОВ, 0-51
В. Я. ЗАПСЕЛЬСКИЙ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ
И РЕМОНТ
ОБОРУДОВАНИЯ
НА УГЛЕ-
ОБОГАТИТЕЛЬ-
НЫХ
ФАБРИКАХ



МОСКВА „НЕДРА“ 1976

Окопишиников А. И., Запсельский В. Я. Эксплуатация и ремонт оборудования на углеобогащительных фабриках. М., «Недра», 1976, 288 с.

В книге изложены условия монтажа, эксплуатации и организации ремонта оборудования углеобогащительных фабрик. Рассмотрены способы определения периодичности технического обслуживания и ремонта оборудования. Изложены вопросы организации смазки оборудования.

Значительное внимание уделено вопросам исследования надежности оборудования, способам сбора и обработки исходных данных по отказам отдельных видов оборудования и его узлов. Изложены методы расчета надежности сложных систем и вопросы повышения надежности на примере отдельных типов оборудования. Приведена экономическая модель резервирования оборудования.

Книга предназначена для инженерно-технических работников обогатительных фабрик проектных и научно-исследовательских институтов.

Табл. 69, ил. 69, список лит. — 67 назв.

ВВЕДЕНИЕ

В СССР обогащение углей развивается высокими темпами. Одновременно с развитием обогащения углей происходит техническое перевооружение предприятий и повышение на этой основе технологической эффективности работы обогатительных фабрик. Углеобогатительные фабрики должны оснащаться более совершенными машинами и аппаратами.

При создании новых машин для углеобогащения стремятся повышать технологическую эффективность их работы, увеличивать общую и удельную производительность, широко применять средства автоматического управления. Это ведет к усложнению их конструкции, увеличению количества узлов и деталей, требующих особого внимания обслуживающего и ремонтного персонала. Кроме того, поточность технологического процесса обогащения углей значительно усиливает влияние взаимосвязи между отдельными технологическими звеньями внутри фабрик и отдельными машинами и аппаратами внутри звеньев. Рост этих взаимосвязей предъявляет повышенные требования к качеству эксплуатируемого оборудования.

В этой связи наряду с принятием практических мер, а также разработкой рекомендаций и нормативных материалов по повышению надежности, в том числе и по одному из способов ее повышения — совершенствованию технического обслуживания и ремонта оборудования, целесообразно обобщить и проанализировать материалы исследований по указанным вопросам.

В книге на основе теоретических исследований и обобщения практического опыта повышения уровня качества оборудования в угольной и ряде других отраслей промышленности решен ряд теоретических и практических вопросов по совершенствованию ремонтного дела и повышению надежности оборудования в углеобогащении. Результаты проведенных исследований явились теоретической и методической основой разработки ряда рекомендаций и нормативных документов для углеобогащения по вопросам совершенствования ремонта.

Первый раздел книги написал А. И. Оконешниковым, второй раздел — В. Я. Запсельским.

При написании главы III использованы материалы инструкций по монтажу, уходу и эксплуатации отдельных типов оборудования, разработанных институтом Гипромашуглеобогащение, в связи с чем авторы приносят искреннюю благодарность начальникам конструкторских отделов этого института за любезно оказанную помощь в предоставлении указанных инструкций.

Авторы выражают глубокую признательность В. Д. Роговскому за весьма ценные замечания и пожелания, сделанные при рецензировании рукописи.

Все критические замечания читателей, направленные на улучшение книги, будут приняты авторами с благодарностью.

Раздел I

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ ОБОРУДОВАНИЯ

Глава I

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ

§ 1. Выбор системы технического обслуживания и ремонта оборудования

Безотказная работа оборудования во многом определяет экономику углеобогадательной фабрики, так как внезапные остановки в результате неисправностей и неполадок нарушают технологические процессы, ведут к увеличению потерь угля с отходами, снижению качества продуктов обогащения и т. д.

Поддержание оборудования в работоспособном состоянии и восстановление его важнейших эксплуатационных характеристик достигается системой ремонта.

Под системой планово-предупредительного ремонта (ППР) обычно подразумевают совокупность запланированных организационных и технических мероприятий по надзору, обслуживанию и ремонту оборудования, проводимых с целью предупреждения неожиданного выхода его из строя.

Так как на углеобогадательных фабриках выполняются не только плановые, но и внеплановые ремонты, то весь комплекс работ по поддержанию оборудования в работоспособном состоянии (включая и планово-предупредительные) назван системой технического обслуживания и ремонта.

В ГОСТ 18322—73 дано следующее определение системы технического обслуживания и ремонта — комплекс взаимосвязанных положений и норм, определяющих организацию и порядок проведения работ по техническому обслуживанию изделий для заданных условий эксплуатации с целью обеспечения показателей качества, предусматриваемых в нормативной документации.

На качество ремонтов, сокращение времени их выполнения, снижение стоимости и трудоемкости оказывают влияние разнообразные факторы.

В положении о ППР [1] все факторы разделены на две группы: организационные и технические. Применительно к системе технического обслуживания и ремонта оборудования углеобогадательных фабрик эти группы факторов следующие:

организационные — формирование ремонтных бригад и выбор оборудования для закрепления за бригадами, время

и продолжительность остановок фабрик на ремонт, участие обслуживающего персонала в подготовке и проведении межремонтного технического обслуживания и ремонта, организация учета ремонтных работ, обеспечение запасными частями, материалами, оборудованием;

технические — оснащение ремонтных площадок, прокладка сетей сжатого воздуха и электросети для подключения электро-сварочных (и других) аппаратов, оснащенность ремонтно-механических мастерских, своевременная модернизация и замена оборудования, восстановление деталей и повышение сроков службы, разработка и периодический пересмотр ремонтных нормативов, разработка технологии ремонта, разработка и внедрение методов и способов технического диагностирования оборудования.

Однако не только эти группы факторов влияют на качество ремонтов и производительность труда ремонтных рабочих. Имеется целый ряд других факторов, как, например, система оплаты труда ремонтных рабочих, повышение их квалификации, организация социалистического соревнования, обобщение и распространение передовых методов ремонта, анализ стоимости ремонта, проводимого ремонтниками фабрик или подрядными организациями, широкое привлечение к работе рационализаторов и изобретателей.

Все эти факторы могут быть объединены в третью группу — социально-экономическую. Деление всех факторов на три группы носит, конечно, несколько условный характер, но тем не менее группировка облегчает решение вопросов о том, какой комплекс факторов и в какой степени влияет на качество ремонтов, их своевременное выполнение, производительность труда ремонтников.

Совокупность всех указанных факторов и составляет сущность системы технического обслуживания и ремонта оборудования углеобогатительных фабрик.

К системе технического обслуживания и ремонта оборудования фабрик предъявляются противоречивые требования. С одной стороны, ввиду поточности технологического процесса, необходимо обеспечить требуемый уровень безотказности. Это требует при существующей практике назначения объемов и периодичности технического обслуживания и ремонта значительных затрат времени и средств. С другой стороны, необходимо обеспечить экономичность эксплуатации оборудования фабрик.

Выбор оптимальных условий проведения технического обслуживания и ремонта, при которых обеспечиваются достаточно высокая надежность оборудования и системы ремонта при наименьших простоях фабрик и затратах средств, должен составлять основной предмет исследований, проводимых в данной области, а также служить предметом постоянного внимания эксплуатационного персонала.

Выбор системы определяется видом оборудования (его кон-

структивным исполнением), назначением и режимом работы предприятия, где оно эксплуатируется; количеством и качеством информации, получаемой о техническом состоянии машин, а также экономическими последствиями от возникновения внезапных отказов.

Проведенные исследования [2] показывают, что на фабриках целесообразно стремиться к максимальному использованию суточного фонда времени. Поэтому система ремонта должна способствовать сокращению времени простоя фабрик при ремонте, а вероятность безотказности работы фабрик за время между остановками их на планово-предупредительный ремонт должна стремиться к максимуму.

При работе флотационных, отсадочных и других машин износ отдельных деталей влияет на качественно-количественные показатели их работы и поэтому должны быть установлены предельно допустимые степени износа этих деталей.

Характерной особенностью для всех типов оборудования является структура затрат на его ремонт, в которой преобладающая часть (до 70—75%) приходится на долю вспомогательных материалов, поэтому экономия расхода запасных частей и материалов должна находить отражение в планировании профилактических мероприятий.

Система ремонта должна обеспечивать также четкое распределение обязанностей между ремонтным и обслуживающим персоналом при выполнении работ, предусматриваемых межремонтным техническим обслуживанием.

Таким образом, система технического обслуживания и ремонта оборудования фабрик должна предусматривать такую периодичность и такой перечень выполняемых операций, при которых обеспечивается не только выполнение фабрикой заданных показателей как по переработке рядовых углей, так и по качеству получаемых продуктов обогащения, но и получение максимальной прибыли за счет обеспечения постоянной технической готовности оборудования к эксплуатации, экономии расхода запасных частей и материалов и максимального использования обслуживающего персонала для выполнения работ по межремонтному техническому обслуживанию.

Система технического обслуживания и ремонта (рис. 1) предусматривает два вида работ: межремонтное техническое обслуживание и ремонты.

Такое деление работ по восстановлению работоспособности оборудования хотя и имеет несколько условный характер, но является целесообразным, так как представляет в основном два разнохарактерных комплекса работ.

Межремонтное техническое обслуживание — это профилактические работы по смазке, регулированию, очистке, уборке, направленные на снижение интенсивности износа и предупреждение неисправностей, осмотру и проверке состояния и действия

механизмов, замене наиболее быстроизнашивающихся деталей, срок службы которых меньше межремонтного периода.

Кроме того, при межремонтном техническом обслуживании производится замена деталей, имеющих большой разброс ресурса. Плановые ремонты как текущие, так и капитальные здесь рассматриваются как устранение постепенных отказов.



Рис. 1. Система технического обслуживания и ремонта оборудования углеобогачительных фабрик

Согласно действующему в настоящее время в угольной промышленности положению о ППР для обслуживающего и ремонтного персонала предусматриваются следующие виды межремонтного технического обслуживания:

ОМ — ежесменное техническое обслуживание, выполняемое обслуживающим персоналом;

ОР — ежесуточное техническое обслуживание, выполняемое ремонтным персоналом;

ОН — еженедельное техническое обслуживание, выполняемое ремонтным персоналом.

Опыт эксплуатации показал, что для оборудования углеобогачительных фабрик не целесообразно строго придерживаться указанной периодичности технического обслуживания.

Оборудование фабрик очень различно по конструкции, последствия отказов разных видов его также различны, одно оборудова-

ние имеет резерв, другое не имеет. Кроме того, значительная часть оборудования совершенно не нуждается в ежедневном техническом обслуживании. Поэтому устанавливать для всего оборудования фабрик одинаковую периодичность межремонтного технического обслуживания не следует.

Проведенные исследования показали, что в зависимости от конструкции оборудования, наличия резерва, последствий отказов, условий эксплуатации и т. д. периодичность проведения межремонтного технического обслуживания, выполняемого ремонтным персоналом, может колебаться от одного до десяти дней.

В связи с изложенным предусматривать для ремонтного персонала углеобогажительных фабрик два вида технического обслуживания (ОР и ОН) нет необходимости. вполне достаточно одного — объединяющего оба указанных вида межремонтного технического обслуживания. Таким образом, для оборудования углеобогажительных фабрик в зависимости от категории выполняющих ремонт рабочих межремонтное техническое обслуживание разделяется на:

ОМ — ежедневное техническое обслуживание, выполняемое обслуживающим персоналом;

ОР — техническое обслуживание, выполняемое ремонтным персоналом (с оптимальной периодичностью для конкретного оборудования).

Так как никакая разборка машины или узла в условиях фабрик и даже такая, например, как вскрытие корпуса подшипника качения на ленточном конвейере, не проходит бесследно (нарушаются уплотнения, портятся резьбы на крепящих элементах и т. д.), то вопросы периодичности проведения ремонтных осмотров являются весьма важными. Когда разборка происходит сравнительно редко, то это может существенно и не сказаться на продолжительности межремонтных периодов, когда же этот процесс учащается, то естественно, что с каждой новой разборкой увеличивается и вероятность того, что не произойдет полного восстановления работоспособности машины (или узла). В тех случаях, когда определение технического состояния машины не связано с ее разборкой, например, осмотр импеллера и статора флотационных машин, то частое выполнение осмотров все равно нежелательно, так как непроизводительно задерживает как обслуживающий, так и ремонтный персонал. Поэтому необходимо для каждой машины выяснить весь перечень обязательных профилактических мероприятий и для каждого вида работ установить оптимальную периодичность.

Настоящая система технического обслуживания и ремонта оборудования предусматривает три вида ремонтных работ: ежемесячные ремонтные осмотры (РО), текущие ремонты (Т) и капитальные ремонты (К).

Ежемесячные ремонтные осмотры РО. Несмотря на определенную названную периодичность выполнения,

ремонтный осмотр включается в ремонтный цикл как первый, основной и наименьший по объему ремонтных операций вид планово-предупредительных работ. При выполнении ремонтных осмотров тщательно проверяется техническое состояние машины и при необходимости одновременно заменяются отдельные детали, срок службы которых меньше продолжительности межремонтных периодов. По результатам ремонтных осмотров могут быть внесены изменения в запланированные графиками сроки проведения текущих или капитальных ремонтов.

Текущие ремонты оборудования характеризуются выполнением работ по замене тех изношенных деталей, стойкость которых определяет межремонтный период, а также регулировкой механизмов оборудования с целью обеспечения его нормальной эксплуатации до очередного планового ремонта.

При наличии в оборудовании узлов и деталей с большой разницей в стойкости объем и периодичность текущих ремонтов будут различными. В этом случае в структуре ремонтного цикла предусматривается несколько текущих ремонтов (T_1 , T_2 и т. д.). Текущие ремонты должны выполняться силами ремонтных бригад углеобогажительных фабрик с участием эксплуатационного персонала.

Капитальные ремонты осуществляются с целью восстановления исправности и полного или близкого к полному восстановления ресурса изделий с заменой или восстановлением любых его частей, включая базовые, и их регулировкой. При капитальных ремонтах производится полная разборка, очистка и промывка машины, заменяются или восстанавливаются необходимые детали, а также устраняются все дефекты оборудования, выявленные в процессе его эксплуатации или обнаруженные при проведении ремонта. При необходимости одновременно с капитальным ремонтом осуществляется и модернизация оборудования. Капитальные ремонты производятся или силами ремонтных бригад фабрик, или сторонних ремонтных организаций. После окончания капитального ремонта оформляется акт сдачи и приема работ с указанием качества по типовой форме.

Ремонтный цикл — наименьший повторяющийся период эксплуатации изделия, в течение которого осуществляются в определенной последовательности установленные виды технического обслуживания и ремонта, предусмотренные нормативной документацией.

Межремонтный период — время между двумя последовательно проведенными ремонтами изделия.

Система технического обслуживания и ремонта должна предусматривать обязательное участие обслуживающего персонала как в подготовке, так и в проведении ремонтных осмотров и всех видов ремонта. Так, например, при выполнении ремонтного осмотра флотационных машин необходимо проверить техническое состояние импеллеров, статоров и футеровки, для чего следует выпустить

пульпу из камеры и промыть их. Выполнять эти работы должен обслуживающий персонал. Для практической возможности осуществления обслуживающим персоналом подобных работ в нарядной и каждом цехе должен быть вывешен график ППР на текущий месяц. Начальник смены на наряде обязан напоминать рабочим, какие подготовительные работы они должны выполнить, какие работы технического обслуживания выполнять самостоятельно и в каких ремонтах участвовать.

Кроме того, обслуживающий персонал обязан контролировать технологические показатели, на которые оказывает влияние износ деталей и узлов машины. На обогатительных фабриках должны быть установлены предельные значения этих показателей.

Неотъемлемой составной частью системы технического обслуживания и ремонта является проверка правильной эксплуатации и технического состояния оборудования. Эта работа выполняется лицами надзора (мастерами по ремонту, механиками и начальниками цехов, мастерами и начальниками смен, главным механиком, заместителем главного механика по ППР) при осмотре оборудования, ознакомлении с записями в книге неисправностей оборудования, проверке соблюдения обслуживающим персоналом правил технической эксплуатации оборудования, проведении на нарядах ежесменного инструктажа обслуживающего персонала, а также при опросе обслуживающего персонала о состоянии оборудования и проверке качества ведения ремонтных работ. Сюда же относится работа ИТР отдела главного механика фабрики по составлению графиков ППР, анализу причин внеплановых остановок фабрики, организации учета ремонтных работ, ведению паспортизации оборудования и т. д., а также работы по диагностике технического состояния как оборудования в целом, так и его отдельных узлов и деталей.

Диагностика технического состояния должна проводиться, главным образом, с целью предупреждения возникновения внезапных отказов и определения остаточного ресурса. Для поддержания оборудования углеобогатительных фабрик в работоспособном состоянии проводятся как плановые, так и внеплановые ремонты. В неплановом порядке должны заменяться детали, имеющие большой разброс ресурса, или детали, отказы которых не вызывают остановки оборудования (до проведения очередного технического обслуживания) или отказа других деталей. Основным видом ремонта является планово-предупредительный.

Рассмотрим вопрос о целесообразности применения на углеобогатительных фабриках планово-предупредительного ремонта с принудительной заменой деталей (ППР по функции распределения).

При проведении ППР по функции распределения устанавливается оптимальный интервал плановых замен деталей $t_{\text{ППР(опт)}}$ и в моменты времени $t_{\text{ППР(опт)}}$, $2t_{\text{ППР(опт)}}$ и т. д. заменяются детали данной группы, включая и те из них, которые недавно поставлены

Общая характеристика системы технического обслуживания и ремонта оборудования ОФ

Наименование профилактических мероприятий	Рекомендуемая область применения	Основа ремонтных нормативов	
		для планирования	для реализации
Межремонтное техническое обслуживание ОМ Межремонтное техническое обслуживание ОР Ремонтные осмотры РО Неплановый ремонт (ремонт по потребности)	Для всего оборудования ОФ То же » 1. При большом разбросе ресурса деталей 2. При отсутствии последствий отказов	Проводится ежемесячно обслуживающим персоналом Равные оптимальные (календарные) промежутки времени (планируется только в месячных графиках) Средние значения наработок до отказа, служащие основанием для расчета необходимого количества запасных частей и материалов Проводится ежемесячно Ремонт после внезапного отказа	
Плановый ремонт по функции распределения	1. Для оборудования с постоянными режимами эксплуатации 2. При невозможности отыскания прогнозирующих параметров для случаев, когда техническое состояние машины (детали) имеет только крайние значения: а) машина (деталь) — новая б) машина (деталь) — отказала При возможности отыскания прогнозирующих параметров	Оптимальные межремонтные периоды	
Плановый ремонт по техническому состоянию (основной вид ППР для оборудования ОФ)	Средние значения наработок до предельного состояния	Техническое состояние изделия (по достигнутому предельным значениям прогнозирующих параметров)	

взамен отказавших. Такая практика замены деталей является не самой эффективной.

В данном случае межремонтный период (срок замены деталей) меньше среднего. При выполнении исследований установлено, что в зависимости от коэффициента стоимости [3] оптимальный срок замены получается при вероятности безотказной работы $P(t) = 0,75 \div 0,85$. Из этого следует, что в подавляющем большинстве случаев (75—85%) детали будут заменяться преждевременно (до их отказа), а в 15—25% случаев будут иметь место отказы деталей и их досрочная замена. Другими словами, строгое соблюдение установленного ресурса для всех без исключения деталей, независимо от фактического состояния каждого из них, не исключает случаев появления внезапных отказов и, что самое главное, приводит к преждевременной замене большей части деталей углеобогачительного оборудования и тем самым удорожает стоимость ремонта.

Таким образом, ППР по функции распределения может быть рекомендован только для тех машин (узлов, деталей), современные методы диагностики которых не могут определить их техническое состояние, а также машин со стабильными условиями эксплуатации (постоянство нагрузок, характеристик обрабатываемых материалов и т. д.), когда разброс ресурса деталей незначительный и по времени эксплуатации достаточно точно можно судить об их техническом состоянии. В этом случае ремонтные нормативы и нормы расхода запасных частей следует разрабатывать, исходя из оптимальных значений ресурса деталей (узлов).

Проведенные исследования показали, что изменения выходных параметров машин и износ большинства деталей оборудования фабрик происходит постепенно. В этом случае, т. е. когда преобладают постепенные отказы, у каждой машины (детали) можно обнаружить параметр (один или несколько), который может информировать о техническом состоянии машины и возможном приближении отказа.

Параметром состояния элемента (детали, узла, машины) принимают физическую величину, характеризующую его работоспособность, монотонно изменяющуюся в процессе работы.

Так как преобладают постепенные отказы, то для большинства оборудования углеобогачительных фабрик вполне возможен ППР по техническому состоянию.

В этом случае ремонтные нормативы и нормы расхода запасных частей можно разрабатывать из средних значений наработок до предельного состояния. Общая характеристика системы технического обслуживания и ремонта оборудования ОФ приведена в табл. 1. Ремонт по техническому состоянию применяют в настоящее время в целом ряде отраслей промышленности [4, 5].

§ 2. Характеристика прогнозирующих параметров и примеры определения их предельных значений

На углеобогащительных фабриках машины в процессе эксплуатации подвергаются различным внутренним и внешним воздействиям, в результате чего они теряют работоспособность вследствие износа и разрушения отдельных деталей. Это приводит к снижению производительности или ухудшению технологических показателей их работы.

В литературе [6] параметры, характеризующие техническое состояние изделий, разделены на структурные и диагностические.

Структурный параметр характеризует работоспособность изделий непосредственно (уменьшение диаметра валика или увеличение диаметра отверстия элеваторной цепи, увеличение щели щелевидных сит и т. д.).

Диагностический параметр характеризует косвенно (уменьшение количества воздуха, засасываемого импеллером флотационной машины, снижение напора насоса, увеличение содержания твердого в фугате центрифуг и т. д.). Техническое состояние изделий в целом ряде случаев может с достаточной для практики точностью определять время их эксплуатации. Поэтому время эксплуатации изделий также может являться прогнозирующим параметром (диагностическим) [7].

При организации ремонта по техническому состоянию важно установить предельно допустимые значения износа, что является сложной задачей, так как к деталям любой машины предъявляются самые разнообразные требования.

Отсутствие критериев и методов установления предельного износа нередко приводит либо к значительному недоиспользованию сроков службы деталей, либо к росту аварийных ремонтов.

При определении предельного износа деталей следует иметь в виду, что в тех случаях, когда износ деталей распределен неравномерно по поверхности, он не может характеризоваться одним параметром, например максимальным линейным размером.

Структурный параметр в преобладающем большинстве случаев может характеризовать техническое состояние отдельных сопряжений или деталей и не учитывать влияние этого износа на работу машины в целом.

Диагностический же параметр в одних случаях может характеризовать техническое состояние сопряжений или деталей (например, изменение содержания твердого в фугате может характеризовать износ только сит центрифуг), в других — группы деталей (узлов) или машины в целом. Так, например, если принять в качестве диагностического параметра количество переработанного машиной угля, то такой параметр может характеризовать техническое состояние целого ряда узлов и деталей многих углеобогащительных машин.

Для установления предельно допустимых значений структурных параметров могут быть использованы следующие критерии [8]:

1) прочность деталей. Для многих углеобогащительных машин износ можно допустить до такой величины, которая определяется лишь прочностью деталей. Прочность в связи с износом может уменьшаться как в результате изменения размеров деталей (например, износ полос трения скребковых конвейеров), так и в результате роста динамических воздействий при увеличении зазоров с сопряжениях. Примером такого уменьшения прочности может служить износ ковшовой ленты элеваторов. При износе валиков и отверстий в планках возникает зазор, равный величине износа этого сопряжения плюс начальный зазор. В результате этого теряется шаг цепи и ухудшаются условия ее работы. При прохождении цепи через приводную головку элеватора возникают удары, зависящие от величины зазора. Они могут привести к поломке планок (а иногда и валиков) в местах отверстий для валиков (у наружных планок) или втулок (у внутренних планок);

2) изменение условий трения и изнашивания. Этот критерий связан с формой кривой протекания износа во времени, когда имеется период интенсивного износа. В этом случае величина предельного износа будет определяться началом третьего периода, так как дальнейшая работа детали может привести к ее быстрой поломке.

Применение критериев первой группы [8] может быть в целом ряде случаев вполне достаточным условием для нормальной работы транспортного и вспомогательного оборудования. Для технологического же оборудования таких критериев недостаточно. Так, например, при износе золотника пульсатора отсадочной машины не происходит заметного уменьшения его прочности. Тем не менее требования, предъявляемые к отсадочным машинам, ограничивают величину износа золотников определенными значениями, которые могут быть учтены критериями второй группы.

Критерии второй группы связаны с выполнением машиной требуемых показателей назначения.

Критерием для оценки предельной степени износа технологических машин в целом в первую очередь должны являться качественно-количественные показатели их работы. Узлы и детали, от износа которых зависят качественно-количественные показатели работы машин, должны заменяться при ухудшении этих показателей больше установленных норм. Естественно, что критериями второй группы можно пользоваться в том случае, если ухудшение показателей работы машин произойдет раньше, чем износ деталей достигнет предельных значений, определяемых критериями первой группы.

При износе деталей углеобогащительных машин может быть уменьшена производительность, ухудшены качественные показатели их работы (повысится влажность кека вакуум-филь-

тров, зольность флотоконцентрата и т. д.) или механические характеристики (увеличены динамические воздействия, передаваемые на перекрытия, шум, пылеобразование и др.).

В тех случаях, когда нельзя указать строгие границы допускаемых износов сопряжений, принимаемые пределы характеристик и допускаемые пределы износов характеризуют культуру эксплуатации оборудования на данной фабрике. Примером могут служить редукторы, которые применяют на фабриках как на приводах транспортных, так и технологических машин. В целом ряде случаев при износе редуктора продолжают выполнять свои функции (передают заданные крутящие моменты и скорости), но при этом возрастает шум, падает к. п. д., увеличивается течь масла. Это обуславливает необходимость замены зубчатых колес, подшипников, уплотнений, причем момент ремонта определяется на различных фабриках по-разному.

Другими примерами ухудшения характеристик механизмов на фабриках является нарушение герметичности уплотнений и в связи с этим увеличивающиеся пыление или подсосы воздуха (например, на сушильных агрегатах), уменьшение вакуума на вакуум-фильтрах при износе шайб и т. д.

До настоящего времени в углеобогащении отсутствуют какие-либо теоретические предпосылки, методические разработки или нормативные материалы при установлении предельных износов деталей или сопряжений, поэтому в условиях фабрик решающую роль в этом случае играет накопленный опыт по эксплуатации и ремонту оборудования.

§ 3. Примеры определения предельных состояний износа

Детали ковшковых элеваторов и скребковых конвейеров. Ресурс детали может быть определен изучением процесса изнашивания с регистрацией износа методом микрометража. Этот метод основан на определении разности линейных размеров детали до и после изнашивания. При этом в ряде случаев необходима разборка узла.

Для проведения исследования по изнашиванию деталей проводят наблюдения и регистрацию износа в течение всего периода работы детали до полного износа.

С целью определения темпа износа деталей ковшковых элеваторов были проведены промышленно-экспериментальные исследования на ряде обогатительных фабрик Донецкого бассейна.

Проведенные исследования показали, что деталями, определяющими техническое состояние ковшковых элеваторных цепей, являются пластины, а цепей скребковых конвейеров — валки. Поэтому в дальнейшем наблюдения по износу проводились только за этими деталями. Износ планок и валков происходит постепенно, после промежутка времени по приработке, который колеблется в пределах 1,5—2 месяца. После этого начинается посте-

пennyй прямолинейный износ этих деталей, который, как известно, хорошо описывается нормальным законом распределения.

Для определения предельно допустимых состояний износа пластин ковшовых элеваторов и валиков скребковых конвейеров, а также количественного значения прогнозирующего (структурного) параметра, по достижению которого следует производить замену элеваторных и скребковых цепей, был произведен обмер более 200 пластин и валиков. Результаты проведенных исследований по изучению темпа износа пластин и валиков методом микрометра статистически обработаны и приведены на рис. 2. На этих графиках на оси абсцисс показана продолжительность работы элеваторов и скребковых конвейеров (месяцы), а на оси ординат — величина износа δ планок и валиков (мм).

Проведенные исследования показали, что случаи обрыва элеваторных цепей наблюдались при износе планок до 12 мм (на сторону), а

скребковых цепей — при выработке валиков до 5 мм. Такие пределы износа наступают примерно после 15—16 месяцев эксплуатации элеваторов и скребковых конвейеров при коэффициенте использования машинного времени в пределах $0,7 \div 0,75$.

Необходимо отметить, что этот промежуток времени неодинаков для различных фабрик и зависит от нагрузки, транспортируемого материала, скорости движения цепи, длины элеватора или скребкового конвейера.

Проведенные прочностные и тяговые расчеты элеваторных и скребковых цепей по методике (применяемой для этих целей) института Гипромашуглеобогащения позволили установить предельный износ пластин ковшовых элеваторных цепей и валиков тяговых цепей скребковых конвейеров.

Прогнозирующими (структурными) параметрами являются: при замене ковшовых элеваторных цепей — ширина пластины, которая в дальнейшем (в зависимости от конструктивных размеров пластины) пересчитывается в соответствующую ей площадь и сравнивается с предельно допустимым значением площади — 5 см^2 (для элеваторов ЭО4С и ЭО4) и 8 см^2 (для элеваторов ЭО6С и ЭО6); при замене тяговых цепей скребковых конвейеров — увеличение шага цепи на 3 мм.

Конвейерные ленты. Наблюдения за работой ленточных конвейеров, проведенные на углеобогатительных фабриках,

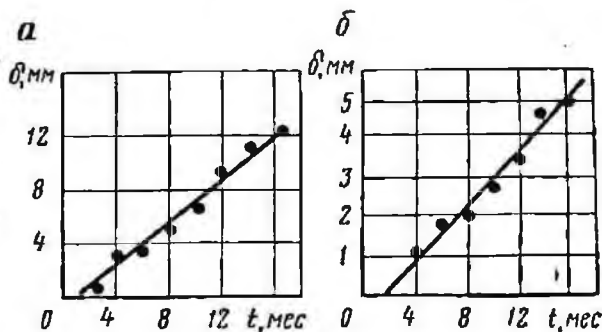


Рис. 2. Темп износа планок элеваторов (а) и валиков скребковых конвейеров (б)

показали, что встречаются в основном два вида износа лент: истирание резиновых обкладок и износ и расслоение бортов. Износ обкладок вызывается трением лент о роликки, об очистные устройства, пробуксовкой на барабанах, истиранием материала при загрузке конвейера и в процессе транспортирования. Износ и расслоение бортов вызываются контактом ленты с боковыми роликками и рамами приводного, натяжного и отклоняющих барабанов, а также опорными стойками. Первоначально происходят истирание защитного слоя резины и обнажение прокладок. Затем края размочаливаются, снижается прочность связи между прокладками и начинается их расслоение.

В результате расслоения прокладок бортов ленты теряют первоначально приданную им форму и жесткость, что приводит к уменьшению желобчатости на участках между роликками и снижает полезную ширину ленты. Это приводит к просыпанию транспортируемого материала. Истирание обкладок и бортов лент носит монотонный характер.

Ввиду значительно возросшей за последнее время культуры эксплуатации ленточных конвейеров, такие виды износа, как повреждение каркаса и порывы (как продольные, так и поперечные), встречаются довольно редко и не являются определяющими при оценке предельного состояния износа конвейерных лент.

Истирание бортов значительно быстрее происходит у лент, транспортирующих продукты обогащения, а истирание резиновых обкладок — у лент, транспортирующих рядовые угли.

Таким образом, за предельные состояния износа конвейерных лент, исходя из опыта эксплуатации их на углеобогащательных фабриках, приняты: износ обкладок — до момента появления тканевого сердечника на рабочей стороне для лент, транспортирующих рядовые угли; уменьшение ширины ленты на 10—11% первоначальной ширины до появления просыпания материала для лент, транспортирующих продукты обогащения.

Пульсаторы отсадочных машин. В пульсаторах типа ПВ-4 и ОМ, эксплуатируемых на большинстве действующих отсадочных машин, изнашиваются в основном вращающиеся золотники.

Замеры параметров пульсаторов типа ПВ-4 на ЦОФ «Брянковская» после трех лет работы показали, что внутренний диаметр корпуса сохранился в пределах проектных допусков, а диаметр золотника уменьшился на 0,6 мм против проектного размера.

Влияние износа пульсаторов на выходные параметры отсадки исследовалось на специально оборудованном стенде. Начальные значения входных параметров принимались близкими к тем, которые наблюдаются в промышленных условиях. Для этого предварительно на ЦОФ «Кадневская» было замерено давление воздуха в воздухоборнике и воздушной камере породного отделения отсадочной машины мелкого зерна, оборудованной пульса-

торамп ПВ-4. Замерами установлено давление воздуха в воздухо-
сборнике $p_b = 2150$ мм вод. ст., в камере — $p_{\text{кам}} = 1650$ мм вод. ст.

Для проведения исследо-
ваний использовался новый
пульсатор типа ОМ, пзнос
золотника которого имптитро-
вался последовательной ра-
сточкой с заданным шагом.
При работе нового пульсатора
давление воздуха в воздуш-
ной камере машины 1650 мм
вод. ст. обеспечивалось при
давлении в воздухохборнике
2300 мм вод. ст. В период
исследований давление воз-
духа в воздухохборнике пз-
менялось от 2600 до 1400 мм
вод. ст. с шагом в 300 мм
вод. ст.

Максимальное давление в
воздухохборнике и воздуш-
ной камере контролировалось
водяными манометрами с обратными клапанами. Изменение давле-
ния воздуха в воздушной камере фиксировалось с помощью дат-

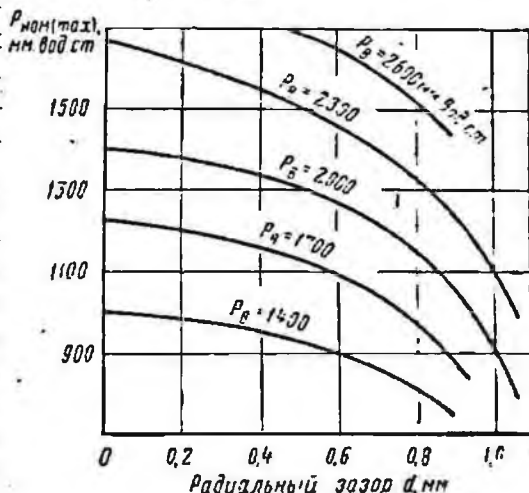


Рис. 3. Зависимость изменения давле-
ния воздуха в воздушной камере
от величины радиального зазора в
пульсаторе

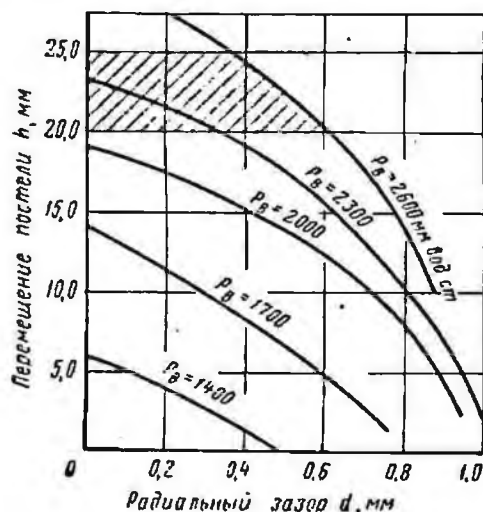


Рис. 4. Зависимость вертикального
перемещения постели от величины
радиального зазора в пульсаторе

максимального давления в воздушной камере имеет примерно
одинаковый характер для всех значений давлений в воздухо-
сборнике. При этом темп уменьшения давления в камере с
увеличением зазора увеличивается.

Изменения давле-
ния воздуха в воздушной камере фиксировалось с помощью дат-
чика давления ДД-01, верти-
кальное перемещение тяжелой
постели, передаваемое от по-
плавкового датчика, — с по-
мощью быстродействующего
прибора НЗ20.

Результаты измерений давле-
ния воздуха в воздушной ка-
мере и вертикального пере-
мещения тяжелой постели в
отсадочной камере в зависи-
мости от величины зазора
между золотником и корпусом
пульсатора для различных да-
влений в воздухохборнике пока-
заны на рис. 3 и 4.

Из рис. 3 видно, что с уве-
личением радиального зазора
давление воздуха в воздушной
камере уменьшается. Изменение

С уменьшением давления в воздухоборнике падение давления в воздушной камере уменьшается. Так, например, если при давлении в воздухоборнике 2300 мм вод. ст. и радиальном зазоре 0,5 мм перепад давления в камере составляет 150 мм вод. ст., то при давлении 2000 мм вод. ст. перепад равен 100 мм вод. ст.

Из рис. 4 видно, что вертикальное перемещение тяжелой постели с увеличением радиального зазора в пульсаторы резко уменьшается, при этом значительно изменяется характер цикла отсадки. Эти изменения связаны с тем обстоятельством, что даже при незначительном изменении давления воздуха в камере начальное ускорение движения жидкости уменьшается, обуславливая резкое снижение скорости восходящего потока.

Так, например, если при работе нового пульсатора тяжелая постель в период восходящего хода быстро поднимается, а в период нисходящего — медленно оседает, то для изношенного золотника с радиальным зазором 0,8—0,9 мм при давлении воздуха в воздухоборнике 2600 мм вод. ст. характерна одинаковая длительность подъема и оседания отсадочной постели.

На рис. 4 показана оптимальная область (заштрихована), в которой обеспечиваются нормальные условия разделения в зависимости от величины радиального зазора и максимального давления воздуха в воздухоборнике.

Таким образом, на обогатительных фабриках, оснащенных воздуходувками, обеспечивающими давление ниже 2300 мм вод. ст., предельный радиальный зазор в пульсаторах ПВ-4 и ОМ можно допускать до 0,3 мм, а на ОФ, оснащенных воздуходувками, обеспечивающими давление более 2300 мм вод. ст., до 0,5—0,6 мм. При превышении вышеуказанных пределов износа пульсаторы эксплуатировать нецелесообразно, так как при этом изменяются параметры цикла отсадки, ухудшается взвешивание отсадочной постели и повышается расход воздуха.

В связи с трудностями непосредственного определения радиального зазора пригодность пульсаторов следует определять периодическим замером давления воздуха в воздухоборниках и камерах отсадочных машин. Давление в воздушных камерах не должно снижаться более чем на 100—120 мм вод. ст. по сравнению с первоначальным (в новых пульсаторах). При превышении указанных значений отсадочные машины необходимо переводить на работу с более повышенным давлением в воздухоборнике.

Для измерения давления устанавливать приборы в каждой камере нецелесообразно. Достаточно для подключения прибора в каждой камере иметь отверстие, закрываемое пробкой, и измерять давление периодически при проведении ремонтных осмотров.

ППР по техническому состоянию возможен, когда:

техническое состояние машины (узла, детали) может быть охарактеризовано некоторым зависящим от времени параметром $y(t)$; при этом достижение параметром предельного значения определяет отказ машины (детали, узла);

по величине параметра $y(t)$ помимо состояний «машина (деталь) новая» или «машина (деталь) отказала» можно определить ряд промежуточных значений технического состояния детали; параметр $y(t)$ можно непрерывно или периодически контролировать в процессе эксплуатации машины.

Примерный перечень вопросов, которые необходимо решать при внедрении системы технического обслуживания и ремонта оборудования ОФ, приведен в табл. 2.

Таблица 2

Примерный перечень вопросов, решаемых при внедрении системы технического обслуживания и ремонта оборудования

Виды работ	Перечень решаемых вопросов
ОМ	Межремонтное техническое обслуживание
ОР	Определение перечня работ подлежащего обязательному выполнению обслуживающим персоналом
	Определение содержания, оптимальной периодичности, трудоемкости, стоимости, времени проведения работ. Разработка методов осуществления ОР. Подбор инструмента, приспособлений и приборов, необходимых для выполнения работ
	Ремонты
Неплановые	Разработка методов и способов проведения ремонтов. Определение трудоемкости, стоимости, численности рабочих и продолжительности времени проведения ремонта. Подбор инструмента, приспособлений и приборов для выполнения работ. Определение номенклатуры заменяемых узлов и деталей и средних сроков их службы. Организация учета неплановых отказов, причин их возникновения, разработка мероприятий и предложений по предотвращению повторных возникновения таких отказов
Плановые	Разработка методов и способов проведения ремонтов. Определение содержания, оптимальной периодичности (при ППР по функции распределения) и средних значений наработок до предельного состояния (при ППР по техническому состоянию), трудоемкости, стоимости, численности рабочих и продолжительности проведения ремонтов. Установление перечня необходимого инструмента, приспособлений и приборов для выполнения ремонтов. Отыскание прогнозирующих параметров (как структурных, так и диагностических) и определения их предельных состояний. Составление графиков ППР

§ 4. Понятие о технической диагностике машин

Трудоемкость контроля предельно допустимых значений прогнозирующих параметров может быть значительной. Причем в ряде машин этот контроль может быть связан с их разборкой. Поэтому методы безразборного контроля технического состояния машин, основанные на показаниях приборов, т. е. техническая

диагностика, должны также явиться одним из путей снижения трудоемкости технического обслуживания.

Задача диагноза заключается в определении состояния машины в условиях эксплуатации или при заводском контроле готовой продукции. Результаты диагноза служат основанием для принятия решения о дальнейшем использовании машины, а также о характере предстоящего ремонта или технического обслуживания.

Диагностика является косвенным методом измерения некоторых параметров, характеризующих техническое состояние машины. Элементы машины, свойства которых подлежат определению, обычно недоступны для непосредственного наблюдения и измерения, поэтому приходится измерять не их параметры, а параметры процессов, порождаемых работающей машиной и доступных для измерения [9].

Диагностика как метод измерения должна удовлетворять двум обязательным требованиям: повторяемости и однозначности [9].

Повторяемость заключается в том, чтобы диагностический процесс можно было повторять произвольное число раз, т. е. чтобы он обладал свойством стандартности (например, повторяемость работы пульсатора отсадочной машины).

Однозначность относится к объективности диагноза и состоит в том, чтобы повторяемые диагностические обследования механизмов, находящиеся в одном и том же состоянии, приводили к одинаковым результатам.

Системы диагностики применяются для контроля готовых изделий на заводах-изготовителях и для оценки технического состояния машин в условиях эксплуатации.

В первом случае обнаруживается брак в выпускаемой продукции, во втором — устанавливается потребность механизмов в ремонте и оценивается их остаточный ресурс.

Системы диагностики различаются уровнем получаемой информации о механизме.

В зависимости от решаемой задачи выделяют классы диагностических систем [10].

1. Системы для разбраковки механизмов. Этими системами характеризуются только два класса возможных состояний механизма — «исправное» и «неисправное».

2. Системы для аттестации механизмов. При этом решается более общая задача диагностики: по принятому от механизма сигналу нужно определить класс, к которому относятся состояние обследуемого механизма.

3. Системы для измерения скрытых параметров механизма без его разборки. Задача заключается в определении величин параметров $X_1, X_2, \dots, X_n$, принятых для описания состояния механизма, по величине параметров сигнала $S_1, S_2, \dots, S_m$.

4. Системы прогнозирования состояния механизма. По известным состояниям механизма в предшествующие моменты времени

и по его текущему состоянию система диагностики должна определить состояние, в которое перейдет механизм после t часов работы.

Диагностикой технического состояния углеобогачительного оборудования следует заниматься потому, что интервалы безотказной работы его являются случайными величинами, не связанными, как правило, однозначно с какими-либо контролируруемыми на фабриках показателями их работы. Используемые теорией надежности методы теории вероятностей и статистические методы для прогнозирования отказов не дают исчерпывающей информации о времени их возникновения в конкретной машине, так как получаемые при этом показатели надежности являются средними величинами, полученными в результате обработки данных об отказах определенной совокупности машин.

Момент отказа $t_{\text{отк}}$ определяется тремя группами факторов [10]:

начальным техническим состоянием машины (детали) y_0 в момент прогнозирования t_0 ;

закономерностями протекания процессов износа и разрушения элементов машины, которые могут быть заданы в форме дифференциального уравнения

$$\frac{dy}{dt} = f(y, E),$$

где $y(t)$ — изменение прогнозируемого параметра;

$E(t)$ — переменное внешнее воздействие, влияющее на износ узла (детали);

внешними условиями $E(t)$, в которых будет работать машина от момента времени t_0 до $t_{\text{отк}}$.

Таким образом, можно было бы точно предсказать момент отказа $t_{\text{отк}}$, если бы было известно начальное состояние прогнозирующего параметра y_0 , зависимость скорости его изменения dy/dt от текущего состояния машины y и от внешних условий E , в которых она работает, а также если бы можно было предвидеть изменение внешних воздействий на износ $E(t)$. В настоящее время ни одно из этих требований не реализуется [10]. Не дает ответа на этот вопрос и статистическая теория надежности, так как областью ее применения является планирование работы технического обслуживания и ремонта парка машин, но не отдельно взятой конкретной машины.

Для устранения возможности возникновения внезапных отказов в машинах необходимо решить три научно-технические задачи [9]:

создать эффективные средства диагностики, позволяющие определять состояние машины (узла) и скорость его изменения в любой текущий момент времени;

установить закономерности разрушения машины (узла);

создать машины, характер износа которых мало зависит от неконтролируемых внешних факторов.

Ниже приводится краткое описание некоторых методов диагностики, применяемых в различных отраслях промышленности и представляющих интерес для обогащения угля.

Для обнаружения дефектов непосредственно в готовых агрегатах, не разбирая их, используют ультразвуковые методы. Такой метод широко используется, например, при контроле качества сварных швов на трубах.

Одним из главных вопросов диагностики является установление начальной стадии разрушения деталей. Для этой цели может быть внедрено в практику обогащения угля несколько способов, заимствованных из литературы [10, 11].

Термическая индикация неисправностей предусматривает использование термоиндикаторных красок, меняющих цвет при строго определенных температурах. Для каждого типа деталей и элементов определяют их максимально допустимые температуры нагрева, после чего их окрашивают соответствующими красками.

При очередном осмотре машины мотористу или слесарю остается лишь отметить детали, изменившие свой цвет. Термоиндикаторные краски, рассчитанные на разные критические температуры, имеют разные цвета. Для того чтобы можно было выделить детали, которые изменили свой цвет под действием перегрева, их окрашивают «зеброй», причем одна полоса наносится обыкновенной, соседняя — термоиндикаторной краской. В обычном состоянии деталь кажется одноцветной, но стоит ей перегреться, как она сразу делается полосатой.

Ароматическая диагностика предусматривает использование капсул с сильно пахнущими веществами, например, этилмеркаптаном. Такие капсулы запрессовывают на определенную глубину в изнашиваемую деталь. Как только деталь износится до предела, протрется и капсула. При этом окружающий воздух приобретает характерный запах.

При работе оборудования в водной среде могут быть использованы ампулы с красителями, так как в водной среде запахи распространяются хуже [11].

Визуальный допуск труднодоступных дефектов основан на принципе передачи изображений по световодам. Прозрачную стеклонить диаметром в тысячные доли миллиметра покрывают тончайшей оболочкой, но из стекла с меньшим показателем преломления. Луч света, направленный внутрь, побежит по волокну, бесчисленное число раз отражаясь от его стенок, и выйдет на противоположном конце. Пучок из нескольких тысяч тонких волокон, заключенных в общую оболочку, и представляет собой световод или, как его еще называют, светокабель. Его можно изгибать под любыми углами и даже завязывать в узлы, однако посланное с одного конца изображение благополучно достигает другого. Светокابели широко используются при конструировании различного рода гибких зондов, предназначенных для безразборного

поиска дефектов во внутренних полостях станков и двигателей [11].

Акустическая диагностика повреждений. Физическим носителем информации о состоянии элементов механизма в акустической диагностике служат упругие волны, которые возбуждаются в механизме соударением деталей и регистрируются датчиком колебаний, установленным на его корпусе. Исследуя их, узнают о свойствах механизма, которые являются первоисточниками его колебаний [10].

Существуют две основные причины, вызывающие колебание механизма. Одна из причин связана с неуравновешенностью движущихся деталей. Она вынуждает механизм колебаться как единое целое относительно положения равновесия. Эти колебания характеризуются низкими частотами. Вторым источником колебаний механизма служат соударения его деталей. Они отличаются высокими частотами. Колебания машины, порожденные соударением его деталей, называются акустическими, а диагностика, основанная на их анализе, акустической диагностикой. Если волны распространяются не в воздухе, а в жидкости, то такую акустику называют гидроакустикой.

Колебания, которые служат сигналом в акустической диагностике, регистрируются датчиком, установленным непосредственно на механизме, но аналогичные колебания можно регистрировать и микрофоном без непосредственного контакта с механизмом.

Однако эта возможность не используется, так как результат регистрации колебаний микрофоном существенно зависит от внешних условий, в которых проводится эксперимент. Здесь существенную роль в искажении шума машин будут играть влажность воздуха, наличие вблизи других машин и шум, издаваемый ими, помещение, в котором производятся замеры. На работу датчика колебаний, установленного на механизме, все эти помехи практически не влияют [10].

В литературе описан целый ряд и других методов, применяемых для определения технического состояния машин без их разборки. В частности, в различных отраслях промышленности находят применения радиоизотопные и вибрационные методы. Целый ряд работ посвящен диагностике отдельных кинематических пар, в частности, зубчатых пар и подшипников [12].

В области диагностики машин для определения допустимого изменения параметра состояния элемента (детали, узла) машины, не вызывающего потребности в проведении технического обслуживания или ремонта, и для определения остаточного ресурса элемента могут быть использованы элементы прогноза.

На основе прогнозирования дается заключение о целесообразности замены деталей, регулировки сопряжений при межремонтном техническом обслуживании и текущих или капитальных

ремонт, что обеспечивает предупреждение отказов, неисправностей в процессе эксплуатации машин.

Таким образом, прогнозирование является основой профилактических мероприятий в области технического обслуживания машин.

§ 5. Влияние свойств среды на продолжительность межремонтных периодов

Большинство оборудования углеобогащительных фабрик работает в условиях гидроабразивного изнашивания, которое обуславливается, с одной стороны, перерабатываемым материалом, представляющим собой уголь, минеральные примеси и сродки их с углем, а с другой стороны, оборотной водой, которая в том или ином виде участвует не только во всех технологических процессах, но и в целом ряде транспортных операций.

Исследования процесса гидроабразивного изнашивания, выполненные различными авторами, показали, что на величину износа оказывают основное влияние следующие факторы: содержание твердых частиц в гидросмеси, абразивные свойства материала, крупность материала, коррозионные процессы, скорость движения гидросмеси, физико-механические свойства изнашиваемого материала, структура изнашиваемого материала.

Влияние некоторых из этих факторов рассмотрим подробно на примере износа шламового насоса Ш270, применяемого на углеобогащительных фабриках.

Влияние содержания твердого в гидросмеси. Этому вопросу посвящено много исследований. В одних работах приводится линейная зависимость износа от содержания твердого в гидросмеси, в других работах сообщается, что величина износа от содержания твердого в гидросмеси находится в степенной зависимости, при этом показатель степени меньше единицы. Наиболее полно исследована зависимость износа от содержания твердого в работах института УкрНИИГидроуголь. В одной из работ отмечено, что по мере повышения содержания твердого наступает такой момент, когда дальнейшее повышение содержания не вызывает увеличения износа материала.

Влияние абразивных свойств. Абразивность твердых частиц зависит от их физико-механических свойств, определяющих способность частиц производить разрушение поверхностного слоя изнашиваемого материала. Процесс абразивного изнашивания характеризуется режущим (царапающим) действием частиц. Для решения вопроса о том, является ли один материал по отношению к другому абразивом, необходимо сопоставить их твердости.

Органическая часть угля имеет низкую твердость $14,2 \div 34,8 \text{ кг/мм}^2$, поэтому не может быть абразивом по отношению к стальной поверхности деталей насосов, имеющих значительно большую твердость даже в том случае, если они изготавливаются

из самых низкосортных сталей (сталь 20 имеет твердость 380 кг/мм²). Твердость антрацитов значительно больше (43—140 кг/мм²), чем твердость каменных углей, однако они также не могут быть абразивом по отношению к стальной поверхности, хотя, имея большую твердость, антрацит, безусловно, быстрее изнашивает поверхность металла, чем уголь [13]. Что касается минеральных примесей угля, то здесь дело обстоит иначе. Исследованиями [14] установлено, что в состав минеральных примесей входят минералы, твердость которых больше твердости металла, из которых сделаны детали насосов. К числу таких включений прежде всего следует отнести шпидит, содержание которого колеблется от 1 до 9%, и кварц, который встречается в виде свободных зерен от единичных включений до 3%. Количество минеральных примесей довольно велико и составляет иногда до 40%.

Абразивное воздействие минералов зависит от характера взаимодействия их с изнашиваемой поверхностью, например, при изнашивании в жидкой среде существенное значение имеет адсорбционный эффект, снижающий прочность абразива [15]. Наиболее заметно сказывается на величине износа стали и резины повышение твердости абразива до значения твердости изнашиваемого металла. Дальнейшее повышение твердости абразива не дает увеличения износа [13].

Влияние крупности частиц. При транспортировании абразивных материалов износ деталей с увеличением крупности будет увеличиваться значительно медленнее, чем при транспортировании мягких материалов. Это объясняется тем, что размер обломков, дополнительно получаемых при измельчении абразивного материала, будет несомненно с самой частицей и, следовательно, эти обломки не могут оказать существенного влияния на износ детали, в то время как при транспортировании мягких материалов, например угля, размер обломков будет такой величины, что износ от воздействия обломков будет существенно дополнять износ от воздействия самой частицы.

Характер износа материалов от крупности абразивных частиц неодинаков для разных материалов и разных абразивов. Это различие обусловлено твердостью изнашиваемого материала и твердостью и прочностью абразивных частиц [13].

Влияние коррозионных процессов. Интенсивному изнашиванию оборудования фабрик может способствовать оборотная вода. Исследования изменения общей минерализации оборотных вод углеобогачительных фабрик [16] показали, что поступающие на фабрики шахтные воды (как кислые, так и щелочные) при контакте с углем нейтрализуются до $\text{pH} = 7,2-7,8$. Однако, будучи нейтральными, эти воды имеют содержание солей в пределах 2000—7000 г/м³ и характеризуются значительной электропроводностью.

В литературе [13] отмечено, что когда механическое воздействие взвешенных в воде твердых частиц достигает значительной

величины, то величина разрушения металла от коррозии составляет незначительную долю от общей величины гидроабразивного износа. Если же механическое воздействие твердых частиц незначительно, то доля износа от коррозионных процессов оказывается преобладающей в общей величине износа.

Исследования проводились для определения влияния одного из факторов на процесс износа, причем параметры опытов могли изменяться в процессе проведения исследования. Выявление влияния свойств среды производилось на примере износа специально приготовленных пластин, причем ни в одной из работ не сказано, какие детали какой машины могут моделировать эти пластины, поэтому использовать результаты работ для поставленных целей совершенно невозможно.

Проведение исследований по выявлению влияния свойств среды на продолжительность межремонтных периодов шламовых насосов Ш-270 принципиально отличаются от описанных, так как:

перекачиваемая среда определялась технологическим процессом и при проведении исследований изменять ее преднамеренно невозможно;

исследования проводились при одновременном воздействии нескольких факторов, влияющих на износ деталей насоса;

одним из факторов, влияющих на износ, является содержание класса менее 45 мкм, который определяет вязкость угольных пульп [17];

исследования проводились при воздействии среды одновременно на износ ряда деталей до их отказа, т. е. того состояния, когда насосы были не в состоянии выполнять свои технологические функции.

Постановка опыта и способы получения исходных данных

При проведении исследований наряду со сбором сведений об отказах шламовых насосов производилось изучение свойств перекачиваемых продуктов. Определялся гранулометрический и минералого-петрографический составы твердой фазы, а также содержание твердого и микротвердость угля.

Сбор сведений производился на фабриках Донбасса, для чего были разработаны журналы специальной формы, в которых в течение длительного времени на каждой из фабрик-представителей фиксировались данные о работе и отказах насосов. Собранные данные были обработаны методами математической статистики. В результате обработки данных было установлено, что наработка на отказ насосов, независимо от перекачиваемого продукта, подчиняется закону распределения Вейбулла с параметрами, приведенными в табл. 3.

Отбор проб перекачиваемых продуктов производили через 1 ч в течение смены пересечением потока пульпы пробоотборником.

Накопленную в течение смены пробу тщательно перемешивали, после чего от нее отбирали 2 л для определения содержания твердого, а также гранулометрического и минералого-петрографического составов. Когда содержание твердого в отобранной двухлитровой пробе было недостаточно для анализов (менее 100 г/л), оставшуюся часть сменной пробы отстаивали, чистую воду декантировали, после чего остаток высушивали и смешивали с твердым остатком первой части пробы. Гранулометрический состав определяли мокрым способом.

Таблица 3

Результаты обработки статистических данных
об отказах шламовых насосов

Перекачиваемый продукт	Закон распределения парабол на отказ	Средняя наработка на отказ t , ч	Среднее квадратичное отклонение σ , ч	Коэффициент вариации V	Параметры распределения		b_m
					t_0	m	
Шлам:							
крупный	Вейбулла	765	568	0,74	3764,4	1,35	0,918
мелкий	То же	1020	685	0,67	54 207	1,55	0,900
Перелив вакуум-фильтров	»	1520	930	0,61	314 955	1,70	0,892
Фильтрат	»	2010	1080	0,54	5 299 204	2,0	0,886
Крупный шлам (антрацит)	»	360	260	0,72	2 443	1,4	0,911

Определение количества различных минералов в твердом остатке производилось под микроскопом согласно ГОСТ 9414—74.

Микротвердости каменных углей и антрацитов определяли микротвердомером ПМТ-3 согласно ГОСТ 9450—60. При этом выяснилось, что значения твердости каменных углей как разных марок, так и одной марки, добываемых на разных шахтах, очень близки, поэтому в дальнейших расчетах микротвердость всех марок каменных углей принята 37 кг/мм², антрацитов 86 кг/мм². Такое допущение для данных целей можно считать вполне приемлемым.

Микротвердости глины, кварца, пирита и карбонатов в соответствии с работой [18] приняты (соответственно) 60, 1135, 1295 и 120 кг/мм².

Оценка абразивных воздействий минералого-петрографических составляющих твердой фазы перекачиваемых продуктов

Таблица 4

Исходные данные для расчета продолжительности
межремонтных периодов насосов Ш-270
в зависимости от свойств перекачиваемых пульп

Содержание твердо- го γ , г/л	Содержание класса —45 мкм, %	Средняя микро- твердость T , кг/мм ²	Наработка на отказ l , ч
---	---------------------------------	--	-------------------------------

Верхний предел крупности (К) — 2 мм

350	32,21	110,8	845
285	29,34	114,1	808
420	24,09	139,8	659
400	28,53	117,1	799
289	28,10	117,5	796
275	27,30	118,6	789
295	28,38	111,6	849
410	24,06	143,5	649
410	25,85	137,2	689
390	30,25	117,8	794
280	29,15	123,3	768

Верхний предел крупности (К) — 1 мм

195	34,32	109,0	1058
240	33,91	114,6	1013
220	26,03	120,0	967
202	28,97	119,7	969
231	34,32	115,7	1013
242	36,50	131,4	899
238	33,53	112,9	1028
207	24,94	122,5	947
228	28,73	116,4	997
205	28,92	110,3	1053
185	30,82	113,2	1026
230	34,66	112,7	1029
250	33,16	112,7	1031
235	35,86	110,1	1055
205	32,20	115,0	1009
195	38,90	109,7	1059
209	38,70	111,7	1050
224	38,20	107,8	1078
226	34,80	112,2	1035
230	37,40	107,5	1081
246	32,53	111,7	1029
180	43,80	96,0	1588
220	46,39	85,5	1700
210	44,69	118,7	1462
220	44,65	87,0	1876
230	34,74	121,0	1365
190	42,40	94,7	1577
210	35,01	99,3	1486
230	36,18	117,9	1465
218	45,70	106,1	1377

Верхний предел крупности (К) — 0,5 мм

37	51,73	99,4	1975
31	49,94	102,0	1920
49	51,92	93,1	2040
39	49,00	89,9	2105

Верхний предел крупности (К) — 3 мм

405	18,90	147,5	315
430	18,10	136,3	360
420	12,60	128,1	450
415	20,20	151,3	270
425	17,60	134,8	405

производилась по средней приведенной микротвердости, которая определялась по формуле

$$T = \frac{\sum_{i=1}^m P_i F_i}{\sum_{i=1}^m P_i}, \text{ кг/мм}^2, \quad (1)$$

где P_i — масса отдельных составляющих в твердом остатке, г;
 F_i — микротвердость отдельных составляющих в твердом остатке, кг/мм²;

m — количество компонентов в твердом остатке.

Массу отдельных составляющих в твердом остатке определяли по формуле

$$P_i = \frac{\gamma_i U_{i(\text{об})} \delta_i}{\sum_{i=1}^m U_{i(\text{об})} \delta_i}, \text{ г/л}, \quad (2)$$

где γ_i — содержание твердого в перекачиваемых продуктах, г/л;
 $U_{i(\text{об})}$ — объемное содержание отдельных компонентов в твердом остатке, %;

δ_i — плотность отдельных компонентов в твердом остатке, г/см³.

Плотности глины, кварца, пирита и карбонатов приняты согласно исследованиям [19] и соответственно составляют 2,6; 2,65; 5,0; 8 г/см³, каменного угля — 1,3 г/см³, антрацита — 1,5 г/см³.

Данные, полученные при исследованиях, приведены в табл. 4.

Результаты математической обработки данных исследований

Данные (табл. 4), полученные при исследованиях, были обработаны на ЭЦВМ «Минск-1». Была проверена возможность описания выходной функции в виде полинома от факторов γ , k , m и T . Полиномальная интерполяция дала неудовлетворительные результаты. В связи с этим в качестве модели была выбрана степенная функция вида

$$t = A_0 \left(\frac{\gamma}{100} \right)^{a_1} \left(\frac{k}{1,0} \right)^{a_2} \left(\frac{m}{30} \right)^{a_3} \left(\frac{T}{100} \right)^{a_4}. \quad (3)$$

При обработке данных на машине «Минск-1» были получены следующие значения параметров:

$$A_0 = 1112; \quad a_1 = 0,01; \quad a_2 = -0,407; \quad a_3 = 0,77; \quad a_4 = -0,72.$$

Полученное малое значение $a_1 = 0,01$ показывает, что в данной модели содержание твердого в пульпе очень незначительно

влияет на срок службы деталей насоса, поэтому в дальнейших расчетах во внимание не принимается. Объяснить сказанное можно следующим образом. Если рассматривать изменение наработки только от изменения содержания твердого в пульпе, то между функцией и аргументом имеется довольно тесная связь. Однако в данных опытах содержание твердого изменилось при изменении других факторов: крупности, микротвердости и содержания класса —45 мкм. Так, например, увеличение содержания твердого обязательно приводило к увеличению крупности и микротвердости и уменьшению содержания класса —45 мкм. Поэтому изменения влияния содержания твердого на наработку в данном случае выражено через влияние других факторов.

Отрицательные значения a_2 и a_4 говорят о том, что с увеличением крупности и твердости минеральных составляющих перекачиваемых пульп межремонтные сроки уменьшаются, а положительное значение a_3 свидетельствует об обратном действии содержания класса —45 мкм.

Таким образом, выражение для определения межремонтных периодов шламовых насосов Ш270 в зависимости от свойств перекачиваемых продуктов может быть записано в виде

$$t = 1112 \left(\frac{m}{30} \right)^{0,77} k^{-0,407} \left(\frac{T}{100} \right)^{-0,724} \quad (4)$$

В соответствии с исследованиями [17] с точки зрения технологии обогащения шлам углеобогащительных фабрик делится на два вида: зернистый шлам крупностью более 35—45 мкм и тонкий шлам размером менее 35—45 мкм.

Однако с точки зрения износа такое деление шлама не может быть принято в связи с тем, что на фабриках характеристика перекачиваемых продуктов иная (крупность, содержание твердого и его минералого-петрографический состав), и в настоящей работе деление перекачиваемых пульп принято по их фактическим характеристикам; крупный шлам (сгущенный продукт крупной секции пирамидальных отстойников, питание гидроциклонов, сгущенный продукт гидроциклонов), мелкий шлам (сгущенный продукт мелкой секции пирамидальных отстойников, питание флотации, флотоконцентрат, сгущенный продукт радиальных сгустителей, центрифугат обезвоживающих центрифуг, перелив пирамидальных отстойников, перелив радиальных сгустителей), перелив вакуум-фильтров и фильтр.

Средние значения параметров, влияющих на наработку на отказ шламовых насосов по указанным продуктам, приведены в табл. 5.

Данные для сравнения экспериментальных данных (табл. 3) и расчетных по формуле (4) приведены в табл. 6.

Из табл. 6 следует, что максимальное расхождение между экспериментальными и расчетными данными составляет 13%

Таблица 5

Средние значения параметров,
влияющих на сроки службы насосов Ш270

Перекачиваемый продукт	Верхний предел крупнос- ти К, мм	Содержа- ние клас- са —45 мкм, %	Средняя микро- твердость Т, кг/мм ²	Наработ- ка на отказ t, ч
Шлам:				
крупный	2	25,0	123,0	765
мелкий	1	34,0	114,0	1020
Перелив вакуум-фильтров	1	42,1	103,0	1520
Фильтрат	0,5	50,65	96,1	2010
Крупный шлам (антрацит)	3	17,5	137,0	360

Таблица 6

Экспериментальные и расчетные данные о наработках
на отказ шламовых насосов

Данные	Наработка на отказ (ч) насосов, установленных для перекачки				
	шлама		перелива вакуум- фильтров	филъ- трата	крупного шлама (антрацита)
	крупного	мелкого			
Эксперименталь- ные	765	1020	1520	2010	360
Расчетные	684	1092	1364	2270	366

(перелив вакуум-фильтров), что для данных целей исследования можно считать вполне допустимым.

Таким образом, шламовые насосы Ш-270, работающие в различных звеньях технологической схемы, должны иметь различные межремонтные периоды. Вывод о том, что одно и тоже оборудование углеобогащительных фабрик может иметь различные межремонтные сроки, был сделан также в литературе [3, 19, 21, 22].

Для удобства использования уравнения (4) построим номограмму, для чего запишем уравнение сначала в логарифмической форме [23]

$$\lg t = \lg 1112 + 0,77 \lg \frac{m}{30} - 0,407 \lg K - 0,724 \lg \frac{T}{100}. \quad (5)$$

Введя дополнительное переменное α , уравнение (5) можно представить в виде системы уравнений:

$$\lg t - \lg 1112 + 0,407 \lg K = \lg \alpha, \quad (6)$$

$$0,77 \lg \frac{m}{30} - 0,724 \lg \frac{T}{100} = \lg \alpha. \quad (7)$$

Так как каждое из этих уравнений содержит по три переменных, то для каждого из них возможно построение элементарных сетчатых номограмм. Принимая модули шкал α одинаковыми для общих номограмм, их можно объединить в одну и получить при этом составную номограмму, позволяющую решить уравнение с четырьмя неизвестными.

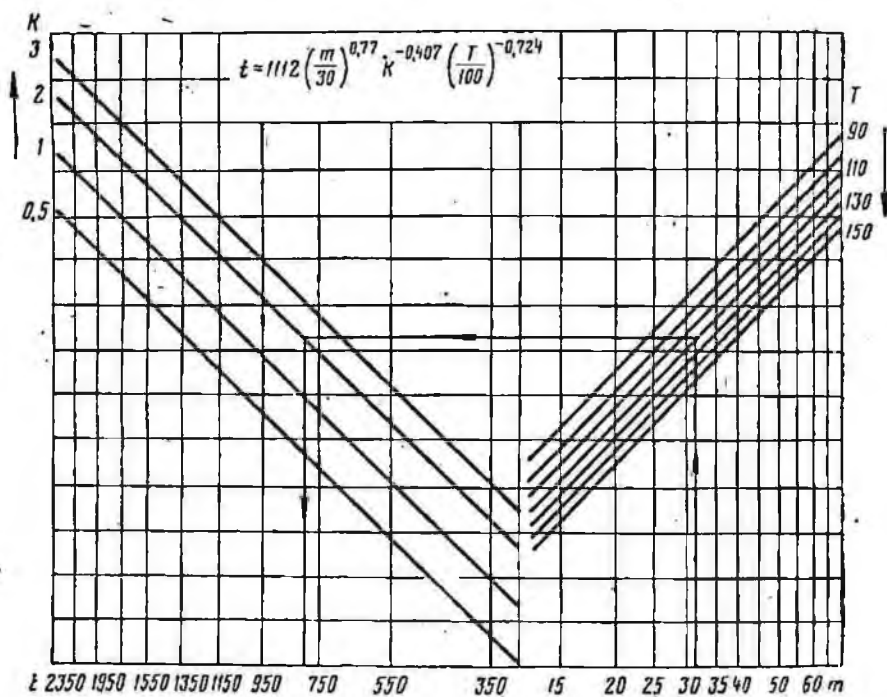


Рис. 5. Номограмма для определения межремонтных периодов шламовых насосов П270 в зависимости от свойств перекачиваемых пульп

Определяем шкалы номограммы. Для номограммы уравнения (7) шкала m . Вычисляем значения

$$0,77 \lg \frac{m_{\max}}{30} = 0,3 \text{ и } 0,77 \lg \frac{m_{\min}}{30} = -0,3$$

и выбираем длину шкалы $L = 300$ мм;
модуль шкалы

$$\mu = \frac{300}{0,3 - (-0,3)} = \frac{300}{0,6} = 500 \text{ мм.}$$

Уравнение шкалы будет иметь вид

$$L_k^{(0,77 \lg \frac{m}{30})} = 500 \left[0,77 \lg \frac{m_k}{30} - (-0,3) \right].$$

Например, для $0,77 \lg \frac{m_k}{30} = 0,1$.

$$L_k = 500 [0,1 + 0,3] = 200 \text{ мм.}$$

Затем методом интерполирования определяются значения m , соответствующие полученным значениям логарифмов, и проставляются по шкалам.

Выбирая ряд значений m (например $m_1; m_2; m_3$ и ... m_n) и какие-то фиксированные значения T ($T_1; T_2; T_3$), по уравнению (7) вычисляются значения $\lg \alpha$.

$$0,77 \lg \frac{m_1}{30} - 0,724 \lg \frac{T_1}{100} = \lg \alpha_1,$$

$$0,77 \lg \frac{m_2}{30} - 0,724 \lg \frac{T_2}{100} = \lg \alpha_2,$$

$$0,77 \lg \frac{m_3}{30} - 0,724 \lg \frac{T_3}{100} = \lg \alpha_3,$$

$$0,77 \lg \frac{m_n}{30} - 0,724 \lg \frac{T_n}{100} = \lg \alpha_n.$$

По значениям $0,77 \lg \frac{m}{30}$ и $\lg \alpha$ строятся точки фиксированного значения T_1 и т. д. Шкала $\lg \alpha$ рассчитывается так же, как и шкала m , а шкала переменного T будет состоять из помеченных линий T_1, T_2, T_3 и т. д. Аналогично строятся шкала K уравнения (6). Порядок пользования номограммой виден на рис. 5.

§ 6. О целесообразности принудительной замены деталей оборудования

Для машин (узлов) с постоянными условиями эксплуатации, а также узлов (деталей), для которых затруднено отыскание прогнозирующих параметров (их техническое состояние может быть охарактеризовано только двумя состояниями «деталь новая» или «деталь отказала»), рекомендуется ППР по функции распределения, т. е. принудительная замена деталей после определенного времени работы независимо от их состояния. Такой порядок замены деталей будет экономически выгоден в том случае, если за некоторое малое время τ по мере увеличения наработки имеет место увеличение вероятности возникновения отказа [24].

Обозначим через $P(t)$; $P(\tau)$ и $P(t + \tau)$ вероятность безотказной работы изделия за время (соответственно) t , τ и $t + \tau$ (рис. 6). По теореме умножения вероятностей получим

$$P(t + \tau) = P(t) \cdot P(\tau),$$

откуда

$$P(\tau) = \frac{P(t + \tau)}{P(t)}.$$

Вероятность возникновения отказа за то же время τ

$$\bar{P}(\tau) = 1 - \frac{P(t + \tau)}{P(t)}. \quad (8)$$

Формула (8) позволяет прогнозировать вероятность появления отказов в интервале τ по предшествующей этому интервалу парботке t [24].

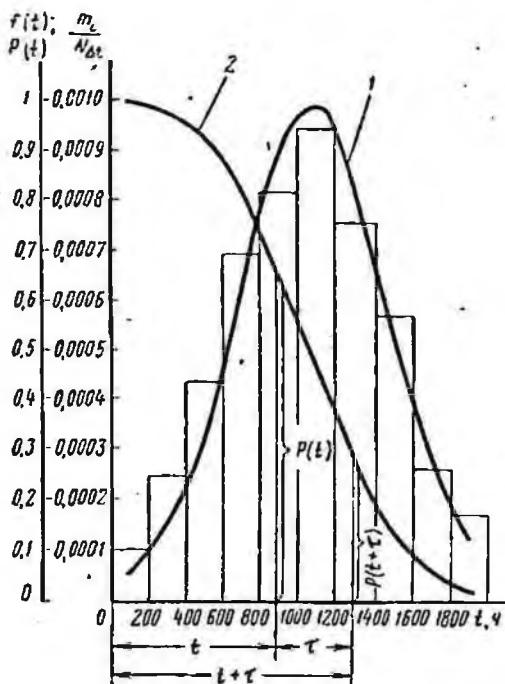


Рис. 6. Плотность распределения (1) и вероятность безотказной работы (2) сит центрифуг НВШ-1000

Используя выражение (8), рассмотрим вопрос о целесообразности принудительной замены деталей с разными законами распределения парботок на отказ. Разберем целесообразность плановой замены сит центрифуг НВШ-1000. На основании статистических данных было зафиксировано 80 значений сроков службы сит (табл. 7).

Из характера гистограммы сроков службы сит центрифуг, построенной по данным табл. 7, можно предположить, что исследуемая случайная величина (срок службы сита центрифуги) подчиняется нормальному закону распределения, плотность распределения которого описывается выражением

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\bar{t})^2}{2\sigma^2}} \quad (9)$$

Таблица 7

Исходные данные для расчета сроков службы сит центрифуг НВШ-1000

Интервал (часы работы сита)	Середина интервала t_i	Количество парботок в интервале m_i	Частота $\frac{m_i}{N}$	Частость $\frac{m_i}{N\Delta t}$
0—200	100	1	0,0125	0,00006
201—400	300	4	0,0500	0,00025
401—600	500	7	0,0875	0,00043
601—800	700	11	0,1375	0,00068
801—1000	900	13	0,1625	0,00081
1001—1200	1100	15	0,1875	0,00093
1201—1400	1300	12	0,1500	0,00075
1401—1600	1500	9	0,1125	0,00056
1601—1800	1700	6	0,0750	0,00037
1801—2000	1900	3	0,0375	0,00018

$$\sum m_i = N = 80 \quad \sum \frac{m_i}{N} = 1$$

где $f(t)$ — плотность вероятности;

$\bar{t}$ — среднее время исправной работы сита;

t_i — время выхода из строя сита;

σ — среднее квадратическое отклонение.

Для построения теоретической кривой распределения по формуле (8) необходимо определить средний срок службы сита $\bar{t}$ и среднее квадратическое отклонение σ (табл. 8).

$$\bar{t} = \frac{\sum m_i t_i}{\sum m_i} = 1071 \text{ ч};$$

$$\sigma = \sqrt{a - \bar{t}^2} = 405 \text{ ч, где } a = \frac{\sum m_i t_i^2}{\sum m_i}.$$

Таблица 8

Исходные данные для определения среднего срока службы и среднего квадратического отклонения срока службы сит центрифуг ПВШ-1000

Номер интервала	Середина интервала t_i	Количество значений в интервале m_i	t_i^2	$m_i t_i$	$m_i t_i^2$
1	100	1	1 000	100	10^4
2	300	4	9 000	1 200	$31 \cdot 10^4$
3	500	7	25 000	3 500	$17,5 \cdot 10^5$
4	700	11	49 000	7 700	$5,39 \cdot 10^6$
5	900	13	810 000	11 700	$10,53 \cdot 10^6$
6	1100	15	1 210 000	16 500	$18,15 \cdot 10^6$
7	1300	12	1 690 000	15 600	$20,28 \cdot 10^6$
8	1500	9	2 250 000	13 500	$20,25 \cdot 10^6$
9	1700	6	2 890 000	10 200	$17,34 \cdot 10^6$
10	1900	3	3 610 000	5 700	$10,83 \cdot 10^6$

$$\sum m_i t_i = 85 700; \quad \sum m_i t_i^2 = 10489 \cdot 10^4$$

Данные для построения кривых плотности распределения и вероятности безотказной работы сит центрифуг ПВШ-1000, исходя из предположения о распределении последних по нормальному закону распределения, приведены в табл. 9.

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}; \quad f(t) = \frac{1}{\sigma} \varphi(x);$$

$$P(t) = \frac{1 + \Phi\left(\frac{\bar{t} - t_i}{\sigma}\right)}{1 + \Phi\left(\frac{\bar{t}}{\sigma}\right)}; \quad (10)$$

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\bar{t}}^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad \text{где } t = \frac{\bar{t} - t_i}{\sigma}.$$

Таблица 9

Данные для построения графиков плотности распределения
и вероятности безотказной работы сит центрифуг НВШ-1000

t_i	$t_i - t_{i-1}$	$\frac{t_i - t_{i-1}}{t_i}$	$\Phi(t)$	$\Phi(t)$	$\frac{t_i - t_{i-1}}{t_i}$	$\left(\frac{t_i - t_{i-1}}{t_i}\right)$	$\left(\frac{t_i - t_{i-1}}{t_i}\right)$	$\Phi(t)$
100	-971	-2.40	0.0224	0.00005	2.39	0.9832	1.9832	0.9956
300	-771	-1.90	0.0656	0.00016	1.89	0.9412	1.9412	0.9745
500	-571	-1.41	0.1476	0.00036	1.39	0.8354	1.8354	0.9412
700	-371	-0.92	0.2613	0.00064	0.89	0.6256	1.6256	0.8163
900	-171	-0.42	0.3653	0.00089	0.39	0.3034	1.3034	0.6543
1100	29	0.07	0.3980	0.00097	-0.11	-0.0876	0.9124	0.4580
1300	229	0.57	0.3391	0.00083	0.61	-0.4582	0.5418	0.2720
1500	429	1.06	0.2275	0.00056	-1.11	-0.7330	0.2670	0.1340
1700	629	1.55	0.1200	0.00029	-1.61	-0.8926	0.1074	0.0539
1900	829	2.05	0.0488	0.00012	-2.11	-0.8926	0.0348	0.0175

Сравним экспериментальную и теоретическую кривую по критерию согласия χ^2 . Данные для вычислений приведены в табл. 10, где $m'_i = f(t) \Delta t \sum m_i$ (Δt — ширина интервала).

$$\chi^2 = \sum \frac{(m_i - m'_i)^2}{m'_i} = 2,44.$$

Таблица 10

Данные для сравнения экспериментальной и теоретической кривых
плотности распределения сроков службы сит центрифуг НВШ-1000
по критерию согласия χ^2 [56]

m_i	m'_i	$(m_i - m'_i)$	$(m_i - m'_i)^2$	$\frac{(m_i - m'_i)^2}{m'_i}$
1	0,8	0,2	0,04	0,05
4	2,6	1,4	1,96	0,76
7	5,8	1,2	1,44	0,25
11	10,2	0,8	0,64	0,06
13	14,2	-1,2	1,44	0,10
15	15,5	-0,5	0,25	0,02
12	13,5	-1,3	1,69	0,13
9	9,0	0	0	0
6	4,6	1,4	1,96	0,43
3	1,9	1,1	1,21	0,64

Число степеней свободы

$$K = n - r - 1 = 7,$$

где n — количество интервалов;

r — число параметров теоретической функции.

При $\chi^2 = 2,44$ и $K = 7$ на основании таблиц в литературе [25] находим $P(\chi^2) = 0,9224 > 0,05$, т. е. кривые согласуются, что не противоречит принятой гипотезе о распределении сроков службы сит центрифуг НВШ-1000 по нормальному закону. Это подтверждается также и физической моделью процесса, так как износ сит центрифуг имеет в основном постепенный характер.

Таким образом, уравнения плотности распределения и вероятности безотказной работы сит центрифуг НВШ-1000 могут быть записаны в следующем виде:

$$f(t) = \frac{1}{405 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-1071)^2}{2 \cdot 405^2}}$$

$$P(t) = 0,502 [1 + \Phi(2,64 - 0,0025t)].$$

В дальнейшем данную задачу будем рассматривать следующим образом. Ремонтными слесарями осмотрено сито. Оно оказалось вполне исправным. Требуется определить вероятность отказа сита до следующего осмотра через двое суток (для удобства вычислений примем $\tau = 50$ ч). Примем величину t равной 300, 500, 700, 900, 1100, 1300, 1700 и 1900 ч.

Вероятность безотказной работы сит за время $(t + \tau)$ может быть определена из выражения

$$P(t + \tau) = \frac{1 + \Phi\left[\frac{\bar{t} - (t + \tau)}{\sigma}\right]}{1 + \Phi\left(\frac{\bar{t}}{\sigma}\right)}. \quad (11)$$

Подставляя в формулу (8) значения $P(t)$, $P(t + \tau)$, $\bar{t}$ и σ для вероятности отказа за время τ , получаем

$$\bar{P}(\tau) = \frac{\Phi(2,64 - 0,0025t) - \Phi[2,64 - 0,0025(t + \tau)]}{1 + \Phi(2,64 - 0,0025t)}. \quad (12)$$

Результаты вычислений по формуле (12) приведены в табл. 11.

Из табл. 11 и графика на рис. 7, построенного на основании данных этой таблицы, видно, что вероятность отказа сита за

Таблица 11

Результаты расчета вероятности отказа сит центрифуг НВШ-1000 за время $\tau = 50$ ч

t_i	$\Phi(2,64 - 0,0025t_i)$	$\Phi[2,64 - 0,0025 \times (t_i + \tau)]$	$1 + \Phi(2,64 - 0,0025t_i)$	$\bar{P}(\tau)$
300	0,9412	0,9224	1,9412	0,0097
500	0,8354	0,7942	1,8354	0,0224
700	0,6256	0,5558	1,6256	0,0423
900	0,3034	0,2090	1,3034	0,0724
1100	-0,0876	-0,1856	0,9124	0,1074
1300	-0,4582	-0,5376	0,5418	0,1466
1500	-0,7330	-0,7832	0,2670	0,1880
1700	-0,8926	-0,9173	0,1074	0,2300
1900	-0,9652	-0,9746	0,0348	0,2701

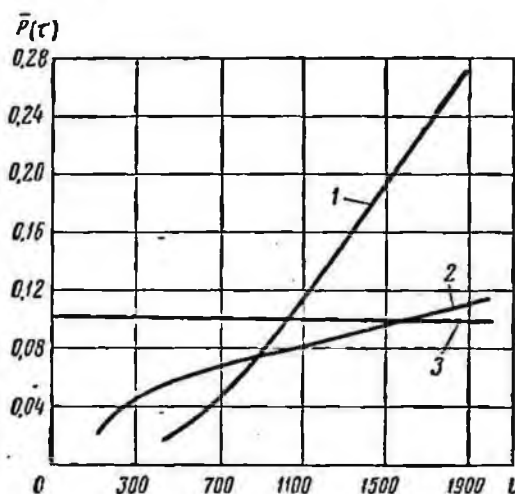


Рис. 7. Вероятность отказа деталей с различными законами распределения наработок на отказ за время $\tau = 50$ ч:

1 — сит центрифуг НВШ-1000; 2 — рабочих колес шламовых насосов Ш-270; 3 — тканых сит грохотов

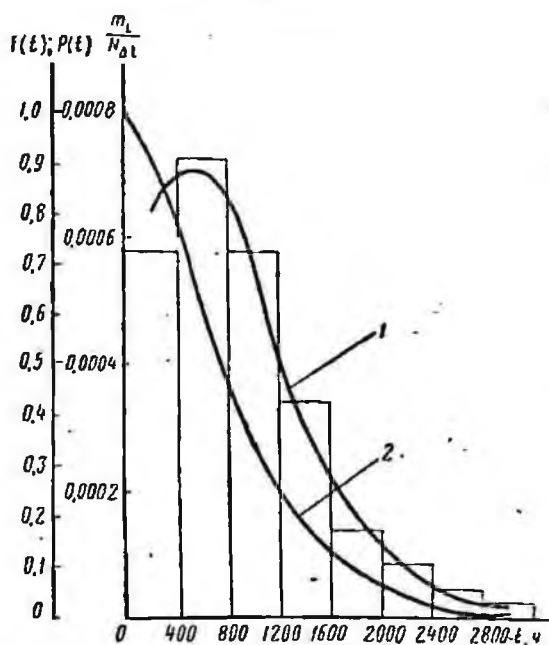


Рис. 8. Плотность распределения (1) и вероятность безотказной работы (2) рабочих колес шламовых насосов Ш-270

соса) подчиняется закону Вейбулла, плотность вероятности которого описывается выражением

$$f(t) = \frac{m}{t_0} t^{m-1} \exp \left[-\frac{t^m}{t_0} \right], \quad (13)$$

время t резко возрастает по мере увеличения времени t . Если после 300 ч эта вероятность составляла всего 0,97%, то после 1900 ч она была 27%, т. е. возросла почти в 30 раз.

Таким образом, при нормальном законе распределения наработки на отказ возникновение отказа можно прогнозировать по наработке.

Оптимальное время работы деталей, после которого их необходимо заменять новыми, следует определять с учетом экономических факторов.

Рассмотрим целесообразность принудительной плановой замены рабочих колес шламового насоса Ш-270. Полученные в результате наблюдений [133] значения сроков службы приведены в табл. 12, где

$$\bar{t} = \frac{\sum m_i t_i}{N} = 868 \text{ ч};$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum m_i t_i^2}{N} - \bar{t}^2} = 587 \text{ ч}.$$

Коэффициент вариации $V = \sigma/\bar{t} = 0,68$.

На основании данных табл. 12 построена гистограмма, из характера которой можно предположить, что исследуемая случайная величина (срок службы рабочего колеса шламового насоса)

где t — текущее значение срока службы рабочих колес, ч;
 t_0 и m — параметры распределения.

При $V = 0,68$ по таблицам в литературе [25] находим $m = 1,5$;
 $b_m = 0,903$. По формуле $t_0 = (t/b_m)^m$ определяем $t_0 = 29\,790$.

Данные для построения кривых (рис. 8) плотности распределения и вероятности безотказной работы рабочих колес, исходя из предположения о распределении последних по закону Вейбулла, приведены в табл. 13, где

$$m_i = f(t) \Delta t \sum m_i;$$

$$P(t)_i = e^{-\frac{t_i^m}{t_0^m}}. \quad (14)$$

При $\chi^2 = 1,63$ и $K = 5$ $P(\chi^2) = 0,89$, что не противоречит принятой гипотезе о распределении сроков службы рабочих колес шламовых насосов по закону Вейбулла. Следовательно, уравнения плотности распределения и вероятности безотказной работы рабочих колес шламового насоса Ш-270 можно записать в виде

$$P(t)_i = e^{-\frac{t_i^{1,5}}{29\,790}}; \quad f(t) = 0,00054 t_i e^{-\frac{t_i^{1,5}}{29\,790}}.$$

Математическая модель распределения сроков службы рабочих колес шламового насоса по закону Вейбулла согласуется с физической, так как помимо постепенного износа рабочие колеса подвергаются внезапным отказам в связи с откручиванием крепящей гайки, а главным образом из-за попадания в насос посторонних предметов (болтов, гаек, электродов, кусков металла и т. д.).

Определим далее вероятность отказа рабочего колеса за время $\tau = 50$ ч при значениях t , равных 200, 600, 1000, 1400 и 1800 ч, предварительно отметив, что вероятность безотказной работы за время $(t + \tau)$ при распределении по закону Вейбулла может быть определена из выражения

$$P(t + \tau) = e^{-\frac{(t + \tau)^m}{t_0^m}}.$$

Подставляя значения $P(t + \tau)$ и $P(t)$ в формулу (8) для определения вероятности отказа за время τ по закону Вейбулла, получим следующее выражение:

$$\bar{P}(\tau) = 1 - \frac{e^{-\frac{(t + \tau)^m}{t_0^m}}}{e^{-\frac{t^m}{t_0^m}}} \quad (15)$$

Результаты расчета по формуле (15) приведены в табл. 14.

Исходные данные для расчета сроков службы рабочих колес шламовых насосов Ш270

Таблица 12

Интервалы	Середина интервала t_i	Количество значений, попавших в интервал m_i	Частота $\frac{m_i}{N}$	Частость $\frac{m_i}{N \Delta t}$	t_i^2	$m_i t_i$	$m_i t_i^2$
0—400	200	31	0,2331	0,00058	$4 \cdot 10^4$	6 200	$124 \cdot 10^4$
401—800	600	39	0,2932	0,00073	$36 \cdot 10^4$	23 400	$14,04 \cdot 10^6$
801—1200	1000	31	0,2331	0,00058	10^6	31 000	$31 \cdot 10^6$
1201—1600	1400	18	0,1358	0,00034	$196 \cdot 10^4$	25 200	$35,29 \cdot 10^6$
1601—2000	1800	7	0,0526	0,00013	$324 \cdot 10^4$	12 600	$22,68 \cdot 10^6$
2001—2400	2200	4	0,0301	0,00008	$484 \cdot 10^4$	8 800	$19,36 \cdot 10^6$
2401—2800	2600	2	0,0150	0,00004	$676 \cdot 10^4$	5 200	$13,52 \cdot 10^6$
2801—3200	3000	1	0,0075	0,00002	$9 \cdot 10^4$	3 000	$9 \cdot 10^6$

$$\sum m_i = 133 \quad \sum \frac{m_i}{N} = 1 \quad \sum m_i t_i = 115 400 \quad \sum m_i t_i^2 = 146 120 000$$

Данные для построения кривых плотности распределения и вероятности безотказной работы рабочих колес шламовых насосов Ш270

Таблица 13

t_i	t_i^{m-1}	$\frac{m}{t_0} t_i^{m-1}$	t_i^m	$\frac{t_i^m}{t_0}$	$P(t)_i$	$f(t)$	m_i	$m_i - m_i'$	$(m_i - m_i')^2$	$\frac{(m_i - m_i')^2}{m_i'}$
200	14,1421	0,00071	2 828	0,095	0,9033	0,00064	34,0	-4,0	16,0	0,47
600	24,4949	0,001237	14 697	0,490	0,6126	0,00071	37,8	1,2	1,44	0,04
1000	31,6228	0,001596	31 628	1,060	0,3465	0,00055	20,3	1,7	2,89	0,10
1400	37,4169	0,001889	52 383	1,760	0,1720	0,00031	16,5	1,5	2,25	0,14
1800	42,4269	0,002142	76 367	2,560	0,0773	0,00016	8,5	-1,5	2,25	0,26
2200	46,9044	0,004690	103 189	3,460	0,03143	0,00007	3,7	0,3	0,09	0,02
2600	50,9905	0,02575	132 574	4,450	0,01168	0,00003	1,6	0,4	0,16	0,10
3000	54,7728	0,02766	164 317	5,515	0,004	0,00001	0,5	0,5	0,25	0,50

$$\chi = \sum \frac{|m_i - m_i'|^2}{m_i'} = 1,63$$

Таблица 14

Результаты расчета вероятности отказа рабочих колес шламовых насосов Ш270 за время $\tau = 50$ ч

t_i	t_i^m	$\frac{t_i^m}{t_0}$	$P(t)_i$	$t_i + \tau$	$(t_i + \tau)^m$	$\frac{(t_i + \tau)^m}{t_0}$	$P(t_i + \tau)$	$\bar{P}(\tau)$
200	2 828	0,095	0,9093	250	3 953	0,13	0,8781	0,034
600	14 697	0,490	0,6126	650	16 572	0,555	0,5740	0,063
1000	31 628	1,060	0,3465	1050	34 024	1,14	0,3198	0,077
1400	52 383	1,760	0,1720	1450	55 214	1,85	0,1572	0,086
1800	76 367	2,56	0,0773	1850	79 572	2,67	0,0693	0,103

Таблица 15

Исходные данные для расчета сроков службы тканых сит грохотов

Интервал, ч	Середина интервала t_i	Количество значений, попавших в интервал m_i	Частота $\frac{m_i}{N}$	Частость $\frac{m_i}{N \Delta t}$	$m_i t_i$
0—200	100	44	0,37	0,00185	4400
201—400	300	29	0,244	0,00122	8700
401—600	500	11	0,0925	0,000463	5500
601—800	700	9	0,0757	0,000378	6300
801—1000	900	8	0,0672	0,000336	7200
1001—1200	1100	7	0,0588	0,000294	7700
1201—1400	1300	6	0,0504	0,000252	7800
1401—2000	1700	5	0,042	0,00007	8500

$$\sum m_i = N = 119 \quad \sum \frac{m_i}{N} = 1 \quad \sum m_i t_i = 56 100$$

$$\bar{t} = 471 \text{ ч} \quad \sigma = 443 \text{ ч} \quad V \approx 1$$

Из табл. 14 и графика на рис. 7, построенного на основании данных этой таблицы; видно, что вероятность отказа за время t по мере увеличения времени t при распределении по закону Вейбулла (при $V < 1$) также возрастает. Следовательно, в этом случае можно прогнозировать отказ по наработке и рекомендовать ППР по функции распределения.

Рассмотрим случай замены тканых сит на грохоты.

Полученные в результате наблюдений сведения о сроках службы тканых сит приведены в табл. 15.

На основании данных табл. 15 построена гистограмма (рис. 9), из характера которой можно предположить, что срок службы сит подчиняется экспоненциальному закону, плотность вероятности которого определяется из выражения

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad (16)$$

Рис. 9. Плотность распределения (1) и вероятность безотказной работы (2) тканых сит грохотов

где $\lambda = \frac{1}{t} = 0,000212$ (интенсивность отказов).

Подставляя найденное значение λ в формулу (16), получим

$$f(t) = 0,000212 e^{-0,000212 t}.$$

Данные для построения кривых плотности распределения и вероятности безотказной работы тканых сит приведены в табл. 16.

Таблица 16
Данные для построения кривых плотностей распределения и вероятности безотказной работы тканых сит

t_i	λt	$P(t) = e^{-\lambda t}$	$\theta(t) = 1 - e^{-\lambda t}$	$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$
0	0	1,000		
100	0,21	0,8106	0,0000	0,00212
300	0,64	0,5273	0,1894	0,00171
500	1,06	0,3465	0,4727	0,00112
700	1,48	0,2276	0,6535	0,00073
900	1,91	0,1481	0,7724	0,00048
1100	2,33	0,0973	0,8519	0,00031
1300	2,76	0,0633	0,9027	0,00021
1700	3,60	0,0273	0,9367	0,00013
			0,9727	0,00006

Проверка закона распределения производилась по критерию согласия χ^2 . Результаты расчета приведены в табл. 17.

Таблица 17

Данные для сравнения экспериментальной и теоретической кривых плотности распределения сроков службы тканых сит грохотов по критерию согласия χ^2

Интервал	$P(t)$	$\theta(t)$	m_t	m_t^2	g_t	$\frac{m_t^2}{g_t}$
0—200	0,6570	0,3430	44	1963	0,3430	5644
201—400	0,4274	0,5726	29	841	0,2896	3663
401—600	0,2809	0,7192	11	121	0,1466	825
601—800	0,1827	0,8173	9	91	0,0981	825
801—1000	0,1200	0,8800	8	64	0,0627	1021
1001—1200	0,0789	0,9211	7	49	0,0411	1192
1201—1400	0,0513	0,9487	6	36	0,0276	1304
1401—2000	0,0144	0,9856	5	25	0,0369	487

$$\sum \frac{m_t^2}{g_t} = 14962$$

Полученный при проверке уровень значимости $P(\chi^2) = 0,35$ не противоречит принятой гипотезе о распределении сроков службы тканых сит по экспоненциальному закону. Это вполне согласуется с физической моделью, так как проведенными исследованиями установлено, что отказы преобладающего большинства тканых сит происходят в результате случайных факторов. В литературе [26] отмечено, что в результате износа проволок сит происходит всего лишь 8% отказов.

Для определения вероятности отказа сита за время τ подставим значения $P(t)$ и $P(t + \tau)$ в формулу (8), получим выражение

$$\bar{P}(\tau) = 1 - e^{-\lambda\tau}, \quad (17)$$

т. е. вероятность отказа сита не зависит от наработки, что видно из графика на рис. 7 [значение $\bar{P}(\tau)$ показано при $\tau = 50$ ч].

Таким образом, тканые сита грохотов, не следует заменять принудительно.

Изложенное в полной мере относится к деталям машин и к машинам в целом лишь при нормальном распределении или распределении по закону Вейбулла. При экспоненциальном распределении в ряде случаев положение может быть несколько иным.

Опыт обработки статистических данных по отказам углеобогачительного оборудования показывает, что в ряде случаев экспоненциальное распределение наработок на отказ машин в целом может определять даже один элемент, наработка на отказ которого распределена по этому закону, при условии, что удельный вес отказов машины из-за этого элемента является преобладающим.

Наработка на отказ ленточных конвейеров согласуется с экспоненциальным распределением. Результаты исследований отказов отдельных элементов конструкции ленточных конвейеров показали, что наработка на отказ только одного элемента (приспособления для очистки ленты) распределена по экспоненциальному закону, что и определило закон распределения на отказ конвейера в целом. Законы распределения наработок на отказ всех остальных элементов конструкции конвейеров отличны от экспоненциального, что вполне согласуется с физическими моделями, так как отказы носят в основном постепенный характер.

Боковые уплотнения и барабаны изнашиваются постепенно в результате трения о ленту. Лента имеет нормальный закон распределения наработок на отказ, а поддерживающие ролики и подшипники качения барабанов подчиняются закону распределения Вейбулла; отказы деталей привода также являются в основном результатом их постепенного износа.

Аналогичное положение имеет место с дисковыми вакуум-фильтрами, отказы которых происходят в основном в результате порыва фильтровальной ткани, что и определило экспоненциальный закон распределения отказов фильтра в целом. Закон распределения наработок на отказ фильтра без учета отказов порыва фильтровальной ткани отличен от экспоненциального.

Вариационный ряд наработок на отказ исследуемых фильтров без учета отказов в результате порыва фильтровальной ткани приведен в табл. 18.

Таблица 18

Вариационный ряд наработок на отказ фильтров без учета отказов в результате порыва фильтровальной ткани

Интервал	Середина интервала t_i	Количество наработок в интервале m_i	Интервал	Середина интервала t_i	Количество наработок в интервале m_i
0—300	150	1	1801—2100	1950	13
301—600	450	8	2101—2400	2250	10
601—900	750	13	2401—2700	2550	7
901—1200	1050	15	2701—3000	2850	5
1201—1500	1350	19	3001—3300	3150	3
1501—1800	1650	16	3301—3600	3450	2

Обработка данных табл. 18 показывает, что наработка на отказ дисковых вакуум-фильтров без учета отказов в результате разрыва фильтровальной ткани подчиняется закону Вейбулла с параметрами $\bar{t} = 1586$ ч; $\sigma = 715$ ч; $V = 0,5$; $m = 2,0$; $b_m = 0,886$; $t_0 = 3\,062\,800$; $P(\chi^2) = 0,98$.

Следовательно, замену всех остальных деталей фильтров целесообразно производить принудительно.

На основании рассмотренных в главе материалов можно сделать следующие выводы:

1. Система технического обслуживания и ремонта оборудования углеобогачительных фабрик включает:

периодическое межремонтное техническое обслуживание ОМ и ОР;

ремонт: ежемесячные ремонтные осмотры РО, плановые (текущие Т и капитальные К) и внеплановые (ремонт по потребности);

комплекс организационных, технических и социально-экономических мероприятий.

2. Выделение в межремонтном техническом обслуживании двух видов профилактических мероприятий — обслуживания ОМ и ОР обусловлено тем, что они должны выполняться рабочими различных производственных профессий: обслуживание ОМ — мотористами, а ОР — слесарями.

3. Основным видом ремонта на фабриках должен быть планово-предупредительный:

а) по техническому состоянию — при возможности отыскания прогнозирующих параметров (структурных или диагностических);

б) по функции распределения:

при невозможности отыскания прогнозирующих параметров, т. е. когда техническое состояние машины (детали) может быть охарактеризовано только двумя состояниями: «машина (деталь) новая»; или «машина (деталь) отказала»;

для оборудования с постоянными условиями эксплуатации (постоянство нагрузок, granulометрического состава перерабатываемого материала и т. д.), т. е. когда по времени эксплуатации машины с достаточной для практики точностью можно судить о ее техническом состоянии.

4. При решении вопроса о целесообразности ППР по функции распределения необходимо прежде всего определить закон распределения наработок на отказ оборудования в целом и его сменных деталей, при этом:

если распределение наработок на отказ деталей согласуется с нормальным распределением или распределением Вейбулла (при $V < 1$), то замену этих деталей следует производить периодически;

если распределение наработок на отказ отдельных деталей согласуется с экспоненциальным распределением (т. е. имеет место большой разброс их ресурса), то замену таких деталей принудительно проводить экономически целесообразно; в этом случае необходимо проводить ремонт по потребности: например, тканые сита грохотов, фильтровальная сетка вакуум-фильтров и др.; внеплановые ремонты должны проводиться также в случаях отсутствия последствий отказов, т. е. когда отказ детали до проведения очередного технического обслуживания не может вызвать

отказа других деталей или машины в целом, например, конвейерные ролики и др.;

если распределение наработок на отказ оборудования в целом согласуется с экспоненциальным распределением, то принудительно не следует заменять только те детали, распределение наработок на отказ которых согласуется с этим распределением и определяет закон распределения наработок на отказ машины в целом.

Определение оптимальных интервалов принудительной замены деталей следует производить с учетом экономических факторов; при этом сравниваются стоимость проведения ППР и убытки связанные с простоями фабрик из-за внезапных отказов.

Методы безразборного контроля технического состояния машин, основанные на показаниях приборов, т. е. техническая диагностика, должны быть неотъемлемой частью системы технического обслуживания и ремонта оборудования углеобогательных фабрик.

Глава II

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕЖРЕМОНТНЫХ ПЕРИОДОВ

§ 1. Краткий обзор существующих методов оптимизации межремонтных периодов

Величина межремонтного периода является основным параметром системы технического обслуживания и ремонта оборудования, отражающим его специфику, характер загрузки и эксплуатации.

При формировании системы ППР не имелось теоретических предпосылок для установления оптимальных межремонтных периодов ввиду сложности решения данной задачи. Ю. С. Борисов [27], описывая методику построения систем ППР, указывает, что расчет оптимальных периодов между ремонтами осложняется рядом обстоятельств. Поэтому значительно проще подойти к решению этой задачи чисто практический, с известным приближением, путем опытного подбора периодов между ремонтами, обеспечивающих бесперебойную работу оборудования. Последующее определение объема ремонтных работ, затрат и простоев оборудования в ремонтах и сравнение их с этими же показателями при других больших и меньших периодах между ремонтами позволяет проверить, насколько выбранные периоды экономически оправданы. Именно таким путем проводились работы по установлению периодов между плановыми ремонтами в процессе разработки системы периодических ремонтов.

Поэтому, практический подбор межремонтных периодов требует длительного времени, не позволяет ответить на вопрос, как изменить межремонтный период при изменении методов эксплуатации и введении модернизации, не дает направленности мероприятий по повышению межремонтного периода [8].

Поэтому разработка методов расчета оптимального межремонтного периода необходима для создания научно обоснованной системы технического обслуживания и ремонта оборудования.

В настоящее время в технической литературе опубликован целый ряд методов определения оптимальных интервалов плановых замен элементов. Рассмотрим лишь некоторые из них. В основу методики [8] положена идея о целесообразности замены части деталей станков, имеющих короткие сроки службы, при

межремонтном обслуживании и удлинении в связи с этим продолжительности межремонтных периодов и более полном использовании сроков службы деталей.

Для определения оптимальной продолжительности межремонтных периодов $t_{\text{опт}}$ методика предлагает установить такое соотношение между объемами работ, выполняемых при периодических ремонтах и межремонтном обслуживании, которое обеспечивает минимальную трудоемкость ремонта для данных условий эксплуатации. При этом трудоемкость ремонта характеризуется показате-

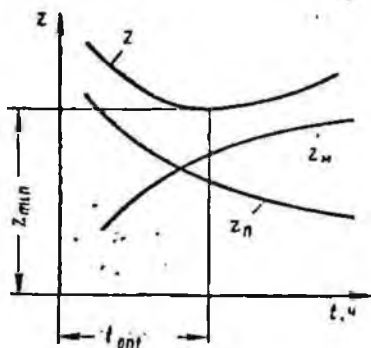


Рис. 10. Зависимость относительных ремонтных потерь от длительности межремонтного периода

Z — относительные ремонтные потери; Z_m — относительные ремонтные потери при межремонтном обслуживании; Z_p — относительные ремонтные потери при периодических ремонтах

лем относительных ремонтных потерь, представляющим отношение времени простоя станка в ремонте T_p ко времени его работы T_p ,

$$Z = \frac{T_p}{T_p} = \sum \frac{\tau_i}{T_i},$$

где τ_i — трудоемкость ремонта i -ой детали (узла), включая разборку, сборку и выверку деталей;

T_i — срок службы i -ой детали (узла).

В то же время

$$Z = Z_m + Z_p,$$

где Z_m — относительные ремонтные потери при межремонтном обслуживании;

Z_p — относительные ремонтные потери при периодических ремонтах.

С увеличением межремонтного периода количество деталей, подлежащих замене при межремонтном обслуживании, будет возрастать, следовательно, относительные ремонтные потери Z_m будут также расти. В то же время с увеличением межремонтного периода относительные ремонтные потери при периодических ремонтах Z_p будут уменьшаться. Выражая Z_m и Z_p через величину межремонтного периода t и учитывая разнонаправленный характер изменения величин Z_m и Z_p , предлагаемая методика позволяет определить $t_{\text{опт}}$, т. е. продолжительность межремонтного периода, обеспечивающую минимальные суммарные ремонтные потери Z и, следовательно, минимальную трудоемкость ремонта (рис. 10).

Для определения оптимального межремонтного периода предложена формула

$$t_{\text{опт}} = \frac{1.8}{k} \left(\frac{\tau_k}{\tau_1} + 1 \right) (\beta - \sqrt{\beta^2 - 1}) T_{\text{ф}}, \quad (18)$$

где k — число ремонтов в цикле;

τ_k — трудоемкость капитального ремонта;

τ_1 — трудоемкость малого ремонта;

$T_{\text{ф}}$ — фактический межремонтный период;

β — коэффициент, показывающий возрастание трудоемкости ремонта деталей узла при межремонтном обслуживании за счет возрастания сборочно-разборочных работ.

Коэффициент β зависит от конструкции машины [8]. Величина $t_{\text{опт}}$ в уравнении (18) выражена в зависимости от отношения трудоемкости капитального ремонта к трудоемкости 1-го ремонта τ_k/τ_1 ; возрастания трудоемкости сборочно-разборочных работ при межремонтном обслуживании, характеризуемого коэффициентом β ; фактической продолжительности межремонтного периода $t_{\text{ф}}$.

Для применения рассматриваемой методики оптимизации продолжительности межремонтного периода необходимо:

установить номенклатуру деталей, замена которых может быть переведена в межремонтное обслуживание;

определить трудоемкость разборочно-сборочных работ по замене указанных деталей;

установить величину коэффициентов α для каждой детали отобранной номенклатуры на основании предварительного изучения скоростей их изнашивания, выявления величин предельно допустимых износов и установления сроков их службы;

найти отношение τ_k/τ_1 по данным о средней трудоемкости разборочно-сборочных работ при капитальном ремонте и 1-ом малом ремонте;

определить $t_{\text{опт}}$ по формуле (18).

Таким образом, найденная продолжительность межремонтного периода $t_{\text{опт}}$ будет оптимальной лишь при условии, что выбранная номенклатура деталей, переводимых в межремонтное обслуживание, обеспечит минимизацию величины Z .

На основании проведенных исследований не удалось определить область применения данного метода для определения оптимальных межремонтных периодов оборудования углеобогажительных фабрик, так как указанный метод не содержит критериев, позволяющих отобрать такую номенклатуру деталей, которая обеспечивала бы минимизацию функции Z . Но даже если допустить, что удалось правильно установить номенклатуру деталей, формула (18) позволяет определить величину $t_{\text{опт}}$ только в зависимости от фактической продолжительности межремонтного периода $t_{\text{ф}}$. Следовательно, если величина $t_{\text{ф}}$ установлена на фабрике неправильно, то и величина $t_{\text{опт}}$ полученная в результате применения предложенной методики, будет определена настолько

же неправильно. Данная методика не учитывает экономических убытков, вызываемых простоями оборудования вследствие внезапных отказов.

Норма пробега тепловозов между отдельными видами осмотра или ремонта определяется по формуле [28]

$$L = \frac{(k - k') 10^4}{M_{\text{ср}}}, \text{ км}, \quad (19)$$

где k — предельный размер детали, зазора или износа, мм;
 k' — допустимое отклонение размера новой детали или зазора, мм;

$M_{\text{ср}}$ — средний износ детали или сопряжения (мм), отнесенный к пробегу 10^4 км.

Предлагается также нормировать осмотры и ремонты локомотивов в зависимости от производимой ими механической работы (т/км) или использовать показатели расхода топлива или электроэнергии, характеризующие степень использования мощности локомотива и нагрузки его основных узлов и механизмов. Для этого в литературе [29] предложена формула

$$\Pi = \frac{P}{a}, \quad (20)$$

где Π — период между осмотрами или ремонтами, км;

P — норма расхода натурального дизельного топлива между отдельными видами осмотра или ремонта для тепловозов данной серии, кг;

a — показатель использования мощности тепловозов данной серии, кг/км.

Установленная периодичность осмотров и ремонтов корректируется в процессе ее внедрения. В качестве критерия рациональности системы принимаются количество «порч в пути», объем внепланового ремонта и затраты на ремонт и осмотры. Разработанная таким образом система периодических осмотров и ремонтов оказывается весьма эффективной с точки зрения безотказности подвижного состава железнодорожного транспорта.

В работе Е. С. Кузнецова [5] описаны следующие методы определения оптимальной периодичности межремонтного технического обслуживания.

Метод аналогий и уточнений. Согласно данному методу, периодичность и перечень мероприятий по техническому обслуживанию нового оборудования устанавливаются на основании существующей на данном предприятии периодичности обслуживания аналогичного образца, а затем уточняются в процессе эксплуатации. Такой метод является ориентировочным. Для оборудования углеобогачительных фабрик он может быть рекомендован только на период промышленных испытаний новых машин или период их опытно-промышленной эксплуатации.

Определение периодичности технического обслуживания по внешнему виду машины. По внешнему виду и характеру загрязнений может быть определена периодичность технического обслуживания оборудования, которое сильно загрязняется в процессе работы, например, насосы, установленные на минусовых отметках; на ряде фабрик оборудованием привозных углей; обезвоживающие грохоты. С помощью этого метода можно определить периодичность работ по чистке, мойке, побелке и, в отдельных случаях, по смазке оборудования, т. е. тех работ, выполнение которых предусматривается обслуживанием ОМ и осуществляется обслуживающим персоналом. Таким образом, для оборудования углеобогачительных фабрик данный метод имеет очень ограниченное применение и может дать весьма примерные результаты.

Определение периодичности технического обслуживания по допустимому значению и закономерности изменения параметра, характеризующего техническое состояние. Этот способ применим при условии, что известны допустимое значение параметра и закономерность его изменения в процессе эксплуатации.

Если изменение технического состояния происходит постепенно, то его можно выразить в зависимости от времени эксплуатации (или количества угля переработанного машиной), так называемой, целой рациональной функцией n порядка [30]

$$y = Y_0 + a_1 t_0 + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n, \quad (21)$$

где y — параметр технического состояния (износ, износ и т. д.);
 Y_0 — начальная величина этого параметра (при $t=0$);
 t — время эксплуатации машины;
 $a_1, a_2, \dots, a_n$ — коэффициенты, определяющие характер и степень зависимости параметра y от времени эксплуатации.

Зная закономерность изменения технического состояния $y = \psi(t)$ и допустимое значение параметра Y_d , определяем оптимальную периодичность технического обслуживания подстановкой в формулу (21) значения Y_d . Для случая линейной зависимости

$$Y_d = Y_0 + a_1 t_0$$

или

$$t_0 = \frac{Y_d - Y_0}{a_1}. \quad (22)$$

В литературе [5] Е. С. Кузнецов отмечает, что здесь не учтена вариация параметра и не дана оценка надежности получаемой периодичности, поэтому им введено понятие максимальной интенсивности изменения параметра технического состояния,

соответствующей доверительному уровню вероятности. В связи с этим формула (22) приобретает вид:

$$t_0 = \frac{Y_d - Y_0}{\mu \bar{a}}, \quad (23)$$

где μ — коэффициент максимальной интенсивности изменения параметра в процессе эксплуатации изделия, учитывающий вид кривой распределения, коэффициент вариации и доверительный уровень вероятности;

$\bar{a}$ — средняя интенсивность изменения параметра.

Для нормального закона распределения коэффициент μ_n можно определить из выражения

$$\mu_n = 1 - t_d V, \quad (24)$$

где t_d — доверительный уровень вероятности, т. е. вероятность благоприятного исхода для соответствующей постановки задачи;

V — коэффициент вариации.

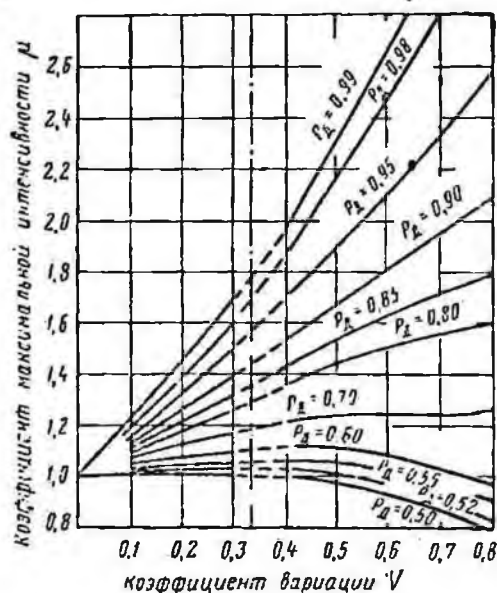


Рис. 11. Влияние коэффициента вариации, закона распределения и доверительного уровня вероятности на коэффициент максимальной интенсивности

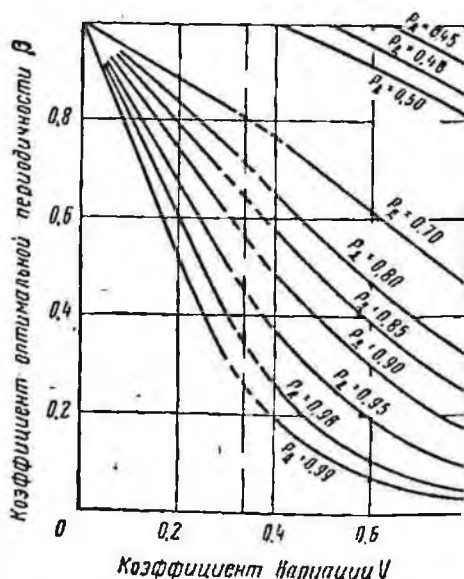


Рис. 12. Влияние коэффициента вариации, закона распределения и доверительного уровня вероятности на коэффициент оптимальной периодичности

В более широком диапазоне коэффициент максимальной интенсивности изменения параметра μ может быть определен с помощью графика на рис. 11 [5].

Доверительный уровень вероятности P_d не может быть постоянным для всех машин. Величину его следует устанавливать

в зависимости от последствий отказа. Для этого может быть использован коэффициент важности оборудования. С учетом этого коэффициента доверительный уровень вероятности может быть принят равным 0,9; 0,85; 0,8 и 0,75 соответственно для первой, второй, третьей и четвертой групп важности оборудования.

Этот метод не учитывает непосредственно экономическую сторону получаемой периодичности технического обслуживания.

Пример. Определить периодичность контроля сит центрифуг НВШ-1000, если известно, что содержание твердого в фугате при новом сите $Y_0 = 140$ г/л; предельно допустимое $Y_d = 220$ г/л; $\bar{a} \approx 0,1$ (за 1000 ч эксплуатации центрифуги); $P_d = 0,80$ (третья группа важности); $V = 0,4$.

По формуле (24) находим $\mu_n = 1,32$, по формуле (23) — $t_0 = 600$ ч.

Определение периодичности технического обслуживания по допустимому уровню безотказности. Этот метод предусматривает определение периодичности t_0 при условии, что вероятность возникновения отказа или неисправности ранее установленной периодичности будет меньше обусловленного уровня.

Оптимальная периодичность определяется из выражения

$$t_0 = \beta \bar{t}, \quad (25)$$

где β — коэффициент оптимальной периодичности, учитывающий вид кривой распределения, коэффициент вариации и доверительный уровень вероятности.

Для нормального распределения β определяется из выражения

$$\beta_n = 1 - t_d V. \quad (26)$$

Значение β_n может быть определено также с помощью графиков на рис. 12 [5]. Например, при коэффициенте вариации 0,4 и доверительной вероятности 0,8, оптимальная периодичность должна составлять 0,63 средней.

Периодичность межремонтного технического обслуживания можно также определить графически, для чего необходимо построить кривую вероятности отказа и, в зависимости от коэффициента важности оборудования, принять доверительный уровень вероятности (рис. 13). Этот метод так же, как и предыдущий, не учитывает экономических факторов.

Графический метод может быть рекомендован для случаев, когда затруднительно выбрать прогнозирующий параметр и проследить за изменением технического состояния детали (узла) в зависимости от времени ее эксплуатации (например, пружины на грохотах).

При решении практических вопросов организации межремонтного технического обслуживания оборудования углеобогажительных фабрик редко приходится назначать периодичность выполнения отдельных операций. Обычно в техническое обслуживание ОР

или ремонтные осмотры РО включается несколько работ межремонного технического обслуживания [3].

Если назначать отдельную периодичность для каждого вида работ, предусматриваемых в ОР или РО, то получится, что ремонтный персонал почти ежедневно должен выполнять какие-либо работы на каждом из закрепленных за бригадой механизмов, хотя этого можно избежать.

Таким образом, в процессе эксплуатации оборудования углеобогащительных фабрик возникает потребность в его ремонтном обслуживании (в дальнейшем будем называть «в обслуживании»).

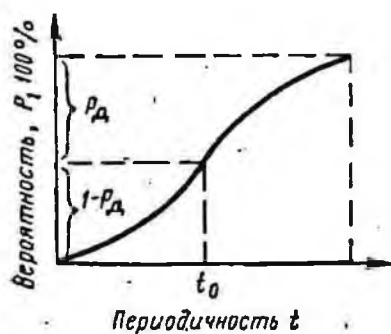


Рис. 13. Использование доверительного уровня вероятности для определения периодичности технического обслуживания

Когда таких требований на обслуживание поступает несколько, то принято говорить поступает «поток требований» [5, 31]. Теперь задача будет сводиться к определению оптимальной периодичности выполнения не одного вида работ по техническому обслуживанию, а к определению оптимальной периодичности выполнения нескольких требований на обслуживание объединенных в одно техническое обслуживание ОР или ремонтный осмотр РО. Решение поставленной задачи значительно упрощается, если поток требований на обслуживание простейший.

Поток случайных событий называется простейшим, если он одновременно ординарный, стационарный и без после действия.

Поток случайных событий называется ординарным, если вероятность появления двух или более требований в один и тот же момент времени настолько мала, что практически можно считать невозможным совмещение двух или более требований в один и тот же момент времени.

Рассмотрим промежуток времени от t до $t + \tau$. Обозначим через $p'(t, \tau)$ вероятность появления одного требования в этом промежутке времени, а через $p''(t, \tau)$ — вероятность появления двух или более требований в этом же промежутке времени. Тогда $p'(t, \tau) + p''(t, \tau)$ будет вероятностью появления хотя бы одного события в рассматриваемом промежутке времени [32].

Параметром потока требований называется предел

$$\lambda(t) = \lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{p'(t, \tau) + p''(t, \tau)}{\tau} \quad (27)$$

Понятие ординарности можно записать следующим образом:

$$\lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{p''(t, \tau)}{\tau} = 0. \quad (28)$$

Для ординарных потоков уравнение для параметра потока следующее:

$$\lambda(t) = \lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{P'(t, \tau)}{\tau}. \quad (29)$$

Поток требований называется стационарным, если его вероятностный режим не изменяется во времени.

Зададимся каким-либо K требований, попадающих в интервал времени от момента t до момента $t + \tau$. В общем случае вероятность попадания K требований в интервал от t до $t + \tau$ будет зависеть от трех величин: t , τ и K . В случае же стационарного потока эта вероятность зависит только от величин τ и K и не зависит от t .

Поток требований называется потоком без последействия, если протекание потока после любого момента времени не зависит от того, как протекал поток до этого момента [31, 32].

Например, если произведено какое-либо техническое обслуживание отсадочной машины, то поток требований на обслуживание будет потоком без последействия в том случае, если следующее требование на обслуживание будет другим, а не тем, которое было произведено в последний раз.

С достаточной для практики точностью можно считать, что потоки требований на техническое обслуживание углеобогачительного оборудования являются простейшими.

Ординарность потоков вытекает из поточности технологического процесса. Если произошел один отказ, то второй не может произойти, так как после возникновения первого факрика (машина или технологический узел факрика) остановится.

Стационарность потоков следует из циклического режима работы факрик, являющегося практическим воплощением результатов обобщения организации ремонтных работ.

Если рассматривать отдельно взятые машины, то отсутствие последействия для некоторых из них будет очевидным не всегда. Например, для классификационных грохотов с ткаными ситами вовсе не исключено, что после замены сит следующим обслуживанием не будет то же самое. Так как здесь рассматривается поток требований на обслуживание группы однотипных (часто и разнотипных) механизмов, обслуживаемых одной ремонтной бригадой, то в этом случае вполне можно допустить, что поток требований на обслуживание является потоком без последействия [32].

Для простейших (пуассоновских) потоков требований вероятность возникновения m отказов за время τ в соответствии с законом Пуассона вычисляется по уравнению

$$P_m = \frac{1}{m!} [m_{\text{ср}}(\tau)]^m e^{-m_{\text{ср}}(\tau)}, \quad (30)$$

где $m_{\text{ср}}(\tau)$ — среднее число отказов на промежутке τ .

Задавшись определенным значением вероятности безотказной работы, можно определить время τ , в течение которого вероятность появления одного или двух отказов пренебрежительно мала.

Для случая, когда за время τ не произойдет отказов ($m = 0$), выражение для вероятности безотказной работы примет вид

$$P_0 = e^{-m_{\text{ср}}(\tau)}. \quad (31)$$

Для случая, когда параметр потока отказов имеет постоянное значение [32], что имеет место в нашем случае,

$$m_{\text{ср}}(\tau) = \frac{\tau}{T}. \quad (32)$$

Подставляя данное значение $m_{\text{ср}}(\tau)$ в формулу (31), получаем

$$P_0 = e^{-\frac{\tau}{T}}, \quad (33)$$

где T — наработка на отказ.

По формуле (33) определяется такая периодичность технического обслуживания τ , в течение которой при известной наработке на отказ T и принятой доверительной вероятности P_0 не произойдет отказа.

Для удобства использования выражения (33) построена номограмма (рис. 14), ключ пользования которой показан на рисунке.

Если по условиям эксплуатации необходимо определить такое время τ , за которое с заданной доверительной вероятностью P_1 произойдет не более одного отказа ($m = 1$), выражение для безотказной работы примет вид:

$$P_1 = e^{-m_{\text{ср}}(\tau)} + m_{\text{ср}}(\tau) e^{-m_{\text{ср}}(\tau)} = e^{-m_{\text{ср}}(\tau)} [1 + m_{\text{ср}}(\tau)]. \quad (34)$$

Прологарифмировав выражение (34), получим

$$\ln P_1 = -m_{\text{ср}}(\tau) + \ln [1 + m_{\text{ср}}(\tau)]. \quad (35)$$

Подставив значение $m_{\text{ср}}(\tau)$ в формулу (35), получим

$$\ln P_1 = \ln(T + \tau) - \ln T - \frac{\tau}{T}. \quad (36)$$

По формуле (36) определяется такой интервал τ , в течение которого, при данной наработке на отказ T и принятой доверительной вероятности P_1 , произойдет не более одного отказа.

Трансцендентные уравнения вида $\ln [\varphi(x)] = f(x)$ решаются приближенно, графическим методом. Уравнение (36) при $P_1 = \text{const}$, $T = \text{const}$ и $\tau > 0$ имеет единственное значение. Для доказательства этого уравнение (36) представим в виде системы двух уравнений:

$$\begin{cases} Y = \ln T + \ln P_1 - \frac{1}{T} \tau \\ Y = \ln (T + \tau), \end{cases}$$

где первое уравнение — прямая линия с угловым коэффициентом $K = 1/T$ и свободным членом $b = \ln T + \ln P_1$, а второе — логарифмическая кривая.

При $T = 600$ получим следующие точки, через которые проходит данная кривая:

τ	10	130	170	330	410	570
Y	6,41	6,59	6,64	6,83	6,9	7,06

Прямая линия $y' = \ln T + \ln P_1 - 1/T \tau$ при $T = 600$ ч, $P_1 = 0,8$ и $\tau = 300$ ч проходит через точки $y_1 = 6,67$ и $y_2 = 7$. Таким образом, прямая пересечет кривую при $\tau > 0$ (так как отрицательные значения σ смысла не имеют) только в единственной точке.

Например, при $P_1 = 0,8$ и $T = 600$ получим $\tau = 430$ ч (рис. 15).

Для удобства использования уравнения (36) построена номограмма (рис. 16). Решение уравнения было произведено на ЭЦВМ, при этом был использован метод Фибоначи.

Из номограммы видно, что при средней наработке на отказ, равной (например) 3000 ч с вероятностью $P_1 = 0,75$, отказ произойдет не раньше чем через $\tau = 2800$ ч, а с вероятностью $P_1 = 0,95$ — не раньше чем через $\tau = 1060$ ч.

В работе [5] описаны еще два метода определения оптимальной периодичности технического обслуживания — по удельным затратам на техническое обслуживание и ремонт (техничко-экономический метод) и по удельным затратам на техническое обслуживание и ремонт и доверительному уровню вероятности (экономико-вероятностный метод).

Техничко-экономический метод определения рационального режима технического обслуживания учитывает влияние периодичности технического обслуживания на износ деталей (межремонтный период), стоимость израсходованных материалов, а также трудовые затраты по техническому обслуживанию и ремонту. Удельные затраты на проведение технического обслуживания и ремонта определяются следующим образом:

$$C_{\Sigma} = C_I + C_{II} \quad (37)$$

где C_{Σ} — суммарная удельная стоимость технического обслуживания и ремонта, отнесенная к году или к тоннам переработки угля на рассматриваемой машине, руб/год;

C_I — удельная стоимость технического обслуживания, руб/год;

C_{II} — удельная стоимость ремонта, руб/год.

При увеличении периодичности технического обслуживания снижаются затраты на техническое обслуживание, но одновременно повышаются затраты на ремонт. Поэтому суммирование двух функций C_I и C_{II} дает третью C_{Σ} , которая имеет экстремальную точку $C_{\min}$, соответствующую оптимальной периодичности технического обслуживания.

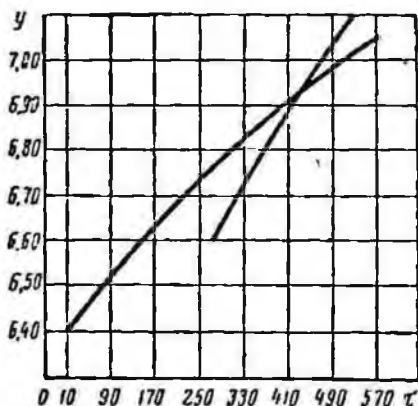


Рис. 15. Графическое решение уровня вида $\ln [\varphi(x)] = f(x)$

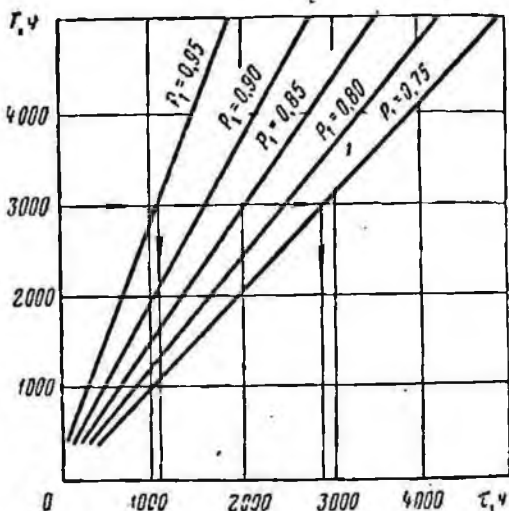


Рис. 16. Номограмма для определения интервала времени τ , в течение которого при заданной доверительной вероятности P произойдет не более одного отказа

Итак, технико-экономический метод определяет периодичность технического обслуживания в результате минимизации удельных затрат на техническое обслуживание и ремонт.

Экономико-вероятностный метод вопрос об оптимальной периодичности технического обслуживания рассматривает значительно шире: нужно ли ту или иную операцию выполнять принудительно или нет, а если необходимо, то с какой оптимальной периодичностью? Доказывается, что принудительный ремонт будет экономически целесообразен в том случае, если разовые затраты на его проведение будут меньше затрат на ремонт после отказа, а для определения оптимальной периодичности предложены соответствующие формулы.

Автором отмечено, что рассмотренные в литературе [5] методы пригодны для определения оптимальной периодичности как межремонтного технического обслуживания, так и ремонта.

В угольной промышленности впервые условие целесообразности и оптимальный интервал плановых профилактических замен элементов на основе экономических и вероятностных расчетов были сформулированы в литературе [33].

§ 2. Оптимизация межремонтных периодов оборудования углсобогагительных фабрик

Оптимальные интервалы плаповых замен элементов предлагается определять из условия минимума убытков от простоя фабрик, вызываемых отказами оборудования.

Убытки фабрики за единицу времени простоя приняты одинаковыми независимо от причины (проводится ли ППР или устраняется отказ). Однако при проведении ППР одновременно ремонтируется несколько машин, поэтому убытки, связанные с проведением ППР в пересчете на одну машину, должны быть уменьшены на число одновременно ремонтируемых машин.

Убытки фабрики за время простоев, вызванных внезапными отказами, могут быть определены, как разность между убытками за время устранения отказа и стоимостью его устранения и убытками за время проведения ППР и стоимостью ППР, т. е.

$$Y = (Y_{\text{отк}} + C_{\text{отк}}) - (Y_{\text{ППР}} + C_{\text{ППР}}), \quad (38)$$

$$Y_{\text{отк}} = C t_{\text{отк}}; \quad Y_{\text{ППР}} = C t_{\text{ППР}},$$

где $Y_{\text{отк}}$ — убытки фабрики за время устранения отказа, руб.

$C_{\text{отк}}$ — стоимость устранения отказа, руб.;

$Y_{\text{ППР}}$ — убытки фабрики за время проведения ППР, руб.;

$C_{\text{ППР}}$ — стоимость 1 ч простоя фабрики, руб.;

$t_{\text{отк}}$ — время устранения отказа, ч;

$t_{\text{ППР}}$ — время проведения ППР, ч.

При выполнении одного и того же ремонта, будет ли он производиться после отказа или в плановом порядке, время восстановления всегда различно. Плановому ремонту предшествует подготовка, для выполнения которой необходимо некоторое время $t_{\text{п}}$. Кроме того, если отказ не может быть устранен дежурными слесарями, то требуется еще некоторое время $t_{\text{ож}}$, пока будут вызваны ремонтные слесари. При расчетах, связанных с планированием ремонта, время ожидания начала ремонта $t_{\text{ож}}$ может быть принято равным 3—8 ч.

Стоимость ремонта (как планового $C_{\text{ППР}}$, так и после отказа $C_{\text{отк}}$) складывается из двух основных элементов затрат — стоимости вспомогательных материалов и заработной платы слесарей. В связи с тем что стоимость вспомогательных материалов при проведении и тех и других ремонтов одинакова, эта статья затрат в дальнейших расчетах во внимание не принимается. Одинаковой принята стоимость 1 чел/ч как для дежурных, так и для ремонтных слесарей. Следовательно, с достаточной для практики точностью можно приять, что $C_{\text{ППР}} = C_{\text{отк}}$.

Исходя из изложенного, убытки фабрики в зависимости от вида выполняемого ремонта, обусловленные практикой ведения ремонтных работ в углеобогащении, приведены в табл. 19.

Убытки фабрики в зависимости от вида выполняемого ремонта

Показатели	Ремонт	
	планово-предупредительный	после отказа
Время проведения ремонта, ч	$t_{\text{ППР}}$	$t_{\text{отк}} = t_{\text{п}} t_{\text{ППР}} + t_{\text{ож}}$
Убытки фабрики за время простоя $t_{\text{ППР}}$, руб.	$Y_{\text{ППР}} = \frac{C t_{\text{ППР}}}{n_{\text{рем}}}$	$Y_{\text{отк}} = C (t_{\text{п}} t_{\text{ППР}} + t_{\text{ож}})$
Время ожидания начала обслуживания, ч	—	$t_{\text{ож}} = 3 \div 8$

Используя данные табл. 19, формулу (38) можно записать в следующем виде:

$$Y = C [(t_{\text{п}} t_{\text{ППР}} + t_{\text{ож}}) - \frac{t_{\text{ППР}}}{n_{\text{рем}}}], \quad (39)$$

где $n_{\text{рем}}$ — количество одновременно ремонтируемых машин.

О коэффициенте важности оборудования углеобогачительных фабрик

Выше был рассмотрен вопрос об определении убытков для случаев, когда отказ оборудования приводит к остановке фабрики. Однако на любой углеобогачительной фабрике имеется оборудование, отказ которого не вызывает ее остановки, но есть и такое оборудование, отказ которого снижает производительность фабрики или ухудшает качественные показатели работы. Следовательно, определение $Y_{\text{отк}}$ нужно производить дифференцированно с учетом последствий, вызываемых отказом того или иного оборудования. Определение последствий отказа предлагается производить с помощью коэффициента важности оборудования K_v . Некоторые затруднения при определении численных значений коэффициента K_v вызываются тем, что оборудование одних технологических звеньев фабрики имеет резерв, а других не имеет. Отказ одного и того же оборудования, работающего в условиях той же фабрики, но в различных звеньях технологических схем, может привести к различным последствиям; оборудование различных технологических звеньев фабрики имеет различное время работы.

В качестве критерия, определяющего численное значение коэффициента K_v , может служить экономический ущерб, получаемый в результате простоя фабрики, вызванного отказом оборудования.

Если отказ какого-либо оборудования вызывает остановку фабрики и, следовательно, приносит большой экономический

ущерб, то коэффициент K_v такого оборудования равен 1, если же простой оборудования не вызывает остановки фабрики, то коэффициент K_v такого оборудования < 1 .

При определении численных значений коэффициента K_v отдельных видов оборудования углеобогащительная фабрика рассматривалась как поточная транспортная система.

Если проследить за последствиями отказов каждого из механизмов, то оборудование любой углеобогащительной фабрики можно разделить на четыре группы.

К первой группе относятся постоянно работающие одиночные механизмы, самостоятельно выполняющие какие-либо операции, отказ любого из которых приводит к немедленной остановке фабрики (тяжелосредние сепараторы, отсадочные машины, главный конвейер).

Ко второй группе относится оборудование тех узлов фабрики, в которых без резерва одновременно работает по несколько единиц оборудования. Здесь также принято, что при отказе любого из механизмов фабрика будет находиться в состоянии отказа.

К третьей группе относится оборудование тех технологических узлов фабрики, у которых одновременно работает только часть из установленных механизмов, и фабрика будет находиться в состоянии отказа лишь тогда, когда количество оставшихся в работе механизмов становится меньше минимально допустимого для выполнения данной технологической операции (насосы, центрифуги и др.).

К четвертой группе относятся периодически работающие механизмы. Здесь принято, что фабрика будет находиться в состоянии отказа тогда, когда время устранения отказа больше времени между двумя последовательными включениями (оборудование аварийных складов, породная цепочка от бункеров фабрики до отвала и другие).

Коэффициент важности можно определить по формуле

$$K_v = \frac{t_m n_{\text{раб}}}{t_{\text{ф}} n_{\text{уст}}}, \quad (40)$$

где t_m — время работы рассматриваемого механизма, ч;

$n_{\text{раб}}$ — количество механизмов, одновременно работающих на какой-либо операции, шт.;

$t_{\text{ф}}$ — время работы фабрики, ч;

$n_{\text{уст}}$ — количество механизмов, установленных на той же операции, шт.

Формула (40) отражает специфику работы каждой из четырех групп механизмов.

Действительно, для механизмов первой и второй групп $n_{\text{раб}} = n_{\text{уст}}$, а $t_m = t_{\text{ф}}$, следовательно, коэффициент $K_v = 1$, что соответствует ранее принятому условию.

Для механизмов третьей группы $t_m = t_{\phi}$, а $n_{уст} > n_{\text{раб}}$ и, следовательно, коэффициент K_n прямо пропорционален отношению $n_{\text{раб}}/n_{уст}$, т. е. отражает наличие резервного оборудования в данной группе механизмов.

Для технологических машин этой группы в соответствии с нормами проектирования углеобогажительных фабрик допускается перегрузка 15%, поэтому принято, что фабрика будет находиться в состоянии отказа с момента, когда количество оставшихся в работе машин уменьшается более чем на 15% по сравнению с количеством машин, работающих при номинальной нагрузке (практически это применимо тогда, когда на какой-либо операции установлено больше семи машин).

Для механизмов четвертой группы $t_m < t_{\phi}$, а $n_{уст} < n_{\text{раб}}$ и, следовательно, коэффициент K_n будет отражать отношение времени работы механизмов данной группы ко времени работы фабрики.

Таким образом, по принятой классификации оборудования с точки зрения его важности углеобогажительная фабрика считается в состоянии отказа при условии, если

$$K_n \geq \frac{n_{\text{раб}}}{n_{уст} - n_{\text{рез}} - n_{\text{отк}}} \geq K_{\phi, n},$$

где K_n — коэффициент допустимой перегрузки оборудования;
 $n_{\text{отк}}$ — количество машин, находящихся в состоянии отказа, шт.
 $K_{\phi, n}$ — коэффициент фактической перегрузки оборудования.

Получив по формуле (40) численное значение коэффициента K_n , стоимость убытков от отказа для механизмов любой группы можно определить по уравнению

$$Y_{(\text{отк})} = \frac{Y_{\text{отк}} K_n}{K_n} \quad (41)$$

Обозначив отношение $Y_{\text{отк}}/Y_{\text{ппр}}$ через K_c и используя формулу (41) и данные табл. 19, получим следующее выражение для коэффициента стоимости K_c :

$$K_c = \frac{Y_{\text{отк}}}{Y_{\text{ппр}}} = \frac{(t_n t_{\text{ппр}} + t_{\text{ож}}) K_n n_{\text{рем}}}{K_n t_{\text{ппр}}} \quad (42)$$

§ 3. О времени для подготовки к ремонту

Для определения затрат рабочего времени, необходимого для подготовки к ремонту t_n [см. формулу (42)] на ЦОФ «Никитовская» была проведена фотография рабочего дня ремонтных бригад. Наблюдения велись за двумя бригадами ремонтных рабочих (бригады № 1 и № 2).

Численность бригады № 1 в период наблюдений 6—9 чел., а бригады № 2 — 3 чел. Бригада № 1 ремонтирует ленточные конвейеры, пробоотборники и проборазделочные машины, пита-

тели и насосы, центрифуги; бригада № 2 — грохоты и скребковые конвейеры. В связи с разнотипностью закрепленного оборудования в бригаде № 1 образовались группы: по ремонту ленточных конвейеров, по ремонту центрифуг, по ремонту насосов и т. д.

Однако это не исключало выполнения крупных по объему работ общими силами. Фотография рабочего дня производилась методом моментных наблюдений. Интервал между наблюдениями был принят 10 мин (время, необходимое для перехода наблюдателя от одной группы к другой). Всем рабочим бригад были присвоены номера, а работам, выполняемым ими, следующие условные обозначения:

- А* — выдача бригадиром заданий членам бригады;
- Б* — осмотр механизмов;
- В* — доставка тяжеловесных запчастей к месту работы;
- Г* — простой рабочего;
- Д* — решение организационных вопросов: получение из кладовой запчастей и материалов, согласование с диспетчером вопросов возможности начала ремонта, ожидание электрика для включения или отключения механизмов и т. д.;
- Е* — подготовка к ремонту: подбор необходимого инструмента и приспособлений, подготовка рабочего места, подключение сварочного аппарата и переносного освещения, отключение оборудования от источника электроэнергии и т. д.;
- Ж* — выполнение ремонтных операций;
- З* — транспортирование демонтированных узлов и деталей на площадку металлолома;
- И* — отдых — регламентированный перерыв на отдых;
- К* — переходы — время, затрачиваемое на переходы и переезды (в случае выполнения ремонтных работ на дамбе флотохвостов, шламонакопителях и других отдаленных от фабрики местах) к месту работы;
- Л* — подготовка запчастей к следующему ремонту;
- М* — уборка инструмента, приспособлений, рабочего места;
- Н* — регламентированный перерыв на обед;
- О* — слесарные работы, не связанные с ремонтом закрепленного оборудования;
- П* — прочие работы: сбор и погрузка металлолома, разгрузка оборудования, очистка ж. д. путей и т. д.

Данные фотографии рабочего дня за каждую смену записывались в листок наблюдений. В бригаде № 1 проведена 21 фотография рабочих смен, а в бригаде № 2 — 20.

Выписка из листка наблюдений за один из дней приведена в табл. 20.

После проведения наблюдений при обработке исходных данных все время фотографии было разделено на две группы: время производительной работы и время потерь.

Выписка из листа наблюдений за 29 июня (бригада № 1)

Периоды времени, мин	Выполняемая работа								
	№ рабочего								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	А	А	А	—	А	—	А	А	А
20	Е	Е	Е	—	Е	—	Е	Е	Е
30	Ж	Ж	Б	—	Б	—	Ж	Ж	Ж
40	Ж	К	Ж	—	Ж	—	Ж	Б	Ж
...	.	.	.	.	.	.	.	.	.
240	И	И	И	—	И	—	И	И	И
250	И	И	И	—	И	—	И	И	И
...	.	.	.	.	.	.	.	.	.
290	Н	Н	Н	—	Н	—	Н	Н	Н
300	О	Л	Л	—	О	—	П	П	Л
310	О	Л	Л	—	О	—	П	П	Л
320	О	Л	Л	—	О	—	П	П	Л
330	О	Л	Л	—	О	—	П	П	Л
340	О	Л	Л	—	О	—	П	П	Л
...	.	.	.	.	.	.	.	.	.
520	О	Л	Л	—	О	—	П	Л	Л
530	О	Л	Л	—	О	—	П	Л	М
540	М	М	М	—	М	—	М	М	М

Время производительной работы включает в себя все операции, связанные с подготовкой и проведением ремонтов оборудования, закрепленного за бригадами, изготовлением запасных частей, а также время для отдыха и естественных надобностей, которое по существующим нормам не должно превышать 2% времени рабочей смены [34].

Время потерь включает в себя простои по различным причинам, решение организационных вопросов, не связанных с ремонтом закрепленного за бригадами оборудования.

Такая классификация позволила определить фактические затраты времени на выполнение ремонтных работ по закреплению за бригадами оборудования, а также время, затрачиваемое во вторую половину рабочего дня для подготовки к следующему ремонту.

В табл. 21 приведены данные по загрузке ремонтных бригад в первую и вторую половины рабочего дня.

Анализ показывает, что ремонт оборудования в общих затратах рабочего времени в смену занимает в среднем 66,2%. Причем в этих затратах на долю подготовительно-заключительных работ,

Таблица 21

Данные по загрузке ремонтных бригад

Выполняемые операции		Продолжительность затрат времени					
Шифр	Наименование	Первая половина смены		Вторая половина смены		Общее за смену	
		ч	%	ч	%	ч	%

Время производительной работы и отдыха

А	Выдача заданий членам бригады	19,0	2,4	—	—	19,0	1,2
Б	Осмотр механизмов . .	82,8	9,7	2,7	0,3	85,5	5,0
В	Доставка запчастей к месту ремонта	9,8	1,2	27,5	3,3	37,3	2,2
Е	Подготовка к ремонту	22,9	2,7	3,7	0,4	26,6	1,6
Ж	Выполнение ремонтных операций	560,9	65,6	114,6	13,6	675,5	39,7
З	Транспортирование демонтированных узлов и деталей	12,1	1,4	62,5	7,4	74,6	4,4
И	Отдых	33,7	3,9	27,6	3,3	61,3	3,6
К	Переходы	2,0	0,2	7,7	0,9	9,7	0,6
Л	Подготовка запчастей к следующему ремонту . . .	8,7	1,0	89,7	10,6	98,4	5,8
М	Уборка инструмента, приспособлений и рабочего места	19,7	2,3	16,1	1,9	35,8	2,1
Всего производительной работы		771,6	90,4	352,1	41,7	1123,7	66,2

Время потерь

О	Слесарные работы, не связанные с ремонтом . .	13,6	1,6	156,4	18,5	170,2	10,0
П	Прочие работы	54,4	6,4	320,9	37,9	375,3	22,1
Г	Простой	6,7	0,8	15,7	1,8	22,4	1,3
Д	Решение организационных вопросов	6,5	0,8	0,3	0,1	6,8	0,4
Всего потерь		81,2	9,6	493,3	58,3	574,7	33,8
Общее время фотографии		852,8	100,0	845,4	100	1698,4	100,0

связанных с подготовкой к заданной работе и выполнением всех операций, связанных с ее окончанием, приходится 16,5%. К ним относятся: получение материалов, запчастей, инструментов, приспособлений и наряда на работу; доставка необходимых запчастей и инструмента к месту работы; установка и снятие различных приспособлений, необходимых при выполнении ремонтных работ; уборка рабочего места.

Во вторую половину рабочего дня занятость рабочих подготовкой к следующему ремонту составляет 41,2%. При расчетах значение коэффициента t_n в формуле (42) может быть принято равным 1,5.

§ 4. Оптимизация межремонтных периодов для случаев принудительной замены деталей

Данные об отказах оборудования и последующая их обработка с помощью методов математической статистики (отыскание функции распределения) позволяют определить среднее значение межремонтных периодов. Необходимо найти их оптимальное значение, имея в виду, что функция распределения наработки на отказ $F(t)$ известна.

С начала эксплуатации для конкретной машины назначается наработка $t_{ппр}$, по достижении которой она подвергается плано-

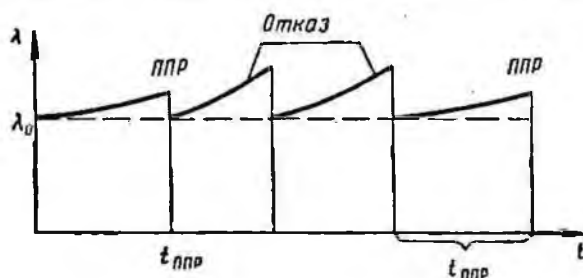


Рис. 17. Стратегия обслуживания агрегата

го ремонта (т. е. он проводится после наработки $t_{ппр}$, отсчитываемой от момента завершения аварийного ремонта).

Отказ вызывает убытки, равные $Y_{отк}$, а планово-предупредительный ремонт — $Y_{ппр}$.

Необходимо определить оптимальный период проведения плановых ремонтов, при котором убытки минимальны.

Стратегия обслуживания может быть представлена в координатах время — интенсивность отказов (рис. 17). Действительно, для сложных изделий, какими является рассматриваемое нами оборудование углеобогащительных фабрик, удобно определять виды применяемых воздействий по их влиянию на вероятностную

* Полное обновление — возвращение вероятностных параметров изделия в первоначальное (соответствующее новому изделию).

характеристику изделия — интенсивность отказов, которую можно определить по формуле

$$\lambda(t) = \frac{F'(t)}{1-F(t)}. \quad (43)$$

Очевидно, что со временем характеристики машины ухудшаются, она стареет и изнашивается, и, как следствие, интенсивность отказов возрастает. Если отсутствует отказ (см. рис. 17) при наработке $t_{\text{ППР}}$, то машину (агрегат) подвергают планово-предупредительному ремонту с возвращением значения интенсивности отказа в начальное состояние λ_0 . При отказе проводится аварийный ремонт, также обновляющий машину, а время проведения очередного ППР перепланируется.

Стратегию обслуживания, которая в данном случае сводится к определению периодичности проведения ППР, определяем, исходя из условия минимизации средних удельных затрат на одном периоде.

Величину средних удельных затрат можно рассчитать по формуле

$$Y_s = \frac{M[Z_1]}{M[t_{\text{ППР}}]}, \quad (44)$$

где Y_s — удельные затраты на периоде;

$M[Z_1]$ — средние затраты на периоде;

$M[t_{\text{ППР}}]$ — средняя длительность периода.

Определим величины, входящие в выражение (44). Средние затраты на периоде находим из выражения

$$M[Z_1] = Y_{\text{отк}} F(t_{\text{ППР}}) + Y_{\text{ППР}} [1 - F(t_{\text{ППР}})], \quad (45)$$

полученного по формуле полной вероятности.

В случае отказа на периоде мы несем убытки $Y_{\text{отк}}$, в случае проведения ППР — $Y_{\text{ППР}}$. Вероятности этих событий равны соответственно $F(t_{\text{ППР}})$ и $1 - F(t_{\text{ППР}})$, поскольку они являются взаимоисключающими и образуют полную группу событий.

Для определения средней длительности периода среднюю наработку до отказа за время $t_{\text{ППР}}$ можно записать в виде:

$$\int_0^{t_{\text{ППР}}} x dF(x), \quad (46)$$

так как машина эксплуатируется либо до отказа, либо до проведения ППР.

Если машина проработает время $t_{\text{ППР}}$ с вероятностью $1 - F(t_{\text{ППР}})$, т. е. с вероятностью отсутствия отказа за период, то средняя длительность периода определится как сумма

$$\int_0^{t_{\text{ППР}}} x dF(x) + t_{\text{ППР}} [1 - F(t_{\text{ППР}})]. \quad (47)$$

Пропинтегрируем выражение (46) по частям

$$\begin{aligned} \int_0^{t_{\text{ППР}}} x dF(x) &= xF(x) \Big|_0^{t_{\text{ППР}}} - \int_0^{t_{\text{ППР}}} F(x) dx = \\ &= t_{\text{ППР}} F(t_{\text{ППР}}) - \int_0^{t_{\text{ППР}}} F(x) dx. \end{aligned}$$

Окончательно выражение (47) примет вид

$$\begin{aligned} t_{\text{ППР}} F(t_{\text{ППР}}) - \int_0^{t_{\text{ППР}}} F(x) dx + t_{\text{ППР}} [1 - F(t_{\text{ППР}})] &= \\ = t_{\text{ППР}} - \int_0^{t_{\text{ППР}}} F(x) dx = \int_0^{t_{\text{ППР}}} [1 - F(x)] dx. \end{aligned} \quad (48)$$

Используя уравнения (45) и (48), можно записать выражение для средних удельных затрат на периоде (44) следующим образом:

$$Y_3 = \frac{Y_{\text{отк}} F(t_{\text{ППР}}) + Y_{\text{ППР}} [1 - F(t_{\text{ППР}})]}{\int_0^{t_{\text{ППР}}} [1 - F(x)] dx} \quad (49)$$

При минимальном значении Y_3

$$t_{\text{ППР}} = t_{\text{ППР}}(\text{опт}).$$

На практике формулу (49) применять трудно, так как знаменатель ее представляет собой высшую трансцендентную функцию.

Для нахождения оптимальных значений $t_{\text{ППР}}(\text{опт})$ и соответственно минимального значения Y_3 вместо простого перебора величин $t_{\text{ППР}}$ применен целенаправленный поиск минимума с помощью метода «золотого сечения», который позволяет быстро находить экстремум унимодальной функции (т. е. функции, обладающей одним экстремумом — минимумом или максимумом).

Опыт обработки статистических данных показал, что отказы оборудования углеобогачительных фабрик в преобладающем большинстве случаев распределяются по закону Вейбулла или нормальному (усеченному).

Подставляя в формулу (49) интегральные выражения для этих законов, получим для наработок, распределенных по закону Вейбулла,

$$Y_3 = \frac{Y_{\text{ППР}} \left\{ \left\{ \frac{Y_{\text{отк}}}{Y_{\text{ППР}}} \{1 - \exp[-(b_m t)^m]\} + \exp[-(b_m t)^m] \right\} \right\}}{\int_0^{t_{\text{ППР}}} \exp[-(b_m t)^m] dt} \quad (50)$$

и для наработок, распределенных по нормальному закону,

$$Y_3 = \frac{Y_{\text{ПНР}} \left\{ \left(\frac{Y_{\text{отк}}}{Y_{\text{ПНР}}} - 1 \right) \Phi \left(\frac{t_{\text{ПНР}} - 1}{\sigma} \right) - \frac{Y_{\text{отк}}}{Y_{\text{ПНР}}} \left[\Phi \left(\frac{1}{\sigma} \right) - 1 \right] \right\}}{t_{\text{ПНР}} - \sigma \int_0^{t_{\text{ПНР}}} \Phi \left(\frac{t-1}{\sigma} \right) d \left(\frac{t-1}{\sigma} \right)} \quad (51)$$

Поскольку в практической работе непосредственное использование формулы (50) и (51) затруднительно, на ЭЦВМ были расчи-

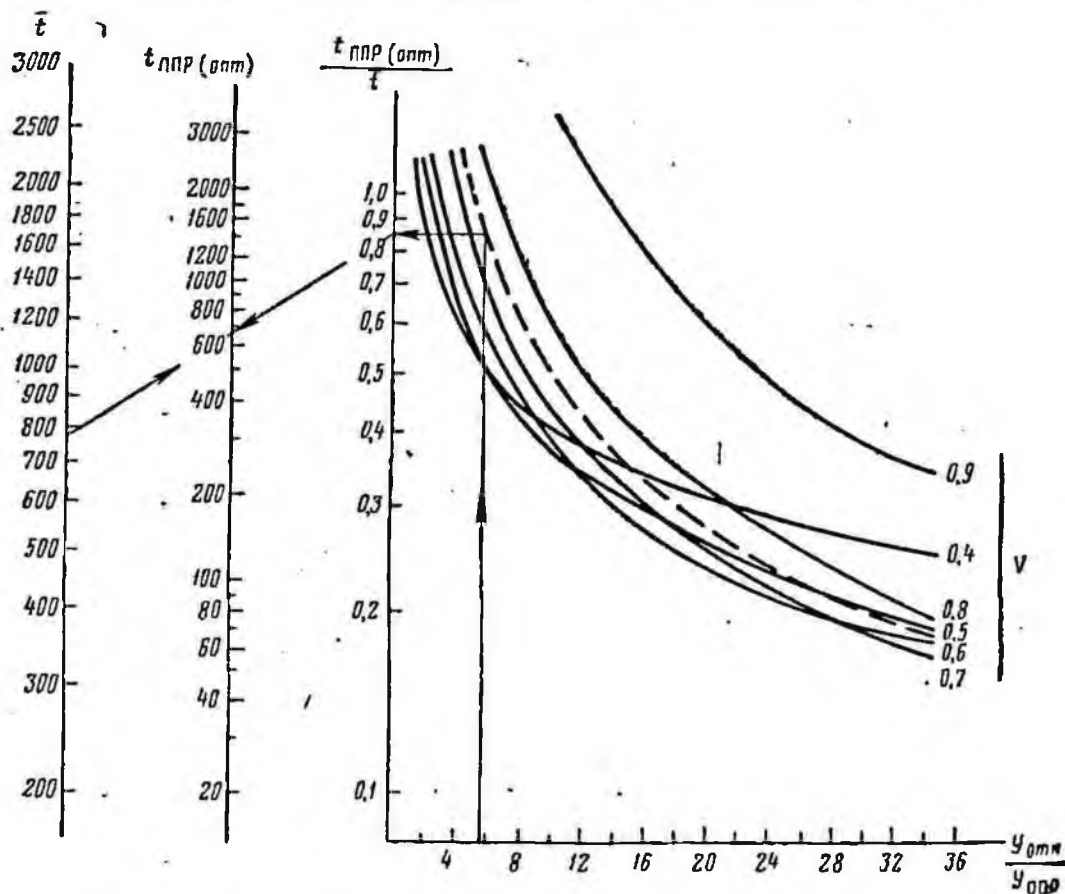


Рис. 18. Номограмма для определения оптимальных межремонтных периодов по известным значениям t , V и $Y_{\text{отк}}/Y_{\text{ПНР}}$ для закона распределения Вейбулла)

таны номограммы, пользуясь которыми, можно определить $t_{\text{ПНР}} (\text{опт})$ по известным значениям отношения $Y_{\text{отк}}/Y_{\text{ПНР}}$, t и V .

Например, нужно определить оптимальный срок проведения первого текущего ремонта шламового насоса Ш-270, предназначенного для перекачивания крупного шлама. Нарботка на отказ

подчиняется закону распределения Вейбулла. При этом $\bar{t} = 765$ ч, $V = 0,74$ и отношение $Y_{отк}/Y_{ппр} = 5,6$.

Для этого на оси абсцисс (рис. 18) откладываем значение отношения $Y_{отк}/Y_{ппр} = 5,6$. Восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с кривой заданного коэффициента вариации V .

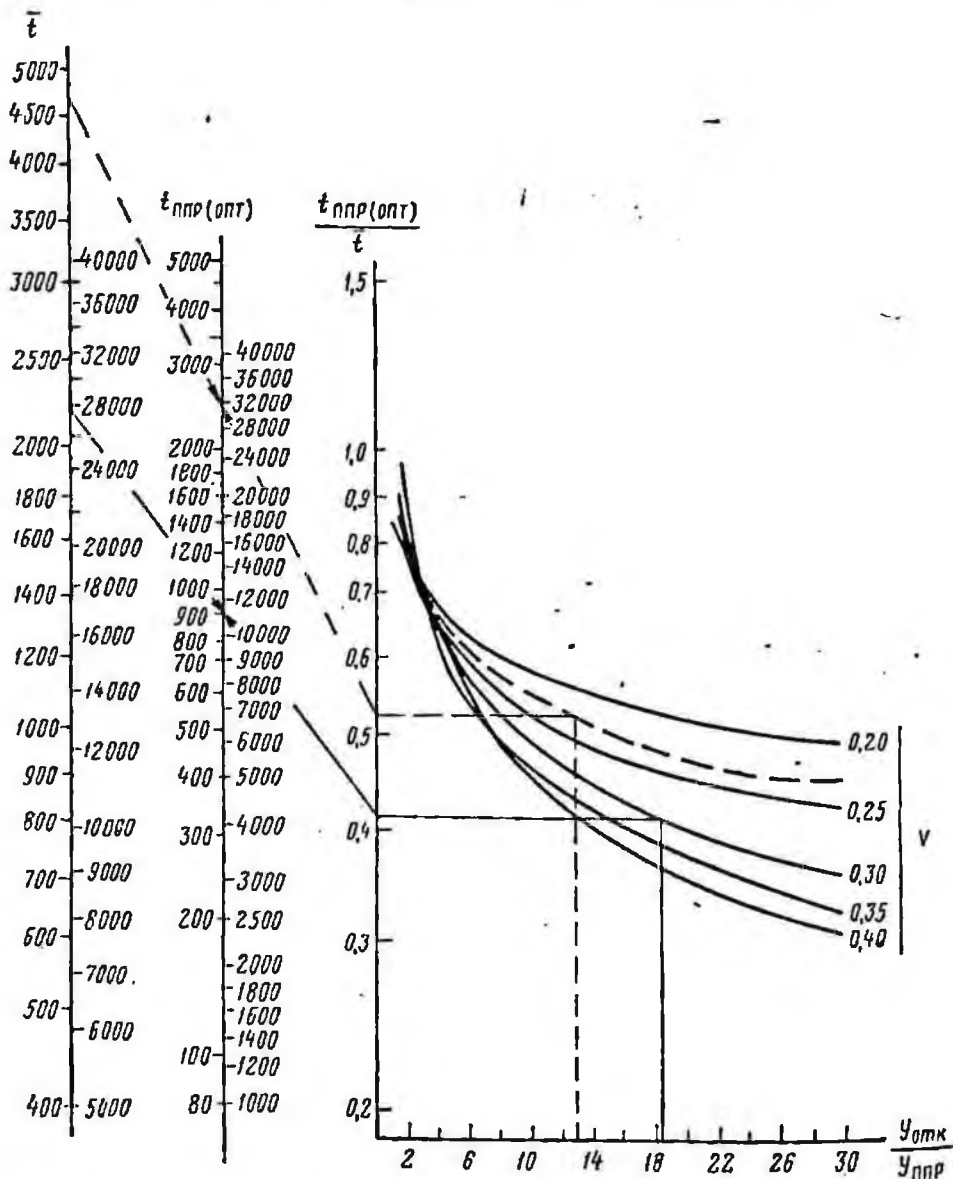


Рис. 19. Номограмма для определения оптимальных межремонтных периодов по известным значениям $\bar{t}$, V и $Y_{отк}/Y_{ппр}$ (для нормального закона распределения)

Из точки пересечения восстанавливаем перпендикуляр к оси ординат, на которой отложено в логарифмическом масштабе отношение $t_{ппр}/\bar{t} = t_{ппр}$. Получим $t_{ппр} = 0,85$.

Соединяем прямой полученное на оси ординат значение со средним значением $t' = 765$ ч по шкале t' . Полученная при этом точка пересечения этой прямой со шкалой $t_{\text{ППР}} (\text{опт})$ соответствует $t_{\text{ППР}} (\text{опт}) = 660$ ч.

На рис. 19 приведена номограмма расчета оптимального межремонтного периода, если закон распределения наработки на отказ машины нормальный (усеченный).

Здесь же показано, как по заданным численным значениям данных $Y_{\text{отк}}/Y_{\text{ППР}}$, V и $\bar{t}$ можно найти значение $t_{\text{ППР}} (\text{опт})$.

Определенные этим методом оптимальные интервалы плановых замен деталей служат основанием для составления графиков ППР.

Глава III

МОНТАЖ И

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

§ 1. Организация монтажных работ

Монтажом называется комплекс операций, включающий сборку машин с установкой их на фундамент или рабочее место, подключение к источнику энергии, опробование, наладку и регулировку машин.

Монтаж оборудования на углеобогащительных фабриках считается законченным после наладки и регулировки его на холостом ходу. Наладка и регулировка оборудования под нагрузкой обычно производится только при комплексном опробовании всей фабрики. В этот период наряду с проектными недостатками обнаруживаются ошибки монтажа.

Оборудование на фабриках должно монтироваться в точном соответствии с рабочими чертежами, с соблюдением технических условий на монтаж, действующих правил Госгортехнадзора, техники безопасности, охраны труда и противопожарной безопасности.

Технологически монтажные работы делятся на три периода: подготовительный, рабочий и наладочный [35].

Подготовительный период включает разработку проекта организации монтажных работ, в котором указываются сроки доставки на место монтажа технологического оборудования, материалов и монтажных заготовок, а также подготовку монтажных приспособлений, грузоподъемных средств, слесарно-монтажного и контрольно-измерительного инструмента.

Рабочий период является самым трудоемким и продолжительным. В этот период монтируются опорные металлоконструкции, оборудование, средства автоматизации, прокладываются трубопроводы, а также производится индивидуальное опробование машин вхолостую, гидравлическое опробование желобов, емкостей и трубопроводов. Выявленные при этом недостатки устраняются.

Наладочный период обычно небольшой по продолжительности, включает комплексное опробование всей фабрики под нагрузкой, наладку и предварительную регулировку оборудования. Каче-

ство и сроки выполнения монтажных работ во многом зависят от своевременного предоставления технической документации, приведенной в литературе [35].

При монтаже оборудования углеобогачительных фабрик применяют следующие методы [35].

И н д у с т р и а л ь н ы й метод предусматривает максимальное количество операций по изготовлению, сборке, обкатке оборудования. Применяется на заводах-изготовителях или в заготовительных мастерских монтажных организаций. На монтажную площадку в этом случае поступает собранная и опробованная машина или укрупненный узел негабаритного оборудования. Негабаритное оборудование и металлоконструкции перед отправкой на место монтажа должны пройти контрольную сборку на заводе, после чего могут разбираться на укрупненные блоки с маркировкой стыков и сопряжений.

Индустриальный метод монтажа предусматривает полное исключение какого-либо изготовления монтажных заготовок на месте монтажа и приведение к минимуму трудовых затрат на монтажных работах.

С к о р о с т н о й метод основывается на полной индустриализации монтажных работ с одновременным изысканием путей сокращения времени их проведения.

Для ускорения монтажа используют целый ряд различных способов: изменение технологии монтажа, изменение состава бригад, внедрение более эффективных средств механизации тяжелых и монтажных работ, организация работ в две, а иногда и в три смены.

Скоростной метод применяется в тех случаях, когда какой-либо участок является «узким местом» в комплексе строительно-монтажных работ строящегося объекта, т. е. после скоростного монтажа машин открывается широкий фронт работ для других видов общестроительных, монтажных или специальных работ.

П о т о ч н о - с к о р о с т н о й метод предусматривает совмещение монтажа оборудования с ведением строительных работ. Такой метод монтажа является наиболее прогрессивным. Он совмещает в себе индустриальный, скоростной и поточный методы производства монтажа при комплексной механизации всех процессов монтажа. Одновременно такой метод монтажа обеспечивает широкое развитие специализации, высокую организованность строительного производства, планомерный ввод объектов в эксплуатацию [35].

М е т о д м о н т а ж а п о м е с т у характеризуется сборкой отдельных узлов оборудования, поступающих на строительство новой фабрики в разобранном виде, непосредственно на месте монтажа. Этот метод применяется при монтаже металлоконструкций, фасонных частей трубопроводов и т. д. Метод монтажа по месту не обеспечивает хорошего качества монтажных работ, и,

Габаритные размеры и масса основных сборочных единиц отседающих машин

Типоразмеры	Сборочная единица	Габаритные размеры, мм			Масса, кг
		длина	ширина	высота	
ОМ8, ОМ12	Корпус разгрузочного отделения	2700	3020	3440	4400
ОМ18	»	2700	3164	3440	5050
ОМ12	Корпус промежуточного отделения	2551	3020	3440	4450
ОМ18	»	2551	3164	3440	5500
ОМ8, ОМ12	Корпус загрузочного отделения	2550	3020	3440	4550
ОМ18	»	2551	3164	3440	5850
ОМ8, ОМ12, ОМ18	Коллектор воздушный	4150	648	1520	1200
ОМ12, ОМ18	»	1750	648	1520	510
ОМ8, ОМ12, ОМ18	Привод пульсаторов	1025	773	870	264
ОМ8, ОМ12, ОМ18	Пульсатор	890	410	497	157
ОМ8, ОМ12, ОМ18	Датчик уровня постели	680	360	1145	60
ОМ8, ОМ12, ОМ18	Решето шелевидное	995	485	60	31
ОМ8, ОМ12	Разгрузочное устройство	1597	440	440	220
ОМ18	»	2052	440	440	265
ОМ8, ОМ12	Завеса	1366	420	945	400
ОМ18	»	1823	420	945	565
ОМ8, ОМ12, ОМ18	Привод разгрузочного устройства	1000	690	473	240
ОМ8, ОМ12, ОМ18	Решето штампованное	995	485	55	29
ОМ8, ОМ12, ОМ18	Решетка искусственной постели	996	996	100	29,5
	»	975			42,5
ОМ8, ОМ12, ОМ18	Течка переходная	900	865	705	140
ОМ12, ОМ18	Панель пускорегулирующей аппаратуры	900	425	2250	180
ОМ8	»	630	425	2250	138
ОМ8, ОМ12, ОМ18	Блок питания ПМУ6-М12	450	310	430	95
ОМ12, ОМ18	Пульт управления	450	400	1100	90
ОМ8	»	450	400	1100	50
ОМ12, ОМ18	Коллектор водяной (в сборе)	6538	425	2100	900
ОМ8	»	4300	425	2100	590

кроме того, требует большой затраты немеханизированного труда и времени.

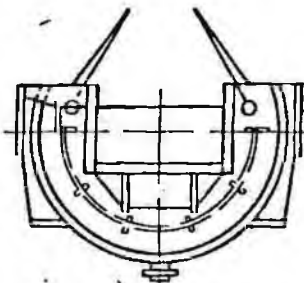
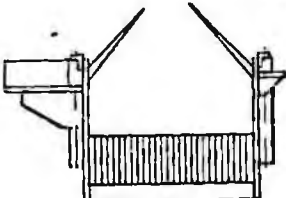
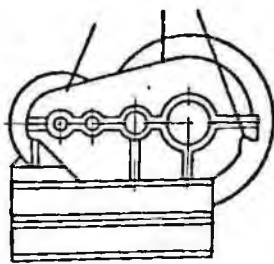
При ведении монтажных работ различают два понятия: монтажный узел и монтажный блок [35].

Монтажный узел представляет собой две или более единицы оборудования или конструкции, соединенные между собой в один узел: сложные системы желобов; машина или аппарат, соединенные с примыкающими участками трубопроводов или желобов; гидроциклоны, соединенные в батарею.

Монтажный блок представляет собой часть оборудования, преимущественно тяжеловесного, с полностью смонтированными устройствами в пределах этой части, например, часть отсасочной машины или сушильного барабана. Монтажные блоки должны проходить контрольную сборку на заводах.

Таблица 23

Схема строповки некоторых сборочных единиц сепаратора

Наименование узла	Место строповки	
Корпус сепаратора	Стропить одновременно в четырех местах через 4 отверстия $\varnothing 80$ мм в верхней части боковин корпуса	
Течка	Стропить одновременно в четырех местах через 4 отверстия $\varnothing 80$ мм в верхней части боковин	
Привод колеса	Стропить одновременно в трех местах за прилив редуктора под выходной вал и за раму двигателя	

При разработке инструкций по монтажу, уходу и эксплуатации на машины составляются специальные таблицы, в которых указываются габариты и массы основных сборочных единиц машины (табл. 22).

Кроме того, в инструкциях приводятся также схемы строповки основных сборочных единиц, в которых указываются места строповки отдельных узлов машины (табл. 23).

§ 2. Фундаменты под оборудование

Фундаменты служат для установки на них оборудования и восприятия статических и динамических нагрузок, обусловленных его работой. Фундаменты под оборудование классифицируются в зависимости от характера устанавливаемого на них оборудования, рода материала и конструктивного решения.

В зависимости от характеристики устанавливаемого оборудования фундаменты подразделяют на два основных типа: требующие выполнения расчета на динамические нагрузки и не требующие такого расчета [36].

Фундаменты, требующие расчета на динамические нагрузки, разделяют на следующие группы:

- под машины с вращающимися частями (центрифуги, дымососы, вентиляторы и др.);

- под машины с кривошипно-шатунными механизмами (компрессоры, грохоты и др.);

- под машины с ударными нагрузками (молоты и др.).

Фундаменты, которые не требуют расчета на динамические нагрузки, применяют для большого числа оборудования фабрик. В этом оборудовании динамические усилия, возникающие в процессе его работы, гасаются в механизме и на фундамент, как правило, не передаются. К такому оборудованию можно отнести значительную часть транспортного оборудования (ленточные и скребковые конвейеры), флотационные машины и др.

По виду материалов фундаменты под оборудование подразделяются на бетонные, железобетонные, монолитные, железобетонные сборные или сборно-монолитные; по конструктивному решению — на массивные, стеновые и рамные [36].

На углеобогащательных фабриках большое количество оборудования монтируется на металлических и железобетонных конструкциях зданий и закрепляется при помощи анкерных болтов, заделываемых в железобетонные балки перекрытия или пропускаемых в специально оставляемые отверстия. В ряде случаев применяют крепление оборудования к балкам перекрытия специальными хомутами [35].

Оборудование углеобогащательных фабрик при монтаже не устанавливают непосредственно на фундамент, а для установки и выверки его применяют наборные металлические подкладки и клинья.

После установки оборудования на подкладки производят предварительную выверку по осям и отметкам. Окончательную выверку установки оборудования осуществляют при затянутых гайках анкерных болтов, после чего пакеты стальных подкладок и клиньев приваривают электросваркой.

После окончательной выверки производится подливка оборудования бетоном. Для проникновения бетона под все подливаемые поверхности сначала применяют жидкий раствор, пока не будут залиты все узкие проходы и тесные места, после чего подливают густой раствор с применением гравия [35].

§ 3. Монтаж и эксплуатация отсадочных машин

Завод угольного машиностроения им. Пархоменко (г. Ворошиловград) по чертежам института Гипромашуглеобогащения серийно изготовляет единый ряд (рис. 20) отсадочных машин

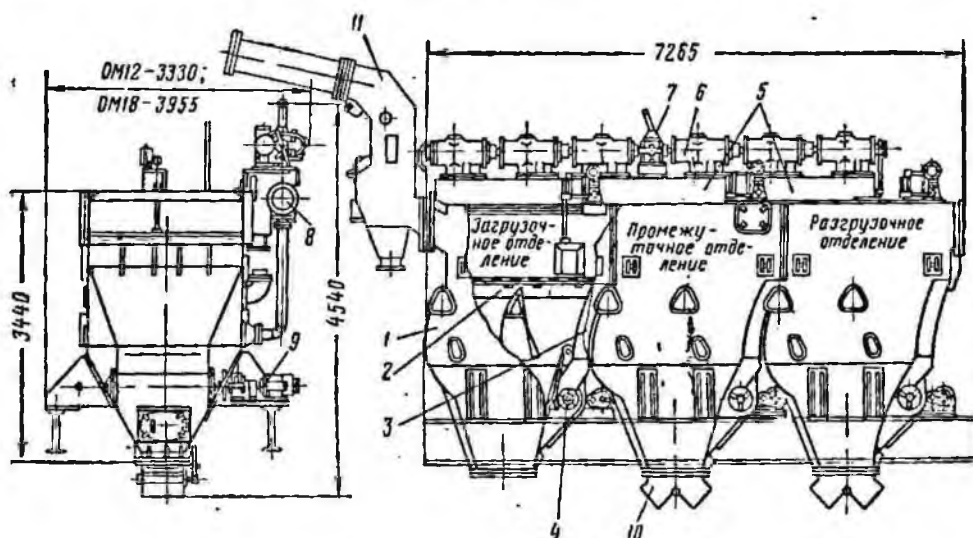


Рис. 20. Отсадочная машина типа ОМ:

1 — корпус; 2 — решето; 3 — разгрузочная камера; 4 — роторный разгрузчик; 5 — воздушные коллекторы; 6 — пульсатор; 7 — электропривод; 8 — водяной коллектор; 9 — электропривод роторного разгрузчика; 10 — переходная точка; 11 — загрузочное устройство

типа ОМ (ОМ8, ОМ12, ОМ18), техническая характеристика которых приведена в табл. 24.

Кроме того, изготовлены два опытных образца следующего типоразмера машины — ОМ24, промышленные испытания которых проводятся на Комендантской и Узловской ЦОФ, а для обогащения антрацита крупностью 6—25 мм выпускается машина ОМ410.

Монтаж отсадочных машин типа ОМ. Корпус отделения. При монтаже корпусов необходимо предварительно проверить состоящие соединяемые поверхности. Все

Техническая характеристика отсадных машин типа ОМ

Параметры	ОМ8	ОМ12	ОМ18	ОМ24
Производительность, т/ч: по исходному материалу по породе	80—220 До 40 0,5—13	120—320 До 75 0,5—125	180—500 До 115 13—125	240—650 До 140 0,5—13; 13—125 (150); 0,5—125 (150)
Крупность обогащаемого угля, мм	4 2 2000 4 8	6 2000 4 12	1000 3000 6 18	6 4000 8 24
Длина отсека, мм				
Количество отсеков				
Количество отделений				
Ширина отсадного отделения, мм				
Рабочая площадь решета одного отделения, м²				
Площадь решета отсадного отделения (рабочая), м²				
Ширина щелей в решете при обогащении углей, мм: мелкого ширококлассифицированного крупного				
Для работы с искусственной постелью				
Рабочее давление воздуха в реснере, кгс/см²				
Средний расход воздуха, м³/с	0,45	0,21—0,25 0,7	1,05	6 м 7×20 6 м 7×20 20×20 0,21—0,5 1,3—2,0 До 150 30—80
Амплитуда пульсаций, мм		До 130		
Скорость вращения золотников пульсаторов, об/мин			36; 43; 51; 57; 67 30	50
Мощность двигателя привода пульсаторов, кВт	3,0	30		
Потребляемая мощность электродвигательной системы управления, Вт	—	—	—	
Мощность двигателя разгрузочного устройства, кВт	2	Автоматическое, закон регулирования ПИД	3	Автоматическое с постоянным регули- рующим воздействи- ем 20—100
Количество двигателей вакуумочных устройств				
Поддержание уровня тяжелой постели				
Точность поддержания уровня постели, мм		±10		
Диапазон регулирования скорости роторного разгрузчика (со смен- ными звездочками на валу ротора), об/мин		1—9,6 или 0,5—5,3		0,063—12,6
Габаритные размеры, мм:				
длина	4980	7250	7255	7300
ширина	3330	3330	3955	5195
высота	4540	4540	4540	4900
Масса машины с электрооборудованием, кг	15 500	23 000	27 900	37 375
Исполнение		Правое или левое		

Примечание: Частота пульсаций устанавливается в зависимости от принятого режима отсадки.

возможные повреждения (забоины, прогибы), которые возникли при транспортировке, должны быть устранены.

Корпуса отделений выставляются на несущих опорных балках, а затем соединяются между собой болтами. В зазоры, которые могут оказаться между опорами и балками, должны быть заложены металлические прокладки. После этого места стыков тщательно привариваются водонепроницаемым швом.

Машина закрепляется на несущих опорных балках болтами или сваркой.

После монтажа корпусов необходимо снять крепление на колосниках, завесы и шибера в сборе, а также произвести установку на шибере регулировочных винтов и футеровку дна базовыми плитками. Места футеровки указываются на чертеже общего вида.

Воздушный и водяной коллекторы. При монтаже воздушного и водяного коллекторов между присоединительными фланцами ставятся резиновые прокладки для уплотнения. Болты на всех фланцах должны затягиваться равномерно. Камеры глушителя на воздушных коллекторах машин ОМ12 и ОМ18 соединяются переходными патрубками.

Привод разгрузочного устройства. Привод разгрузочного устройства вместе с рамой устанавливается на несущую сварную балку и крепится к ней при помощи болтов или сварки. При монтаже привода необходимо, чтобы звездочка, установленная на редукторе, находилась в одной плоскости со звездочкой, установленной на роторе.

После установки привода необходимо произвести проверку его работы в течение двух часов, при этом ротор при вращении должен сбегать с конца завесы. Температура нагрева масла в редукторе и подшипников ротора не должна превышать 40°C сверх окружающей температуры. Натяжение холостой ветви цепи осуществляется натяжным устройством, установленным на приводе.

Пульсаторы и привод пульсаторов. Перед установкой пульсаторов и привода необходимо тщательно осмотреть и очистить пульсаторы от предохранительной смазки, очистить от смазки и промыть керосином фланцы воздушного коллектора, на которых устанавливаются пульсаторы. После этого необходимо установить и закрепить пульсаторы с резиновой прокладкой и привод пульсаторов. При этом должна быть обеспечена соосность валов, коробки скоростей и пульсаторов, соединяемых цепными полумуфтами.

Полностью собранный привод должен быть прокручен вручную, а затем обкатан в течение четырех часов. Температура масла в коробке скоростей пульсаторов не должна превышать $+40^{\circ}\text{C}$ сверх окружающей температуры, а корпуса пульсатора $+30^{\circ}\text{C}$; шум передачи должен быть равномерным.

Проверка работы привода разгрузочного устройства и пульсаторов с приводом осуществляется после монтажа системы

централизованной смазки и подачи смазки в подшипники роторов и на золотники пульсаторов.

Централизованная смазка. Монтаж системы смазки золотников пульсаторов и подшипников роторных разгрузчиков следует производить после монтажа всех узлов машины. В собранной системе подсоединение трубок к точкам смазки должно осуществляться после проверки подачи смазки. Полностью собранная система испытывается в процессе работы механизмов. При выходе смазки в местах соединений последние следует подтянуть.

Эксплуатация отсадочных машин типа ОМ. Наладка отсадочной машины производится в следующей последовательности.

В зависимости от крупности обогащаемого материала на поплавковом датчике устанавливают толщину контролируемой постели породной или промпродуктовой (табл. 25). Толщина постели — расстояние между дном поплавка и решетом.

Таблица 25

Зависимость толщины постели от крупности обогащаемого материала

Крупность обогащаемого материала, мм	Толщина постели в отсадочных машинах по отделениям, мм				
	ОМ12 и ОМ18			ОМ8	
	загрузочное	промежу- точное	разгрузочное	загрузочное	разгрузочное
0,5—13	200—220	180—210	150—175	200—220	150—175
0,5 (13)—125	200—250	200—250	200—250	200—250	150—190

Устанавливают на определенную высоту шибера между отделениями. Подъем и опускание шибера производят при помощи вращения маховиков. При установке шибера верхняя кромка его должна быть горизонтальной.

Таблица 26

Зависимость разгрузочной щели от крупности обогащаемого материала

Крупность обогащаемого материала, мм	Величина разгрузочной щели (по отделениям в отдельных машинах), мм				
	ОМ12 и ОМ18			ОМ8	
	загрузочное	промежу- точное	разгрузочное	загрузочное	разгрузочное
0,5—13	80	80	80	80	80
0,5 (13)—125	250	250	250	250	250

В разгрузочных камерах с помощью поворотного шпбера устанавливается необходимая величина горизонтальной разгрузочной щели (табл. 26).

В зависимости от крупности обогащаемого материала устанавливают необходимую скорость вращения золотников пульсаторов при помощи рукоятки переключения коробки скоростей.

Скорость вращения (число пульсаций в минуту) должна составлять (51, 57, 67); (51, 57) и (43, 51, 57) при крупности обогащаемого материала соответственно 0,5—13; 0,5—125 и 13—125 мм.

Необходимо также отрегулировать впуск и выпуск воздуха через пульсаторы, что достигается поворотом заслонок на окнах; отрегулировать подачу подрешетной воды путем поворота рукояток водяных заслонок в соответствующие положения.

Рабочее давление воздуха в воздушном коллекторе отсадочной машины должно быть 0,21—0,25 кгс/см² при обогащении материала крупностью 0,5—13 мм, 0,5—125 и 13—125 мм.

Предварительная регулировка и наладка водо-воздушного режима отсадочной машины должна производиться с водой без нагрузки.

Вначале включают воздуходувку и привод пульсаторов, а затем открывают задвижки подачи воздуха в воздушные коллекторы по отделениям машины. В случае прорыва воздуха из водо-воздушных камер в отсадочном отделении задвижки необходимо прикрыть. Регулировку давления в воздушных коллекторах производят при помощи задвижки на сбросе воздуха из ресивера. Если при работе машины наблюдаются выбросы воды вместе с воздухом через выпускные окна пульсаторов, то в этом случае необходимо уменьшить величину открытия заслонки на выпуске.

Регулирование водо-воздушного режима ведется отдельно по отделениям машины. При этом следует иметь в виду, что амплитуда пульсаций воды в машине зависит от величины открытия заслонок на окнах впуска и выпуска воздуха в пульсаторах, от частоты пульсаций, давления и количества воздуха, поступающего в коллектор. Последующую наладку отсадочной машины производят с нагрузкой в зависимости от количества поступающего материала и его качества с целью отработки оптимального режима и получения необходимых количественных показателей продуктов отсадки.

При регулировке необходимо учитывать, что:

| увеличение количества поступающего воздуха повышает интенсивность хода нагнетания и всасывания;

увеличение количества поступающей подрешетной воды повышает интенсивность хода нагнетания и способствует снижению интенсивности хода всасывания;

уменьшение подачи воздуха приводит к снижению хода нагнетания и всасывания;

уменьшение подачи воды снижает интенсивность хода нагнетания и повышает интенсивность хода всасывания.

Для получения устойчивых качественных показателей обогащения и минимальных потерь угля в породе необходимо, чтобы загрузку исходного угля производили непрерывно и равномерно в пределах производительности, предусмотренной технической характеристикой машины.

Исходный продукт должен распределяться равномерно по ширине решета. С этой целью рекомендуется устанавливать специальное загрузочное устройство с дуговым ситом, на котором сбрасываются излишняя транспортная вода и мелкий шлам.

Поддержание заданной толщины постели и разгрузка тяжелых фракций осуществляется автоматическим регулятором уровня постели.

Пуск и остановка машины. Основные условия, обеспечивающие работоспособность машины: содержание ее в чистом виде и своевременное проведение технического обслуживания и ремонта.

Перед пуском машины необходимо проверить:

наличие смазки во всех местах ее подвода;

положение рукояток для впуска воздуха в пульсаторы и задвижек для подрешетной воды, а также положение заслонок на выпускных окнах пульсаторов;

положение поплавка автоматического регулятора;

отсутствие на решетках посторонних предметов;

готовность к пуску обезвоживающих грохотов, центрифуг и элеваторов.

После выполнения указанных работ машина заполняется водой и одновременно включаются обезвоживающие элеваторы, привод пульсаторов машины и автоматический регулятор загрузки.

Затем на машину подают исходный материал (уголь с транспортной водой), а когда в породном отделении толщина слоя исходного материала достигнет 0,5 м, открывают задвижку, подающую воздух в коллектор.

Остановку машины должны производить в следующей последовательности:

прекращается подача исходного материала на машину;

«срабатывают» постель (только в случае необходимости ремонта);

прекращают подачу воды;

прекращают подачу воздуха в машину, включают привод пульсаторов и автоматический регулятор разгрузки;

выпускают воду из машины (только в случае необходимости ремонта);

останавливают обезвоживающие элеваторы.

Перед остановкой обезвоживающих элеваторов предварительно должен быть выработан шлам из воронок и башмаков элеваторов для предотвращения их «заплавки».

В случае вынужденной кратковременной остановки машины

необходимо прекратить загрузку исходного материала и подачу воздуха в машину.

Характеристики воздуходувок, рекомендуемых для установки с машинами типа ОМ, приведены в табл. 27.

Таблица 27

Характеристика воздуходувок

Отсадочная машина	Средний расход воздуха, м ³ /ч	Давление, мм вод. ст.	Рекомендуемые воздуходувки				Число обслуживаемых машин
			тип	производительность, м ³ /ч	повышенное давление, мм вод. ст.	потребляемая мощность, кВт	
ОМ8	1650	До 2500	ТВ-42-1,4	2 500	3600	43	1
			ТВ-80-1,4	5 000	4000	79	3
ОМ12	2500	До 2500	ТВ-42-1,4	2 500	3600	43	1
			ТВ-80-1,4	5 000	4000	79	2
ОМ18	4000	До 2500	ТВ-200-1,4	12 000	4000	162	4
			ТВ-80-1,4	5 000	4000	79	1
			ТВ-200-1,4	12 000	4000	162	3

§ 4. Монтаж и эксплуатация сепараторов для обогащения угля в тяжелых средах

Завод угольного машиностроения им. Пархоменко (г. Ворошиловград) по чертежам института Гипромашуглеобогащение

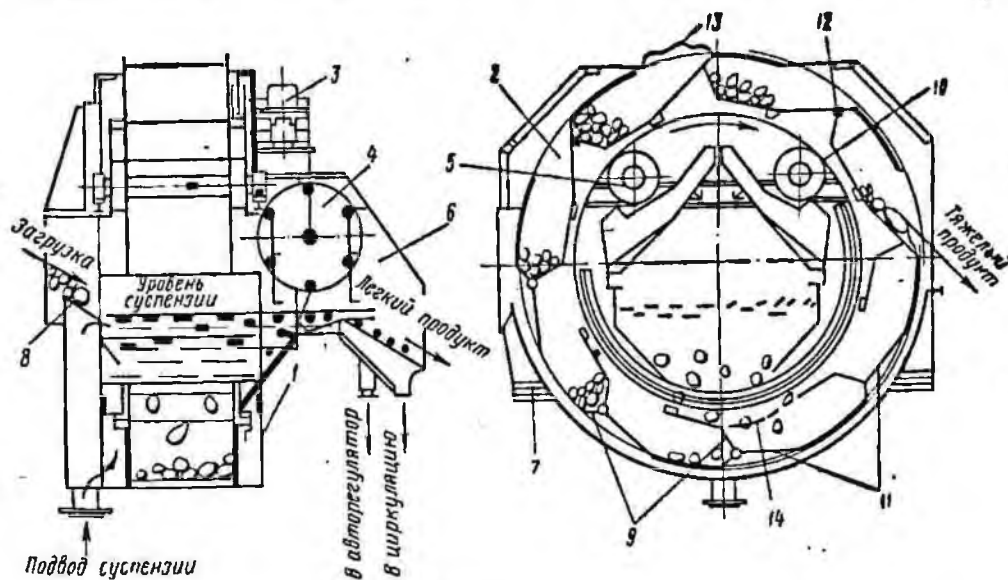
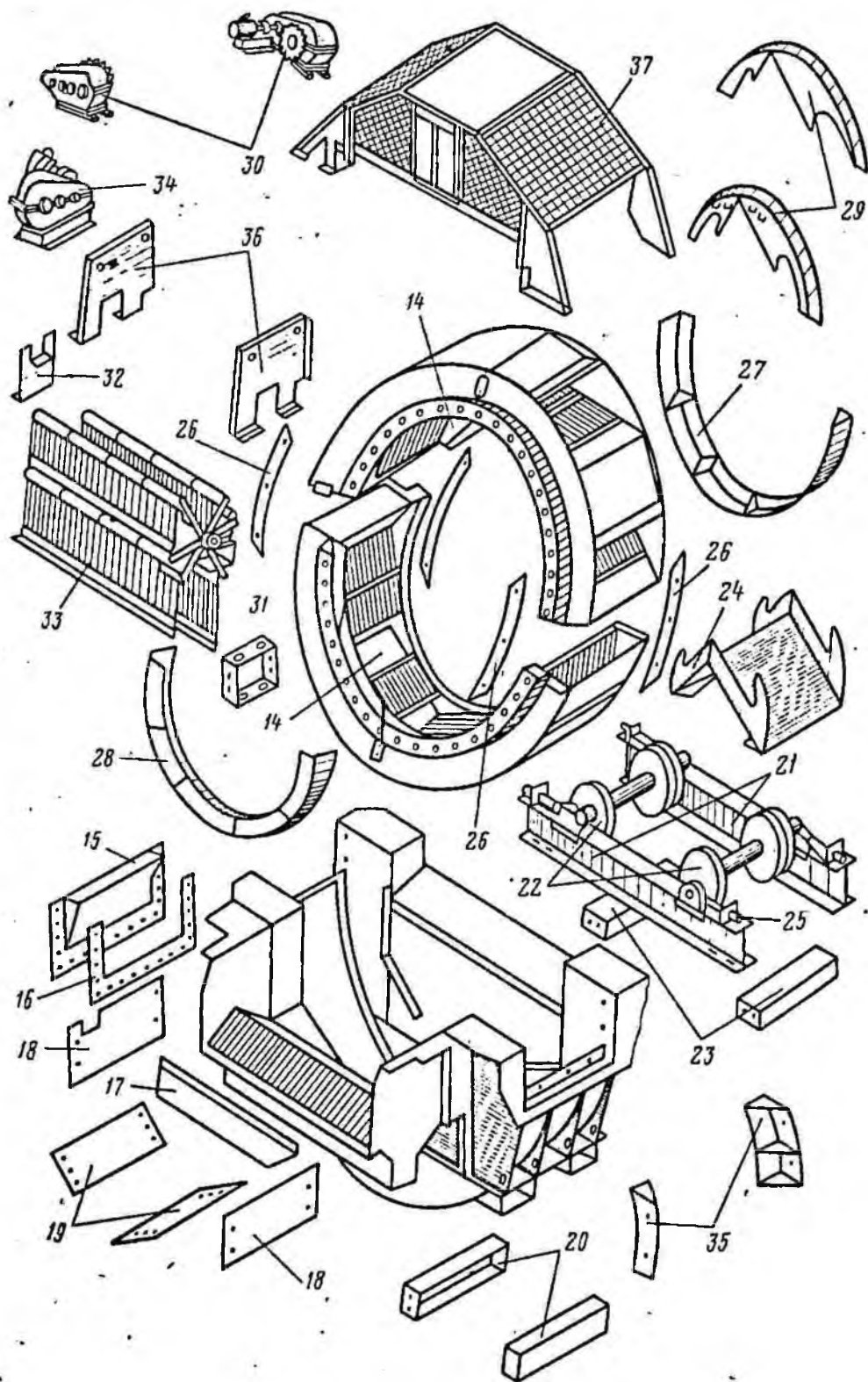


Рис. 21. Сепаратор с вертикальным колесом типа СКВ:

1 — корпус; 2 — элеваторное колесо; 3 — привод колеса; 4 — гребковый механизм; 5 — опорные катки; 6 — концентратная течка; 7 — опорные кронштейны; 8 — загрузочный лист; 9 — ковш элеваторного колеса; 10 — регулировочные катки; 11 — решетки; 12 — шарниры; 13 — разгрузочное окно; 14 — загрузочное окно



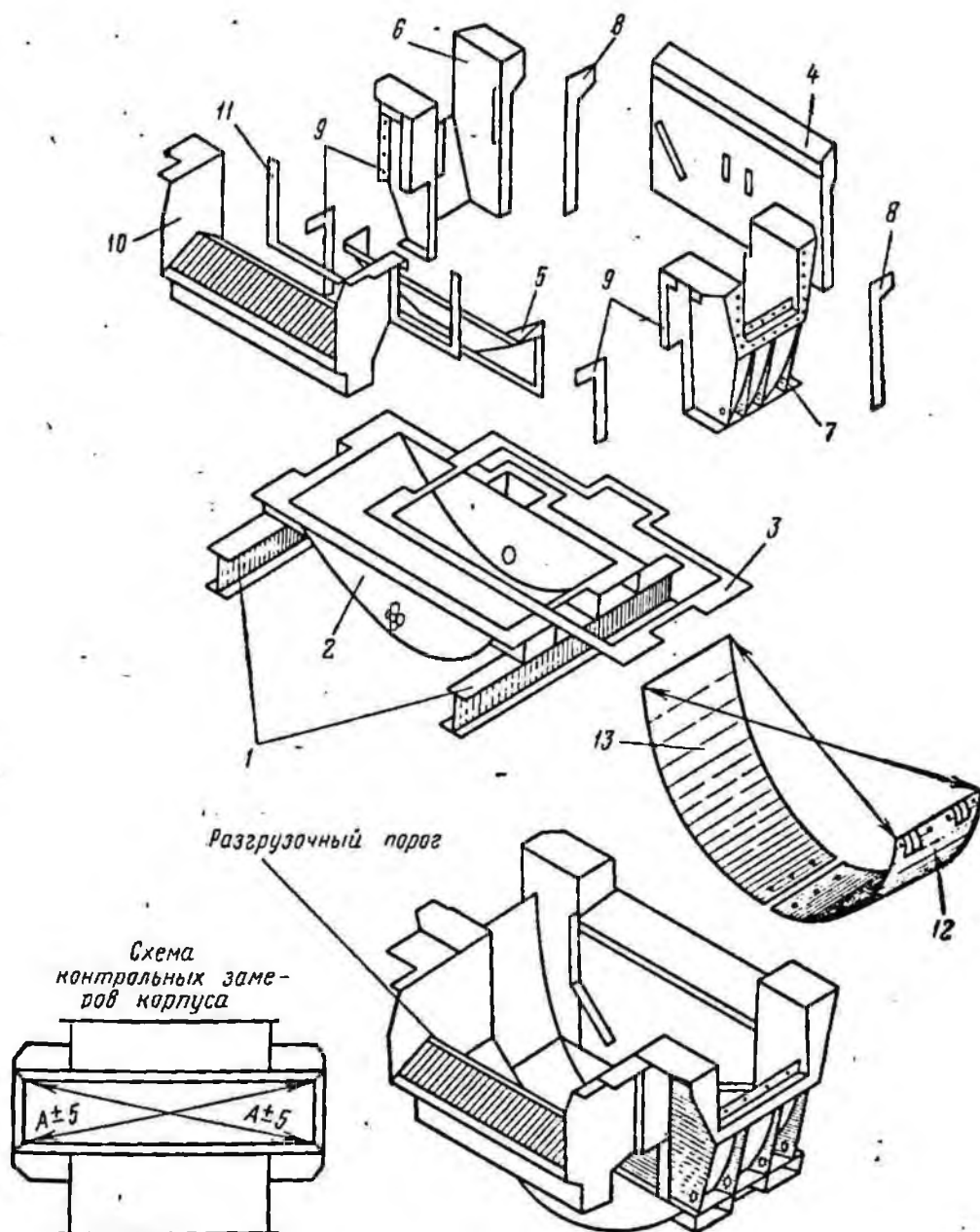


Рис. 22. Монтажные блоки и сборочные узлы сепаратора СКВ32:

1 — балка; 2 — днище; 3 — прокладка; 4 — загрузочный лоток; 5 — разгрузочный лоток; 6 — секция; 7 — секция; 8 — прокладка; 9 — прокладка; 10 — концентратная точка; 11 — прокладка; 12, 13 — футеровочные листы; 14 — элеваторное колесо; 15 — заглушка; 16 — прокладка; 17 — щиток; 18 — вертикальный лист; 19 — наклонный лист; 20 — связи; 21 — балки; 22 — катки; 23 — связи; 24 — лоток; 25 — винт; 26 — футеровочные полосы; 27, 28 — уплотнение; 29 — щиток; 30 — привод элеваторного колеса; 31 — кронштейн; 32 — щиток; 33 — гребковый механизм; 34 — привод гребкового механизма; 35 — щиток; 36 — ограждение; 37 — ограждение колеса

выпускает тяжелосредние сепараторы типа СКВ (рис. 21) с вертикальным элеваторным колесом (табл. 28).

Таблица 28

Техническая характеристика сепараторов

Параметры	СКВ20	СКВ32
Максимальная производительность по исходному материалу (т/ч) при крупности:		
от 6 до 30 мм	160	250
от 13 до 30 мм	190	300
от 25 до 30 мм	240	350
Максимальная нагрузка от исходного материала, %:		
из всплывшей фракции	75	75
из утонувшей фракции	75	75
Максимальная крупность фракций, мм:		
всплывшей	300 × 300 × 600	
утонувшей	300 × 300 × 900	300 × 300 × 1000
Ширина ленты, мм	2000	3200
Объем суспензии, м ³	8	18
Электродвигатель элеваторного колеса:		
тип	АО2-51-6	АО2-51-6
мощность, кВт	5,5	5,5 × 2 = 11
частота вращения, об/мин	1000	1000
Электродвигатель гребкового механизма:		
тип	АОЛ2-32-6	
мощность, кВт	2,2	
частота вращения, об/мин	1000	1000
Габаритные размеры сепаратора, мм:		
длина	4 300	5 355
ширина	4 200	5 850
высота	4 150	5 700
Масса сепаратора не более, кг	16 500	25 900

Монтаж сепараторов типа СКВ. Монтаж сепаратора на фабрике должен производиться на специальной площадке, обеспечивающей возможность подхода и удобства работ по креплению разъемных частей сепаратора и оборудованной подъемно-транспортными средствами.

Монтажные блоки и сборочные узлы сепаратора показаны на рис. 22. На фундамент, выполненный при строительстве, или на специальные балки 1 устанавливают днище 2 корпуса сепаратора и крепят болтами М24.

По осевой линии днища сепаратора со стороны загрузки устанавливают люк 4, а со стороны разгрузки — разгрузочный лоток 5. Справа по ходу движения материала устанавливают секцию 6, а слева — секцию 7. Между соприкасающимися поверхностями разъемов устанавливают прокладки 8 и 9. Установленные узлы крепят между собой и к днищу сепаратора болтами М20.

В установленный и закрепленный на фундаменте (раме) корпус устанавливают футеровочные листы 12 и 13 так, чтобы они плотно прилегали к днищу, и закрепляют болтами М16 с потайной головкой. Головки болтов не должны выступать над поверхностью футеровочных листов. С целью удобства установки и снятия футеровочные листы имеют скобы для строповки. После установки листов в корпусе скобы снимают.

Со стороны разгрузки легкой фракции устанавливают концентратную точку 10 в сборе с колосниковыми решетками. Затем производят контрольные замеры установки корпуса сепаратора в сборе с концентратной точкой. Разность размеров корпуса по диагоналям допускается не более 10 мм.

Верхняя кромка разгрузочного порога должна быть горизонтальной. Отклонение от горизонтального положения допускается не более 10 мм на всей ширине порога.

В собранный, выверенный и закрепленный корпус заводится половина элеваторного колеса 14 с таким расчетом, чтобы разгрузка из ковшей приходилась на необходимую сторону, т. е. справа или слева сепаратора в зависимости от сборки. Корпус сепаратора со стороны, противоположной разгрузке тяжелых фракций, закрывают заглушкой 15 с прокладкой 16 и закрепляют болтами М16. Внутрь корпуса вставляют вертикальные листы 18 и наклонные листы 19, образующие ванну разделения, и закрепляют болтами М12.

На верхние площадки корпуса помещают поперечные балки 21 с опорными катками 22. Сверху на плоскость разъема нижней половины элеваторного колеса устанавливают верхнюю и скрепляют их между собой.

На опорных катках с помощью натяжения винтов 25 элеваторное колесо поднимают до образования зазора между колесом и корпусом, после чего, поворачивая колесо в нужные положения, надежно скрепляют стыки с помощью планок, осей и клиньев (рис. 23). После затяжки разъемов элеваторного колеса места стыков проваривают сваркой по всему периметру стыка за исключением поверхностей соприкосновения с опорными катками.

Затем натяжными винтами 25 (см. рис. 22) производят регулировку элеваторного колеса относительно корпуса. При этом рекомендуется соблюдать следующую последовательность:

элеваторное колесо опускают на днище корпуса сепаратора; катки (все четыре) подводят до соприкосновения с внутренней поверхностью опорных колец элеваторного колеса;

вращая попарно гайки натяжных винтов, сначала с одной стороны, а затем с другой, радиальные зазоры между колесом и корпусом устанавливают таким образом, чтобы минимальный зазор (20 мм) находился в месте разгрузки тяжелой фракции (рис. 24), а зазор в нижней точке колеса, измеренный через боковые люки корпуса, составлял 30—40 мм. При выставленном

таким образом расширяющемся зазоре исключается возможность заклинивания элеваторного колеса во время работы. Торцовые зазоры между колесом и корпусом с обеих сторон должны быть примерно одинаковыми.

После регулировки положения элеваторного колеса устанавливают уплотнения 27 и 28 (см. рис. 22) с равномерным зазором между внутренней поверхностью опорных колец и уплотнением, надежно закрепив их предохранительными полосами и болтами М20.

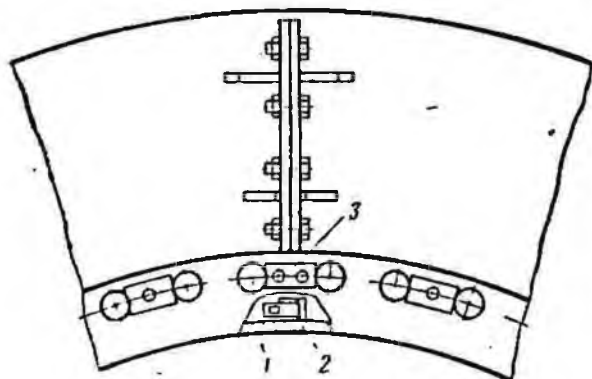


Рис. 23. Скрепление частей колеса:

1 — клин; 2 — ось; 3 — планка

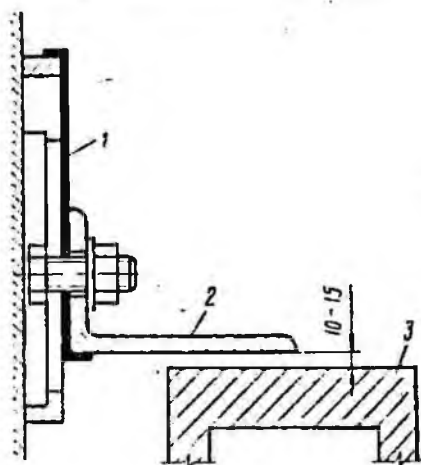


Рис. 24. Крепление уплотнения к корпусу:

1 — предохранительная полоса; 2 — уплотнение; 3 — колесо

Со стороны заглушки 15 (см. рис. 22) на площадку корпуса устанавливают привод элеваторного колеса 30. Зубья звездочки необходимо вводить в зацепление с цевочным кольцом элеваторного колеса так, чтобы зазор между втулкой цевки и впадиной зуба звездочки составлял 3—5 мм, а зазор между торцом звездочки и наружной боковиной кольца — 5—8 мм. Привод необходимо надежно закреплять к корпусу сепаратора болтами М20.

На полки концентраторной точки устанавливают кронштейн 31, а на него гребковый механизм 33. Затем устанавливают привод гребкового механизма 34. В корпус сепаратора со стороны загрузки устанавливают щиток 17. По обе стороны гребкового механизма помещают ограждения 36. Элеваторное колесо закрывают ограждением 37. Затем устанавливают систему централизованной смазки.

Для предохранения сепаратора от перегрузок на приводе элеваторного колеса устанавливают магнитондуктивный датчик ДМ-2. Зазор между зубьями звездочки и сердечником датчика должен быть в пределах 2—4 мм.

Эксплуатация сепараторов типа СКВ. После монтажа производят наладку и регулирование сепаратора.

В период эксплуатации наладка и регулирование сепаратора осуществляются по мере необходимости. Контроль зазоров должен проводиться не реже одного раза в неделю.

Запрещается эксплуатация сепаратора при отсутствии регулируемых зазоров между элеваторным колесом и уплотнениями, втулками цевки и впадной зуба звездочки, элеваторным колесом и корпусом, так как это вызывает интенсивный износ сборочных единиц и деталей сепаратора и преждевременный выход его из строя.

Регулирование положения элеваторного колеса относительно корпуса необходимо производить в следующей последовательности:

опустить элеваторное колесо на днище корпуса сепаратора; подвести все четыре ролика до соприкосновения их с внутренней поверхностью колец;

вращая попарно гайки натяжных винтов сначала с одной, а затем с другой стороны, установить радиальные зазоры между элеваторным колесом и корпусом так, чтобы минимальный зазор (10—20 мм) находился в месте разгрузки тяжелой фракции, а зазор в нижней точке колеса, замеренный через боковые люки корпуса, составлял 30—50 мм.

Боковые зазоры между скребками колеса и боковинами корпуса должны быть примерно одинаковыми с обеих сторон. При этом оси катков должны быть параллельны и горизонтальны.

Регулирование торцовых зазоров может быть осуществлено смещением в нужном направлении поперечных балок. При включении элеваторного колеса, выставленные зазоры не должны изменяться (допускается изменение зазоров на величину биения колеса с сохранением гарантированного зазора).

Регулирование зазоров между внутренней поверхностью колец элеваторного колеса и уплотнением осуществляется после регулировки колеса относительно ванны перемещением уплотнений в нужном направлении по пазам бобышек, приваренных к корпусу. Зазор между кольцами и уплотнениями должен составлять 10—15 мм. Установку зазоров необходимо производить начиная со среднего (нижнего) сектора.

Регулирование цевочного зацепления должно осуществляться всякий раз после изменения положения элеваторного колеса. Для регулирования зацепления необходимо ослабить болты, крепящие раму привода к корпусу, выставить зацепление так, чтобы зазор между втулкой цевки и впадной зуба составлял 3—5 мм, а между торцом звездочки и наружной боковой поверхностью кольца — 5—10 мм. Боковые поверхности звездочек и элеваторного колеса должны находиться в параллельных плоскостях.

Регулирование гребкового механизма производится перемещением опорного подшипника в нужном направлении. Зазор между крестовинами гребкового механизма и корпусом концентратной точки с обеих сторон должен быть примерно одинаковым.

Наладка отрегулированного сепаратора осуществляется распределением подведенной к сепаратору суспензии на транспортирующий и восходящие потоки. Наладка производится перемещением заслонки, расположенной над входным патрубком. При вертикальном верхнем положении заслонки вертикальный и транспортирующий потоки распределяются равномерно. При горизонтальном положении заслонки транспортирующий поток суспензии уменьшается, а восходящий увеличивается до максимума.

При вертикальном нижнем положении заслонки создается максимальный транспортирующий поток и минимальный восходящий поток. Настройка потоков суспензии производится в каждом конкретном случае, исходя из следующего правила: чем больше нагрузка по всплывшей фракции, тем больше транспортирующий поток.

Работа сепаратора, как правило, должна осуществляться при верхнем вертикальном положении заслонки. Изменение положения заслонки производится в случае значительных отклонений результатов разделения от нормальных. Не допускается эксплуатация сепаратора при отсутствии перелива суспензии через порог концентратной течки. При отсутствии перелива необходимо снять нагрузку и увеличить подачу суспензии до образования необходимого перелива, после чего подать нагрузку на сепаратор.

При нагрузке на сепаратор по легкой фракции менее 50% допустимой три лопасти гребкового механизма из шести через одну могут быть сняты.

Пуск и постановка сепаратора. В работу включается отрегулированный и подготовленный к эксплуатации сепаратор. В ванну сепаратора насосом непрерывно подается поток рабочей суспензии определенной плотности. При этом необходимо обеспечить постоянный перелив рабочей суспензии через порог концентратной течки. Одновременно с насосом осуществляется пуск элеваторного колеса сепаратора. При установившемся режиме циркуляции суспензии автоматический регулятор плотности должен обеспечивать стабильное поддержание заданной плотности.

Включается привод гребкового механизма и дается нагрузка на сепаратор, которая должна поступать равномерно по всей ширине ванны. В ванне происходит разделение исходного продукта по заданной плотности на легкую и тяжелую фракции.

Легкая фракция транспортирующим потоком суспензии перемещается вдоль по ванне и гребковым механизмом выгружается из сепаратора. Тяжелая фракция оседает в ковше элеваторного колеса и при его вращении выгружается справа или слева в зависимости от сборки сепаратора.

Сепаратор останавливают в следующей последовательности: прекращают подачу в сепаратор исходного продукта, после чего необходимо выгрузить продукты, содержащиеся в ванне сепаратора;

останавливают насосы, затем из ванны сепаратора выпускают суспензию;

останавливают гребковый механизм и элеваторное колесо. После остановки сепаратор необходимо промыть водой, отчистить решетки элеваторного колеса и концентратной течки от застрявших кусков продукта и других посторонних предметов.

При аварийной остановке или отключении нагрузка на сепаратор должна быть немедленно снята, а суспензия выпущена из сепаратора.

§ 5. Монтаж и эксплуатация флотационных машин

Порядок выполнения монтажных работ флотационных машин рассмотрим на примере машины МФУ2-63.

Флотационные машины МФУ2-63-4, МФУ2-63-6 и МФУ2-63-8 представляют собой один типоразмер машины (по ГОСТ 13519—68), состоящий из разного числа камер. Техническая характеристика машин приведена в табл. 29.

Таблица 29
Техническая характеристика флотационной машины МФУ2-63

Параметры	МФУ2- -63-4	МФУ2- -63-6	МФУ2- -63-8
Емкость камеры, м ³		6,3	8
Количество камер, шт.	4	6	8
Производительность по исходному твердому продукту, т/ч	50	50	50
Объемная производительность по исходной пульпе при содержании в ней твердого продукта 140 г/л, м ³ /ч	Не менее 450		
Зольность отходов при кондиционном качестве концентрата в условиях прямой флотации легко- и среднефлотируемых углей, %	Не менее 70		
Удельная энергоемкость на 1 т исходного продукта (кВт·ч)/т	Не более 2,5	Не более 3,0	Не более 3,5
Установленная мощность электродвигателей, кВт	123	186	246
Габаритные размеры, мм:			
длина	10 063	15 075	19 587
ширина	3500	3500	3500
высота	2988	3028	3028
Масса машины (без электрооборудования), кг	16 600	24 900	32 800
Частота вращения азаратора, об/мин		575 ± 15	
Частота вращения пеноспирателей, об/мин		20 ± 1,5	

Монтаж флотационных машин типа МФУ2-63. Для подъема и установки элементов флотационной машины необходимы подъемно-транспортные средства с грузоподъемностью не

менее 4,5 т. Строповку элементов флотационной машины необходимо производить с помощью специально предусмотренных для этого деталей.

Составные части флотационной машины доставляют к месту монтажа на автомашинах, платформах, тележках, катках или других приспособлениях, заменяющих их. Ящики с оборудованием, имеющие специальные брусья для передвижения, можно доставлять к месту монтажа волоком. При использовании подъемных средств не допускается прикосновения строп к ограждению привода азратора, электродвигателю и корпусу пульта управления.

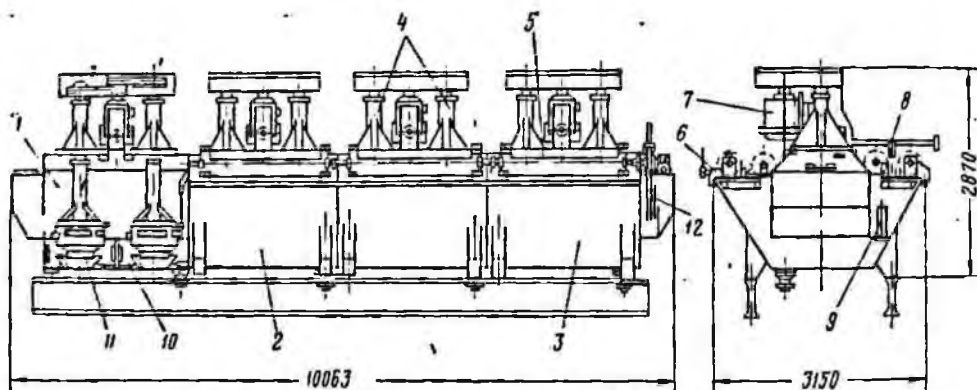


Рис. 25. Флотационная машина МФУ2-63-4:

1 — приемная камера; 2 — камера; 3 — выпускная камера; 4 — азратор; 5 — пеносниматель; 6 — выпускной клапан; 7 — привод азраторов; 8 — либерное устройство; 9 — централизованная смазка; 10 — футеровка; 11 — успокоитель; 12 — шибер

При монтаже флотационной машины вокруг нее должно быть предусмотрено свободное пространство для установки монтажных площадок шириной не менее 1 м. Место установки пульта управления должно быть горизонтальным, сухим и хорошо освещенным.

Строительные конструкции и опорные балки для установки машины должны быть рассчитаны на статическую нагрузку не менее 11 000 кг на каждую камеру машины. При этом статическая нагрузка от массы машины распределяется равномерно на все опоры. Величину динамической нагрузки на перекрытие можно не учитывать.

Расконсервацию сборочных единиц, законсервированных маслами и смазками, необходимо производить протиранием поверхности тампонами, смоченными уайт-спиритом (ГОСТ 3134—52), а также сухим обтирочным материалом. Расконсервацию внутренних масляных систем производить не следует.

Порядок установки и сборки составных частей флотационной машины следующий: приемная камера 1 (рис. 25), камера 2, выпускная камера 3, пеносниматель 5, выпускной клапан 6, либерное устройство 8, централизованная смазка 9.

Опорные поверхности строительных конструкций (рам) для установки камер флотационной машины должны быть горизон-

тальны и находиться в одной плоскости. Допустимое отклонение опорной поверхности от плоскости должно быть не более 10 мм на длине 10 м. При установке шести- и восьмикамерных флотационных машин уровень опорных поверхностей камер головной части машин по промежуточную камеру включительно должен превышать уровень опорных поверхностей остальных камер на 40 мм. Разность уровней опорных поверхностей снижается установкой стальных прокладок.

Камеры после установки на раме должны быть плотно сдвинуты и соединены болтами. Затем необходимо проверить горизонтальность сливных порогов камер. Отклонение от горизонтальности любых точек сливных порогов одной камеры не должно превышать 5 мм, а отклонение от горизонтальности сливных порогов машины в продольном направлении не должно превышать 10 мм на каждые 10 м длины. Регулировка уровня сливных порогов камер осуществляется стальными прокладками под опоры камер.

Камеры должны опираться на раму всеми опорными поверхностями и закрепляться специальными болтами. После окончательной сборки камер необходимо сварить монтажные швы всех соединений. Монтажные сварные швы должны быть водонепроницаемыми. Затем собирают пеносниматели, выпускные клапаны, шиберные устройства и систему централизованной смазки.

Собранную систему смазки необходимо испытать на герметичность соединений мазепроводов нагнетанием смазки до 70—80 кгс/см². Необходимо контролировать срабатывание плунжеров питателей. При подаче смазки от насоса по одной или другой линии все плунжеры питателей должны перемещаться попеременно вверх и вниз. Ход плунжеров, подающих смазку в подшипники пеноснимателей, должен быть в 2—3 раза меньше, чем ход плунжеров, подающих смазку в подшипники аэраторов.

Перед пуском машины необходимо проверить:

плавность вращения валов аэраторов от руки и валов пеноснимателей, поворачивая муфту привода, установленную между электродвигателем и редуктором;

возможность перемещения шиберов на всю величину хода посредством вращения вала с маховиком и выпускных клапанов из одного крайнего положения в другое посредством нажатия на рычаг;

прилегание пробки к горловине патрубка;

правильность закрепления внутри камер успокоителей и щитов футеровки.

При пуске машины необходимо проверить направление вращения валов аэраторов и пеноснимателей. Вал аэратора должен вращаться по часовой стрелке, если смотреть на него сверху. Валы пеноснимателей левой стороны должны вращаться по часовой стрелке, а валы правой стороны — против часовой стрелки, если смотреть со стороны приводов пеноснимателей.

После установки машины необходимо произвести монтаж вспомогательного оборудования (расходомерного бака, желобов для концентрата, обслуживающих площадок и т. п.).

К приемному карману должен быть присоединен трубопровод подачи питания, а к выпускному карману — трубопровод отвода хвостов. Необходимо также предусмотреть трубопровод или желоб для выпуска пульпы из машины. После выполнения всех монтажных работ необходимо произвести обкатку машины в течение 4 ч, для чего камеры должны быть заполнены пульпой до уровня перелива через шиберные устройства.

Эксплуатация флотационных машин типа МФУ-63. Перед пуском машины в работу необходимо убедиться в отсутствии посторонних предметов внутри камер, проверить состояние крепежа и при необходимости подтянуть. Закрывать выпускные клапаны и установить шиберы в промежуточное положение. Проверить состояние и готовность вспомогательного оборудования, работающего в одной технологической цепи с флотационной машиной. За работой флотационной машины должен наблюдать постоянно закрепленный обученный персонал.

После подготовки флотационной машины к работе в приемную камеру подается исходная пульпа, которая предварительно кондиционируется в специально предназначенных аппаратах (типа «Каскад» и др.). Поступление исходной пульпы по количеству и составу не должно резко колебаться. При заполнении приемной камеры пульпой до уровня статоров включают приводы аэраторов и пеноснимателей.

Перед включением в любой из режимов управления (ручном, полуавтоматическом или автоматическом) на пульте необходимо нажать кнопку напряжения, что обеспечит подачу питания на схему управления. Затем необходимо установить в соответствующее положение избиратель управления. Пуск приводов в ручном режиме управления производится раздельно кнопками «пуск» кнопочных постов управления, установленных около машины в любой последовательности.

Пуск машины в полуавтоматическом режиме управления производится кнопкой «полуавтоматический пуск» на пульте управления. Приводы запускаются при этом последовательно, что обеспечивает ограничение пускового тока. Пуск машины в автоматическом режиме управления производится с диспетчерского пункта при централизованном пуске фабрики.

Работа приводов, предпусковое и аварийное состояние флотационной машины сопровождается световой и звуковой сигнализацией.

Останавливая машину, необходимо прекратить подачу исходной пульпы в машину, затем подать техническую воду и выработать весь шлам из машины в течение 15—20 мин. Остановка приводов в ручном управлении производится кнопками «Стоп» кнопочных постов, установленных около машины. Остановка приво-

дов возможна также аварийной кнопкой, расположенной возле машины, или кнопкой «Стоп» на пульте управления. Остановка машины в полуавтоматическом режиме производится кнопкой «Стоп» на пульте управления или кнопкой «Авария», установленной около машины. Остановка машины в автоматическом режиме производится диспетчером или с места.

При остановке флотационной машины на ремонт или ремонтный осмотр необходимо выпустить пульпу через выпускные клапаны и промыть водой внутренние части камер.

Высота слоя пенного продукта в камерах регулируется при помощи шиберных устройств. При этом не допускается застоя пенного продукта в камерах (при низком уровне пульпы), а также переливания пульпы в концентрационные желоба (при высоком уровне пульпы).

Регулирование качественных показателей продуктов флотации производится изменением нагрузки по пульпе, плотности питания и реагентного режима.

§ 6. Монтаж и эксплуатация грохотов

Типы и основные параметры грохотов определены по ГОСТ 5526—67. Для переработки углей, антрацитов и горючих сланцев стандартом предусматриваются грохоты легкого типа. В зависимости от вида механизма, приводящего в колебательное движение короб с ситами, грохоты легкого типа обозначаются следующим образом: инерционные наклонные — ГИЛ, самобалансные — ГСЛ, резонансные — ГРЛ.

Из грохотов тяжелого типа на углеобогащательных фабриках находят применение только инерционные наклонные грохоты типа ГИТ на операциях предварительного грохочения.

Кроме указанных в ГОСТ 5526—67 типов грохотов на фабриках, для операций предварительного грохочения применяются грохоты типа ГЦЛ, в которых короб с ситами заменен вращающимся цилиндром со спиральными щелями на цилиндрической поверхности.

Резонансные грохоты с уравнивающей рамой типа ГРЛ заменяются более совершенными безрамными двухкоробными грохотами типа ГРД и сняты с дальнейшего производства.

Двухкоробные безрамные резонансные грохоты типа ГРД

Из грохотов типа ГРД освоено производство двух типоразмеров ГРД62 и ГРД72, техническая характеристика которых приведена в табл. 30.

М о н т а ж грохотов типа ГРД. Непосредственно перед установкой грохота на месте эксплуатации следует провести осмотр всех узлов и элементов грохота и устранить повреждения, возникшие во время транспортировки.

**Основные параметры резонансных двухкоробных
безрамных грохотов типа ГРД**

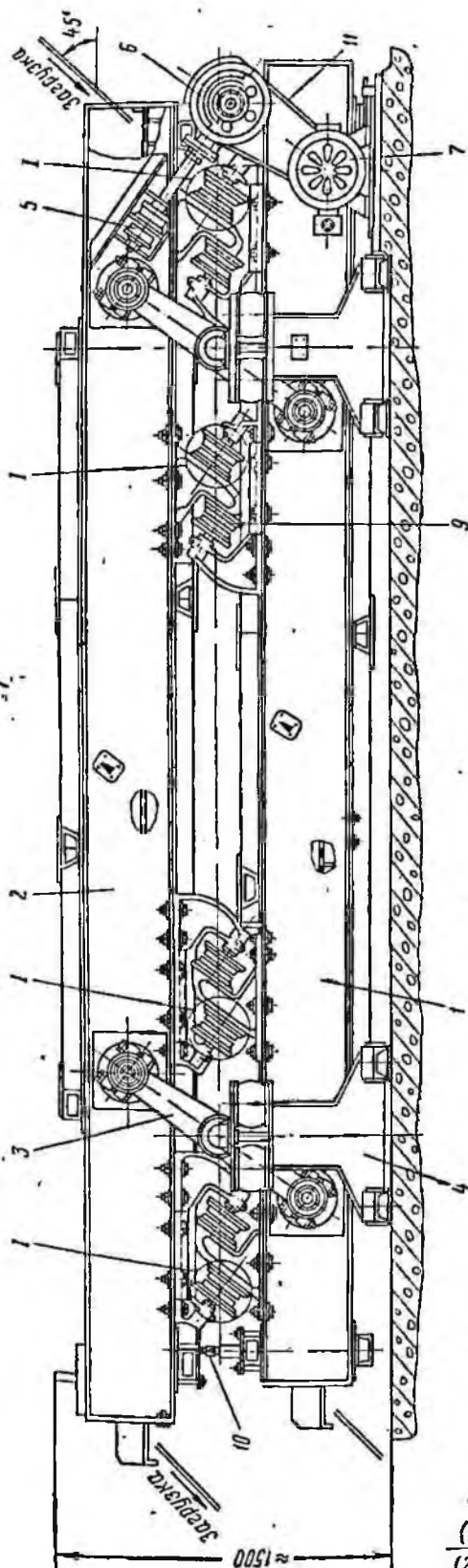
Параметры	ГРД72	ГРД62
Максимально допустимая крупность кусков грохотимого материала, мм	300 × 300 × 600.	
Угол наклона грохота к горизонту, град . .	До 5	
Сита:		
количество ярусов	2	2
длина, мм	6000	5000
ширина, мм	2500	2000
площадь, м ²	15	10
Верхние:		
штампованные с размерами отверстий, мм	6—100	6—100
проволочные с размерами отверстий, мм	5—40	6—40
Нижние:		
штампованные с размерами отверстий, мм	6—100	6—100
проволочные с размерами отверстий, мм . .	6—40	6—40
щелевидные с шириной щелей, мм	0,25—2,0	0,25—2,0
угол подбрасывания материала, град . . .	35	35
Короба:		
амплитуда колебаний, мм	8—11	8—11
частота колебаний в минуту	500—620	500—620
Электродвигатель:		
тип	КО22-6	КО21-6
мощность, кВт	15	11
частота вращения вала, об/мин	975	975
Габаритные размеры, мм:		
длина	7100	6000
ширина с электродвигателем	4250	3700
высота	1700	2000
Масса грохота, кг	14 900	12 900

Резонансные грохоты типа ГРД могут быть установлены на железобетонные или металлические опорные конструкции горизонтально или наклонно.

При горизонтальном расположении грохотов (рис. 26) поверхности опорных конструкций, на которые устанавливаются опоры грохота, должны быть ровными и лежать в одной горизонтальной плоскости.

При наклонном положении грохота необходима горизонтальность опорных конструкций в поперечном направлении. Их горизонтальность должна проверяться по уровню. При монтаже и сборке грохота следует строго следить, чтобы грохот был собран из узлов и деталей, принадлежащих одной и той же машине, и чтобы у сопрягаемых узлов и деталей совпадала маркировка, так как при изготовлении грохотов взаимозаменяемость всех узлов и деталей не обеспечивается.

Монтаж грохота целесообразно выполнять в следующей последовательности. Предварительно установить нижний короб, сориец



3280 (для грохота ГРД 72)
2780 (для грохота ГРД 62)

1100 (для грохота ГРД 72)
6000 (для грохота ГРД 62)

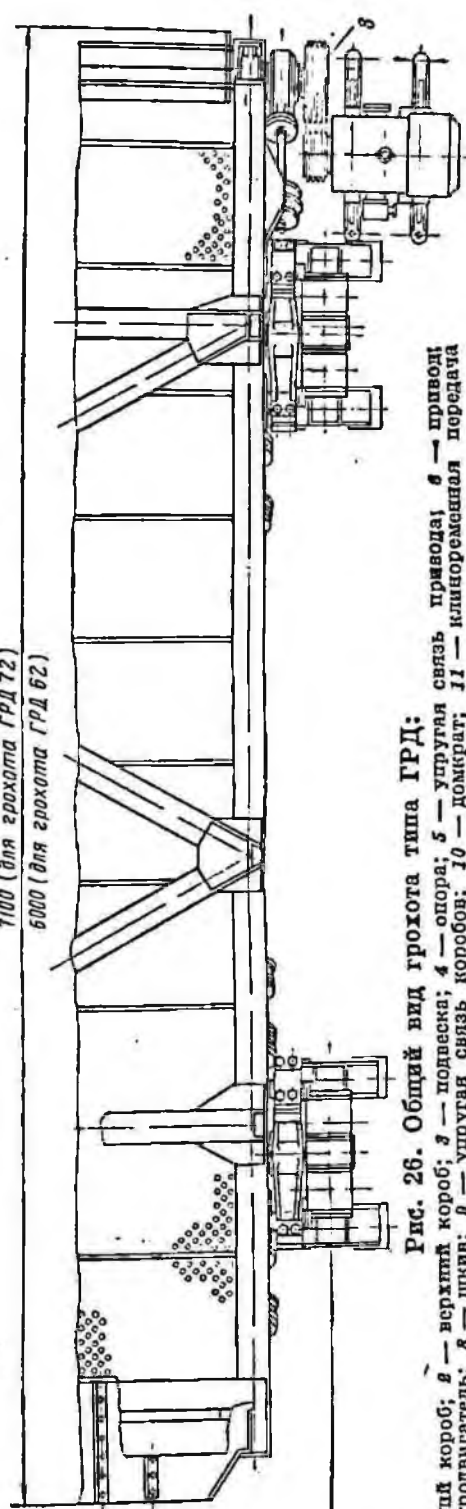


Рис. 26. Общий вид грохота типа ГРД:
1 — нижний короб; 2 — верхний короб; 3 — подвеска; 4 — опора; 5 — упругая связь; 6 — шкив; 7 — электродвигатель; 8 — привод; 9 — упругая связь коробов; 10 — демпфер; 11 — клиноремennая передача

тировав его нужным образом по отношению к площадке фундамента, на который будет устанавливаться грохот.

Под предварительно установленный нижний короб необходимо подложить деревянные брусья или металлические балки высотой 250 мм таким образом, чтобы верхние полки правой и левой боковин (двухавров) короба лежали в одной плоскости, параллельной подготовленной площадке фундамента (параллельность должна контролироваться по уровню). На нижний короб необходимо положить подвески. Вывернуть винты четырех домкратов 10 (см.

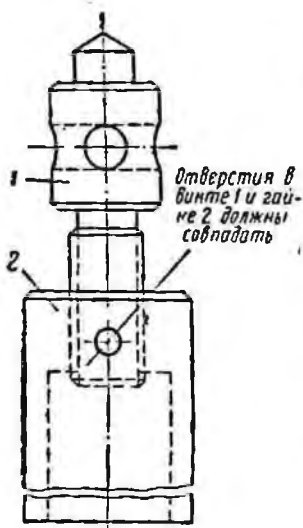


Рис. 27. Домкрат грохота ГРД

рис. 26) на нижнем коробе до совпадения отверстий, имеющих в винте 1 и гайке 2 домкрата (рис. 27). При этом будет зафиксировано положение домкрата, которое он имел при сборке грохота на заводе-изготовителе. Перед пуском грохота винты должны быть завернуты в гайки 2 до отказа.

Просвет h (рис. 28) между нижним и верхним коробами (размер между полками двухавров) должен быть одинаковым с правой и левой сторон грохота и составлять 450 ± 3 мм. Опорные балки или брусья для нижнего короба необходимо расположить в местах, не препятствующих установке других узлов, предусмотренных дальнейшей сборкой. Необходимо сориентировать нужным образом подвески грохота, завести цапфы коробов в рычаги подвесок. Предварительно закрепить бол-

тами головки рычагов. Оси симметрии установленных рычагов подвесок должны находиться под углом 35° к вертикали.

Необходимо проверить правильность выставленных подвесок, затем затянуть их крепеж. Под оси подвести опоры грохота с виброизоляторами и необходимым образом их сориентировать.

Предварительно надев на штоки шатунов нижние приводные амортизаторы согласно заводской маркировке, соединить фланцы штоков с фланцами корпусов эксцентриковых подшипников. Затем вал привода установить таким образом, чтобы шатуны были параллельны боковинам короба.

Согласно заводской маркировке собрать верхние приводные амортизаторы. Выставить в среднее положение вал (риски на эксцентричных втулках вала и крышках подшипников должны совпадать) и короба (см. рис. 28).

Выполнить равномерное поджатие всех приводных амортизаторов следующим образом:

предварительно вращая одновременно с небольшим усилием обе гайки 2 на каждой тяге 6, ввести в соприкосновение сопрягаемые между собой плоскости опорных дисков 3, резиновых амор-

тизаторов 4 и опорного листа 5 приводного коробного кронштейна;
замерить штангенциркулем в месте, указанном на рис. 28,
расстояния l_1 и l_2 ;

при помощи ключей одновременно поджать гайками 2 верхний
и нижний резиновые амортизаторы 4 на величину 10 мм каждый,

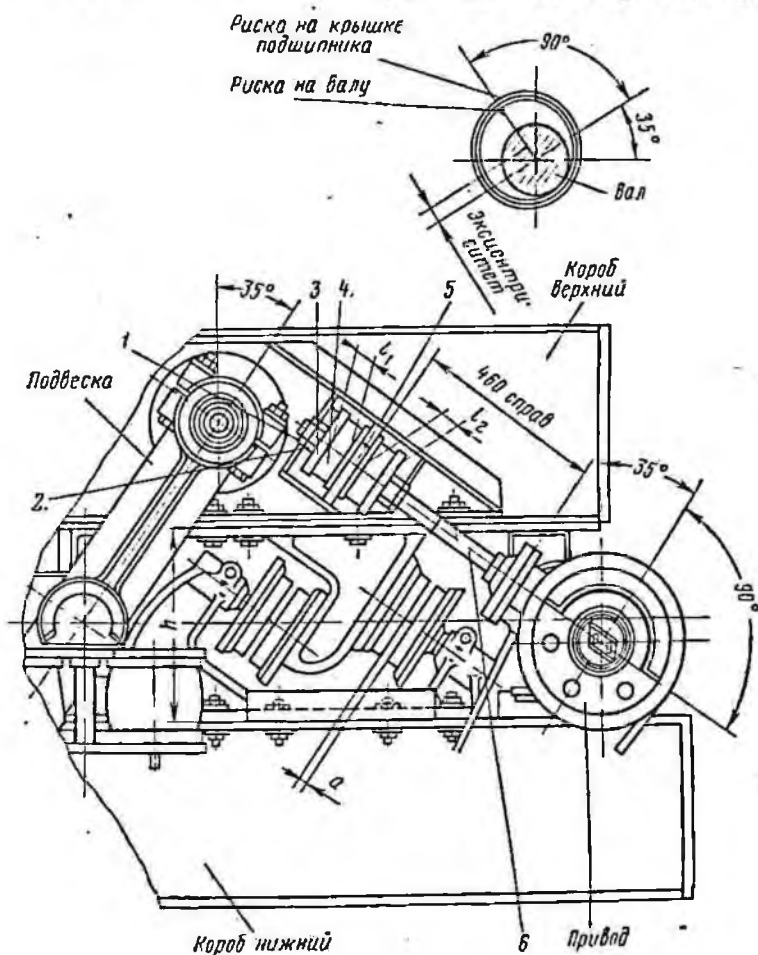


Рис. 28. Схема среднего положения грохота ГРД

выдержав размеры ($l_1 - 10$) мм и ($l_2 - 10$) мм. Величина раз-
меров ($l_1 - 10$) и ($l_2 - 10$) должна быть примерно одинаковой
и составлять около 40 мм;

затянуть ключом контргайки 1.

Среднее положение эксцентриковых шеек вала в результате
затяжки гаек 2 и контргаек 1 не должно быть нарушено.

На коробные кронштейны закрепляются резиновые буфера
одной группы жесткости. Группа жесткости или величина жест-
кости нанесена краской на боковой поверхности буферов. Зазор
между буферами предварительно устанавливается по шупу таким,
какой указан в паспорте грохота.

Необходимо собрать опоры грохота согласно заводской маркировке и установить их на свои места рядом с грохотом. Вынуть подвески из-под нижнего короба. Установить оси подвесок на вогнутые башмаки опор грохота.

Электродвигатель монтируется на специально подготовленной площадке так, чтобы ось клиноременной передачи была перпендикулярна оси упругой связи привода (см. рис. 28).

Между движущимися частями грохота и неподвижными конструкциями: воронкам, желобам, кожухам, течкам, во избежание ударов и трения элементов грохота о неподвижные части, должны быть достаточные зазоры (50—100 мм). Запрещается установка на движущихся частях грохота дополнительных деталей и узлов (загрузочных и разгрузочных лотков, кожухов и т. д.),

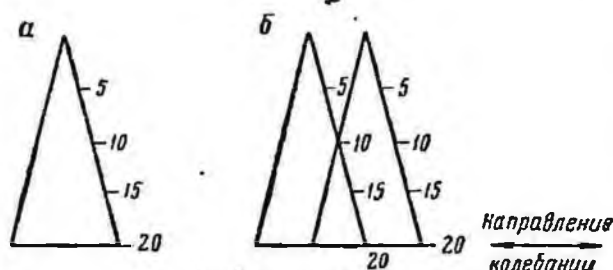


Рис. 29. Схема определения амплитуды колебаний грохота с помощью мерного клина:

а — клин в неподвижном состоянии; б — клин при колебаниях с амплитудой 10 мм

так как это может привести к нежелательному изменению режима работы грохота. Питающие устройства (конвейер, питатель, желоб и др.) должны распределять материал по всей ширине короба, подавать его по ходу движения материала на грохоте.

Между подвижными конструкциями и грохотом должны быть обеспечены такие зазоры, чтобы была возможность поднять грохот в вертикальном направлении на 120—130 мм для обеспечения возможности замены амортизаторов.

Перед пуском грохота необходимо произвести тщательный осмотр всей машины, особенно подвижных частей, проверить все болтовые соединения и подтянуть ослабевший крепеж, проверить крепление сит, их исправность, натяжение клиновых ремней привода, наличие смазки в подшипниках.

При среднем положении вала привода (см. рис. 28) необходимо проверить равномерность зазоров между буферами. Пробный пуск грохота следует выполнять обязательно холостую в течение 3—4 ч. При условии правильного монтажа и сборки грохот должен работать без стука и сильного шума. Во время работы грохота должен быть слышен шум только соударяющихся резиновых буферов (типа хлопков, без металлических звуков), а также шум от подшипников привода.

При холостой работе грохота необходимо проверить величину амплитуды колебаний коробов, которая определяется при помощи специальных оптических мерных клиньев, имеющих на коробах (рис. 29). Во время вибраций острие клина расщепляется

и по глубине этого расщепления можно судить о величине амплитуды. На рис. 29 стороны мерного клина пересеклись на цифре 10, т. е. мерный клин фиксирует амплитуду 10 мм.

Эксплуатация грохотов типа ГРД. При подготовке грохота к работе необходимо:

произвести очистку всех элементов грохота от скопления пыли, грязи, излишней смазки и т. п.;

произвести тщательный внешний осмотр всех элементов конструкции грохота;

подтянуть ослабевший крепеж, подбить деревянные клинья для крепления брусьев, прижимающих сита;

проверить, не заштыбованы ли загрузочные и разгрузочные точки, в случае необходимости точки почистить.

При эксплуатации грохота необходимо:

запускать грохот вхолостую и подавать на него материал только после достижения номинальной частоты и амплитуды колебаний коробов после 1—2 мин его холостой работы;

питание грохота должно производиться равномерно по всей ширине короба;

толщину слоя материала на просеивающей поверхности коробов регулировать питателем и устанавливать в зависимости от требуемых производительности и эффективности грохочения;

колебания коробов должны быть симметричны относительно продольной оси и прямолинейны.

При эксплуатации особое внимание следует обращать на упругую связь между коробами (буферы), опоры грохота (амортизаторы), упругую связь привода (приводные амортизаторы), привод, надежность крепления сит в коробах, крепеж (необходимо систематически подтягивать), деревянные клинья для крепления брусьев (необходимо подбивать).

Во время эксплуатации грохота один раз в смену следует контролировать температуру подшипников привода и резиновых деталей на ощупь, а также правильность характера движения коробов.

Прежде чем остановить грохот, необходимо прекратить подачу материала и дать грохоту проработать вхолостую до полной очистки сит.

Инерционные наклонные грохоты типа ГИЛ и ГИТ

Технические характеристики инерционных наклонных грохотов легкого типа (ГИЛ32, ГИЛ42, ГИЛ52, ГИЛ43) и тяжелого типа (ГИТ51А и ГИТ71) приведены в табл. 31.

Монтаж грохотов типа ГИЛ. Грохот необходимо установить таким образом, чтобы обеспечить со всех сторон свободное пространство шириной не менее 1 м, необходимое для его обслуживания. Грохоты типа ГИЛ выпускают как в опорном, так и в подвесном исполнении.

Техническая характеристика инерционных наклонных грохотов ГИЛ и ГИТ

Параметры	ГИЛ42	ГИЛ52	ГИЛ43	ГИЛ32	ГИТ51А	ГИТ71
Максимально допустимая крупность кусков, загружаемого материала, мм	150	300	200	100	400	1100 (для угля) 10-30
Угол наклона корпуса к горизонту, град	10-25	10-25	10-25	10-25	10-20	10-30
Сила						
количество ярусов	2	2	3	2	1	1
ширина, мм	1500	1750	1500	1250	1750	2500
длина, мм	3750	4500	3750	2500	3500	5000
площадь, м ²	5,6	7,9	5,6	3,1	6,125	12,5
сетка проволоочная с размерами отверстий, мм	6-50	6-100	6-50	6-60	—	—
Размер квадратных отверстий листового решета, мм	—	—	—	—	50; 75; 125; 150; 300	100; 125; 150
Амплитуда колебаний корпуса, мм	3; 3,5	2,5; 3	2,5; 3	2,5	4-6 (7)	6
Электродвигатель						
тип	BAO52-4	BAO52-4	BAO52-4	BAO41-4	KO22-4	KO31-4
мощность, кВт	10	10	10	4	20	25
частота вращения вала, об/мин	1470	1470	1470	1440	1475	1475
Габаритные размеры грохота в опорном исполнении с рамой и ровной. При угле наклона корпуса 15° (для грохотов типа ГИТ угол наклона 10°), мм:						
длина	4295	4785	4390	2840	3995	—
ширина	2860	3110	2925	2258	3275	—
высота	2710	2910	3045	1965	2230	—
Габаритные размеры в подвешенном исполнении при угле наклона корпуса 15° (для грохотов типа ГИТ угол наклона 10°), мм:						
длина	4240	4770	4265	2840	3990	5340
ширина	2705	2955	2770	2158	3255	3975
высота	2340	2480	2660	1645	2015	2450
Масса грохота в подвешенном исполнении без электродвигателя (для грохотов типа ГИТ — с электродвигателем), кг	3233	3660	3890	1355	6870	12 630

Монтаж грохота подвешного исполнения. Монтаж грохота начинают с установки подвесок (рис. 30). Выставляют по уровню плиты 11 и крепят к перекрытию болтами. На плиту ставят пружину 6, на которую кладут плиту 10 и самоустанавливающуюся шайбу 8. Снизу через отверстия в перекрытии, которые должны быть расположены по центру плиты 11 и иметь диаметр не менее 100 мм, пропускают тягу 5 с тросом 4. На резьбовой конец тяги навинчивают гайку 12. Короб грохота устанавливают на подпорках в рабочем положении с учетом того, что при подвеске на пружинах он опустится на 45—75 мм (45 мм для грохота ГИЛ32; 60 мм — ГИЛ42; 70 мм — ГИЛ52; 75 мм — ГИЛ43). На цапфы корпуса одевают кольцо 3 и фиксируются двумя распорными кольцами 1 и шайбами 2. Тросы подвесок зажимают зажимами, после чего убирают подпорки корпуса и грохот повисает на подвесках (рис. 31).

Короб в поперечном направлении должен быть выставлен горизонтально (проверяется по уровню, который ложится на sito поперек грохота). Тросы подвесок должны иметь одинаковое натяжение (т. е. разница между высотой пружины в свободном состоянии и нагруженной массой корпуса во всех подвесках должна быть одинаковой).

Регулировка положения корпуса и величины натяжения подвесок осуществляется подтяжкой гаек 12. На подвесках устанавливают стремени 7 с таким расчетом, чтобы зазор между верхней плоскостью плиты 10 и упором 9 составлял 35—40 мм. Затем устанавливают электродвигатель со шкивом на валу, одевают и с помощью винтов натягивают клиновые ремни. Для грохотов ГИЛ42, ГИЛ43 и ГИЛ52 необходимо электродвигатель к сети подсоединять гибким кабелем (электродвигатель при пуске и остановке может колебаться в вертикальной плоскости с размахом до 70 мм). Угол наклона оси клиноременной передачи к горизонту при нормальном натяжении ремней должен составлять 45—50°.

Необходимо установить ограждение клиноременной передачи. Для крепления его необходимо изготовить по месту опорную конструкцию. Затем следует установить точки, подводящие материал на грохот и отводящие надрешетные продукты, смонтировать воронку для подрешетного продукта, обеспечивая достаточные зазоры между колеблющимися частями грохота и неподвижными конструкциями.

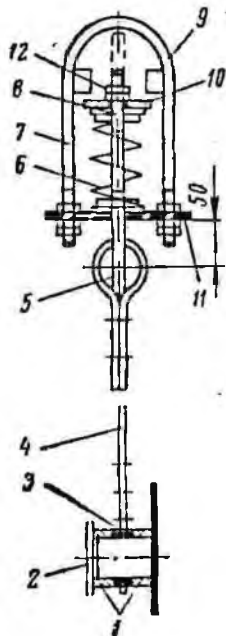


Рис. 30. Подвеска грохота:

- 1 — распорные кольца; 2 — шайба; 3 — кольца; 4 — трос; 5 — тяга; 6 — пружина; 7 — стремени; 8 — сферическая самоустанавливающаяся шайба; 9 — упор; 10 — опорная плита; 11 — опорная плита; 12 — гайки

Монтаж грохота опорного исполнения. На заранее подготовленных опорных конструкциях по уровню выставляют раму грохота 10 и крепят на болтах (рис. 32). Аналогично выставляют передние стойки 2 и раму электродвигателя 6.

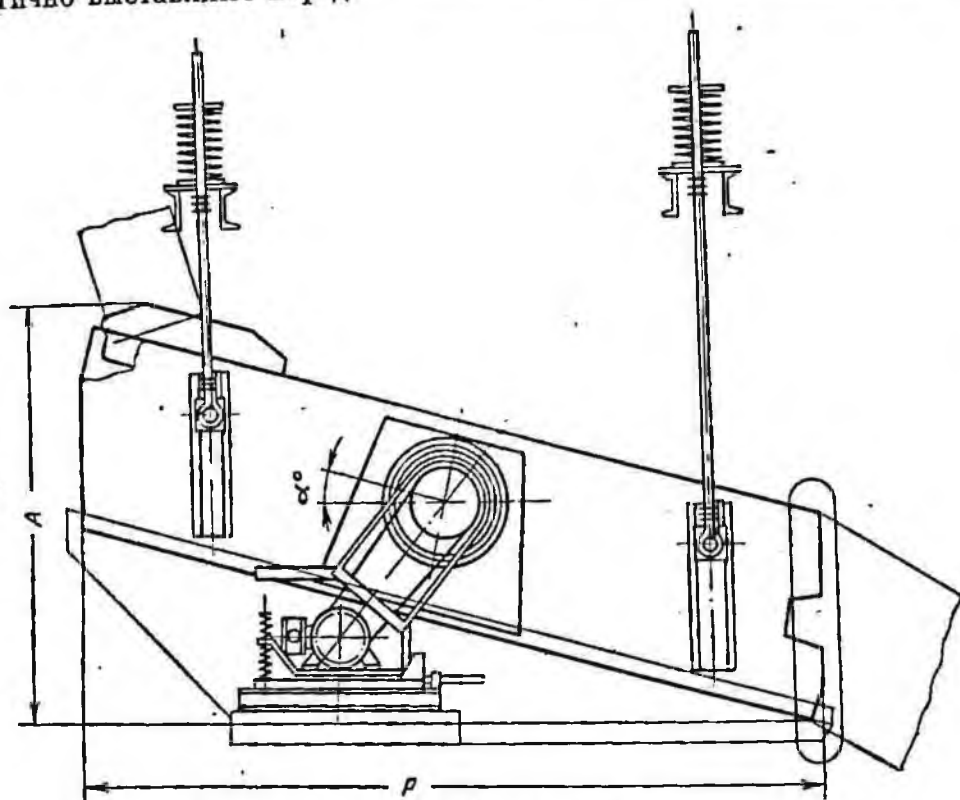


Рис. 31. Грохоты ГИЛ42, ГИЛ43, ГИЛ52 в подвесном исполнении

Шифр грохота	А				Р			
	$\alpha=10^\circ$	$\alpha=15^\circ$	$\alpha=20^\circ$	$\alpha=25^\circ$	$\alpha=10^\circ$	$\alpha=15^\circ$	$\alpha=20^\circ$	$\alpha=25^\circ$
ГИЛ42	2010	2340	2660	2950	4330	4240	4130	3990
ГИЛ43	2340	2660	2970	3250	4310	4265	4280	4100
ГИЛ52	2100	2480	2850	3180	4870	4770	4645	4490

Монтируется воронка 4 для подрешетного продукта и соединяется с помощью кронштейна 3 с рамой и стойками. В соответствии с выбранным углом наклона короба на раме и стойках устанавливаются промежуточные опоры. На промежуточных опорах закрепляются плиты 11 и выставляются пружины 12. Короб 16, на цапфы 14 которого одеты кронштейны 13, ставится на пружины 12. При этом необходимо следить, чтобы боковые зазоры между коробом и воронкой были одинаковыми с обеих сторон.

Стяжные болты на разъеме кронштейнов 13 при установке короба должны быть отпущены. После того как короб стоит на пружинах и опорные плоскости кронштейнов займут нужное положение, болты следует затянуть. Короб в поперечном направлении

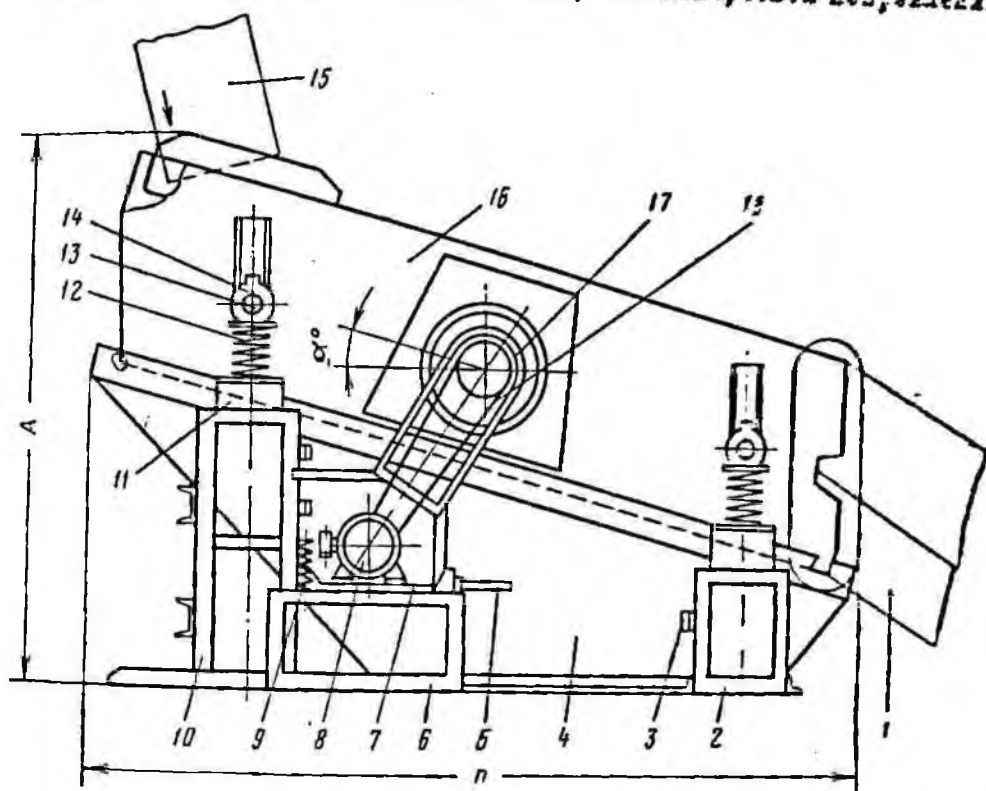


Рис. 32. Грохоты ГИЛ42, ГИЛ43, ГИЛ52 в опорном исполнении:

1 — разгрузочная течка; 2 — передние стойки; 3 — кронштейн; 4 — воронка; 5 — натяжной винт; 6 — рама электродвигателя; 7 — подмоторная рама; 8 — электродвигатель; 9 — компенсирующая пружина; 10 — рама грохота; 11 — плита; 12 — пружина; 13 — кронштейн; 14 — цапфа; 15 — загрузочная течка; 16 — короб; 17 — ограждение; 18 — клиновые ремни

Шифр грохота	А				n			
	$\alpha = 10^\circ$	$\alpha = 15^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 25^\circ$	$\alpha = 10^\circ$	$\alpha = 15^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 25^\circ$
ГИЛ42	2550	2710	2800	3000	4355	4295	4270	4130
ГИЛ43	2905	3045	3180	3305	4355	4390	4410	4310
ГИЛ52	2760	2910	3050	3100	4920	4785	4695	4635

должен быть выставлен горизонтально (проверяется по уровню, который ложится на сито поперек грохота).

Пружины опор должны быть одинаково поджаты. Регулировку положения короба и величину поджатия пружин осуществляют прокладками, которые устанавливают под плиты 11. Устанавливают электродвигатель 8 со шкивом на валу, одевают и натягивают

вают клиновые ремни 18. Затем устанавливают ограждение клиноременной передачи. После проверки правильности монтажа разъемные соединения рамы и воронки должны быть заварены. В случае монтажа грохота с пылезащитным кожухом далее производится установка кожуха.

Работоспособность смонтированного грохота проверяется посредством его обкатки вхолостую. Перед обкаткой грохота необходимо произвести следующие работы: проверить надежность болтовых соединений, ослабленные затянуть, проверить натяжение клиновых ремней привода. Натяжение нормальное, если опорный лист подмоторной рамы грохотов, электродвигатель которых установлен на качающейся опоре, займет горизонтальное положение.

Все ремни в комплекте должны быть одинаковой длины и одинаково натянуты. Устанавливать в один комплект ремни новые и бывшие в эксплуатации (вытянувшиеся) не рекомендуется.

Не включая электродвигатель, проверить готовность вибратора к работе, для чего, взявшись за шкив, покачать вал вибратора. Вал при этом должен качаться свободно, а дебалансы должны возвращаться в исходное положение. После этого произвести обкатку грохота вхолостую в течение двух часов. Колебания корпуса должны происходить в вертикальной плоскости, параллельной плоскости боковин.

Размах (двойная амплитуда) боковых колебаний корпуса не должен превышать 0,5 мм. Это проверяют следующим образом: точка 0,5—1 мм, нанесенная мелом в любом месте на торцевой поверхности корпуса, при установившемся режиме грохота должна описывать вертикальную прямую линию шириной 1—1,5 мм.

После двух часов непрерывной работы грохот необходимо остановить и проверить температуру смазки в подшипниках. Проверка производится техническим термометром с пределом изменения температуры от 0 до 100° С (цена деления 1° С), который устанавливают в корпус подшипника через отверстия, предназначенные для подачи смазки. Температура не должна превышать 80° С.

Эксплуатация грохотов типа ГИЛ. Для создания нормальных санитарно-гигиенических условий труда в помещении для грохотов должны быть обеспечены надлежащая общая вентиляция и отсос пыли. Смазку подшипников и очистку сетки производят только в период полной остановки грохота. Для очистки сетки применяют деревянные шуровочные приспособления и деревянные молотки.

Для достижения оптимального режима работы грохота в зависимости от свойств грохотимого материала сытового состава, крупности, влажности, требуемой эффективности грохочения подбирают:

угол наклона корпуса к горизонту;
направление вращения вала вибратора.

Наклон короба к горизонту следует принять *большим* при грохождении материала с повышенной влажностью. При необходимости можно повысить производительность грохота (то сопровождается снижением эффективности грохождения). Угол наклона короба грохота в подвешенном варианте осуществляется регулировкой длины подвесок. Грубая регулировка производится изменением длины тросов 4 в подвесках, тонкая (изменение угла в пределах 2°) — подтягиванием гаек стержней подвесок 12 (см. рис. 30).

Изменение угла наклона короба грохота в опорном варианте осуществляется перестановкой промежуточных опор.

Вал вибратора вращается в направлении ко ходу движения материала на сите грохота. Вращение вала в обратную сторону можно применять для повышения эффективности грохождения, которое достигается переключением фаз на двигателе.

В грохотах ГИЛ42 и ГИЛ43 регулируется число оборотов вала вибратора и амплитуда колебаний короба. Амплитуда регулируется также на грохотах ГИЛ52.

Необходимая частота вращения вала вибратора 900 об/мин достигается установкой на валу двигателя шкива с наружным диаметром $D_n = 236$ мм и 1000 об/мин — $D_n = 262$ мм.

При грохождении крупнозернистого материала рекомендуется максимальная амплитуда при минимальных числах оборотов, и наоборот, минимальная — при грохождении материала с мелкими зернами.

Самобалансные грохоты типа ГСЛ

Основные параметры самобалансных грохотов типа ГСЛ приведены в табл. 32.

Монтаж грохотов типа ГСЛ (на примере грохота ГСЛ72) начинают с установки опорных листов 1, пружинных опор (рис. 33) на заранее подготовленные опорные конструкции. Опорные листы необходимо выставить по уровню, строго горизонтально и закрепить болтами 2.

Короб, на цапфы которого одеты кронштейны 3, устанавливаются на пружины. Пружины опор должны быть одинаково поджаты (т. е. разница между высотой пружины в свободном состоянии и нагруженной массой короба во всех опорах должна быть одинаковой). Регулировка положения короба и величины поджатия пружин осуществляют установкой прокладок под листы опор 1. Далее необходимо установить на коробе привод, состоящий из двух спаренных вибраторов.

Для этого следует снять по две шпильки, стягивающие крышки каждого вибратора с корпусом, вибраторы установить на наклонных площадках в верхней части короба (рис. 33) таким образом, чтобы нижние торцовые поверхности их опирались на уголки 7, определяющие взаимное положение вибраторов. Зафиксировать вибраторы на площадках (каждый вибратор крепится четырьмя болтами). Вставить в отверстия вибраторов и опорных швеллеров

Техническая характеристика самобалансирующих грохотов типа ГСЛ

Параметры	ГСЛ42	ГСЛ62	ГСЛ72
Максимально допустимая крупность кусков грохотимого материала, мм	300×300×600 До 8	300×300×600 До 8	300×300×600 До 8
Угол наклона к горизонту, град	2	2	2
Сита:	1500	2000	2500
количество ярусов	5000	5000	6000
ширина, мм	7,5	10,0	15,0
длина, мм			
площадь, м²			
Размеры отверстий (щелей), мм:			
верхнего листового сита с отверстиями:			
круглыми	7; 12	7; 12	6—100
квадратными	10; 13	10; 13	—
нижнего щелевидного сита	0,5; 1,0; 1,6; 2,0	0,5; 1,0; 1,6; 2,0	0,5; 1,0; 1,6; 2,0
нижнего проволоочного сита типа «Волна»	0,7×1,9	0,7×1,9	0,7×1,9
Короб:			
амплитуда колебаний, мм	4,85	4,35	4,25
частота вынужденных колебаний в минуту	820	820	820
Электродвигатель:			
тип	КСО21-4	КСО21-4	КСО21-4
мощность, кВт	15	15	15
частота вращения, об/мин	1475	1475	1475
количество	1	1	1
Масса грохота без электродвигателя, рамы и брызгальца устройств, кг:			
в подвешенном исполнении	6750	7430	—
в опорном исполнении	6620	7300	11 990

шпильки 13 (по 6 шт. на вибратор), в нижней части которых находятся зашплинтованные корончатые гайки. После установки контрольных шайб 8 произвести затяжку соединений гайками 9 с помощью ключа, который входит в комплект инструмента, поставляемого с грохотом. Момент затяжки должен составлять

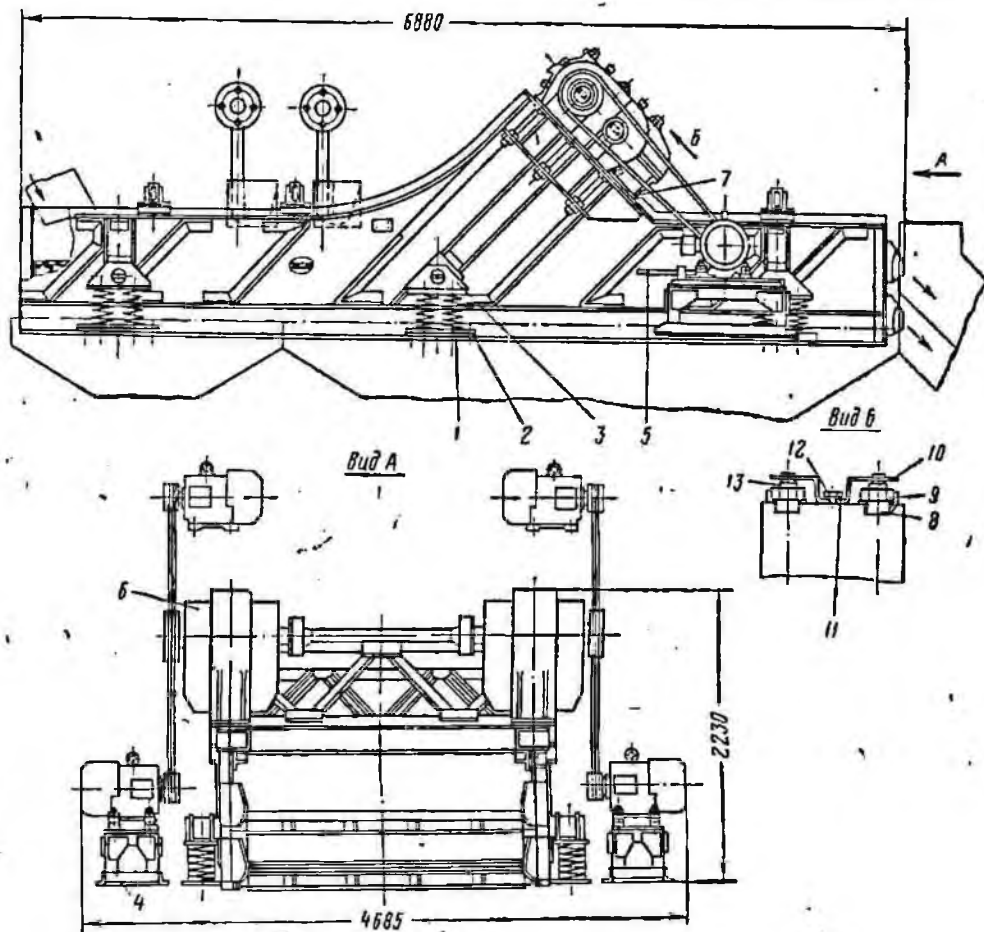


Рис. 33. Самобалансный грохот ГСИ72

112 кгм, что соответствует усилию двух человек (≈ 60 кг), приложенному на плече 1900 мм.

Резьбу гаек необходимо предварительно покрыть солидолом или жировой смазкой 1—13. Операция затяжки является наиболее ответственной при установке привода, так как от ее правильного выполнения во многом зависит работоспособность вибраторов. Необходимо отогнуть лепестки шайб 8 на корпус вибратора 6 и грань гайки 9, т. е. законтрить эти гайки, установить скобы 10, надев их на квадраты шпилек 13; зафиксировать скобы болтами 12, которые, в свою очередь, законтрить шайбами 11. Затем произвести соединение валов вибраторов (рис. 34), для чего

отсоединить полумуфты 1 от полумуфт 2, сняв крышки 3, надеть их на промежуточный вал 4; надеть полумуфты 1 на вал 4; вставить кольца 5 с таким расчетом, чтобы шпоночные пазы 6 полумуфт 1 находились на одной прямой.

Вал, собранный таким образом, необходимо установить между вибраторами, надеть полумуфты 1 на шпонки полумуфт 2, соединить болтами эти полумуфты и крышки 3.

Для правильной работы грохота важно, чтобы у соединенных вибраторов положение дебалансов 7 на соосных валах было соответственно одинаковым, т. е. чтобы их центры тяжести лежали

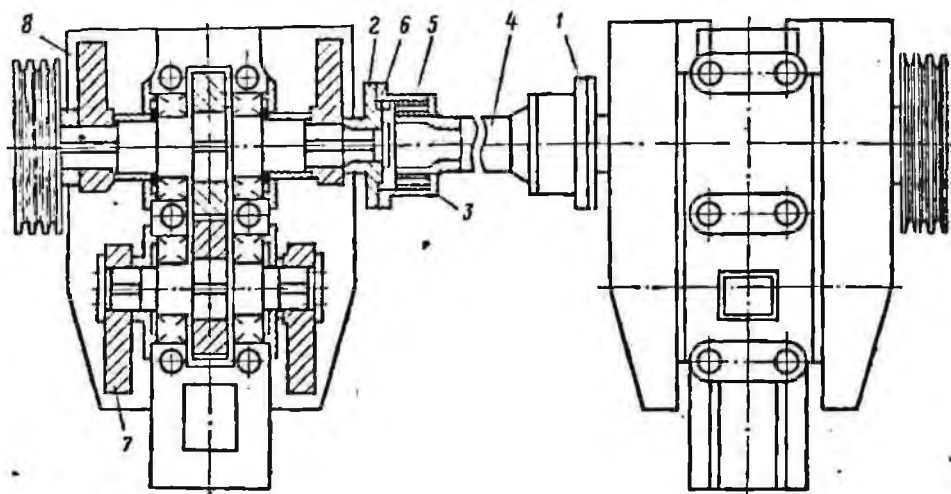


Рис. 34. Вибратор самобалансного грохота ГСЛ72

в одной диаметральной плоскости. На смонтированном приводе необходимо установить кожухи 8, укрепить на фундаменте подмоторные рамы 4 (см. рис. 33), на которые установить электродвигатель со шкивами. Надеть клиновые ремни на шкивы и произвести их натяжение винтами 5 (см. рис. 33).

Электродвигатели можно расположить и под грохотом, как показано на виде А. При этом габаритный размер грохота по ширине 4685 мм уменьшается до 3630 мм. Но такое расположение двигателей требует дополнительных площадок над грохотом. В обоих случаях ось, соединяющая центры шкивов, должна быть перпендикулярна направлению колебаний и составлять с плоскостью сита угол 45° .

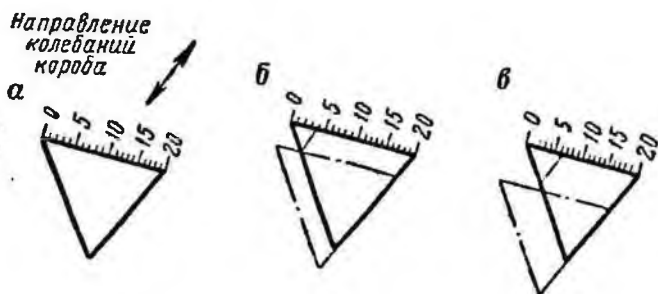
Изготовление и монтаж ограждений клиноременных передач, а также воронок для подрешетного продукта, желобов (подводящих материал на грохот и отводящих подрешетные продукты) производит предприятие, эксплуатирующее грохот.

Эксплуатация грохотов типа ГСЛ. Работоспособность смонтированного грохота проверяется посредством обкатки его вхолостую. Перед обкаткой грохота необходимо в корпус вибраторов залить по 15 л масла АК-15 (ГОСТ 1862—63).

С завода вибраторы отправляют без масла, законсервированные ингибиторной смазкой НГ-203Б (ГОСТ 12328—66). Перед-залпв-кой масла в вибраторы расконсервировать их не следует. Не вклю-чая электродвигателя, необходимо проверить готовность вибра-тора к работе, для чего, взявшись за шкив, провернуть вал вибра-тора. Вал при этом должен качаться свободно без заеданий, дебалансы должны возвратиться в исходное положение. Темпера-тура смазки в вибраторах после двух часов непрерывной работы не должна превышать температуру окружающей среды более чем на 45°C . При работе грохота не должно быть боковых колебаний короба.

Рис. 35. Схема опре-деления амплитуды колебаний грохота с помощью мерного клина:

а — вид мерного клина при неработающем грохоте; б — видимое изображение при амплитуде колебаний 4 мм; в — видимое изображение при амплитуде колебаний 7 мм



Амплитуда колебаний короба проверяется с помощью мерных клиньев, укрепленных на концах боковых поверхностей короба, как показано на рис. 35.

Короб грохота должен быть установлен горизонтально или под углом до 8° к горизонту. Короб располагают наклонно, когда требуется повысить производительность, но с увеличением угла наклона понижается эффективность обезвоживания.

При эксплуатации грохота необходимо периодически контролировать температуру нагрева смазки вибраторов. Первая замена масла в вибраторах должна быть произведена после 100 ч работы грохота с целью устранения загрязнений, появившихся от притирки зубчатых колес. Последующие замены необходимо производить в зависимости от режима работы грохота.

При работе грохота в две смены полную замену масла в вибраторах необходимо производить через 1 месяц работы. При работе грохота в одну или три смены срок замены должен быть соответственно изменен. К замене масла следует приступать после трех часов работы вибраторов (когда масло полностью разогреется).

Замену следует осуществить в следующем порядке:

очистить корпус вибратора снаружи;

вывернуть спускную пробку и слить отработанное масло;

вывернуть спускную пробку, открыть наливное отверстие;

налить в корпус легкое масло, например веретинное (нельзя применять для этой цели керосин или бензин). Количество масла, употребляемого для промывки, должно быть на 25% больше количества масла для смазывания;

запустить грохот и дать возможность проработать ему 15 мин;
 выключить грохот и слить промывочное масло;
 налить в корпус вибратора свежее рабочее масло до нормального уровня (примерно 15 л), под которым подразумевается средний уровень между верхней и нижней чертами на щупе.

Кроме того, в период эксплуатации грохота необходимо:
 периодически в течение смены контролировать на слух равномерность шума при работе грохота;

проверять амплитуду колебаний корпуса;

следить за креплением сит, натяжением клиновых ремней привода и наличием смазки в вибраторах.

Цилиндрические грохоты типа ГЦЛ

Цилиндрические грохоты с рабочим органом в виде многозаходной спирали разработаны институтом УкрНИИУгледобогатения и выпускаются заводом угольного машиностроения им. Пархоменко (г. Караганда).

Расстояние между витками спирали определяет размер кусков подрешетного продукта (табл. 33).

Таблица 33

Техническая характеристика грохотов типа ГЦЛ

Параметры	ГЦЛ1	ГЦЛ3
Максимально допустимая крупность кусков загружаемого материала, мм	До 250	400×500×500
Максимальная ориентировочная производительность при наибольшей ширине щелей спиральной рабочей поверхности, т/ч	400	1000
Угол наклона оси барабана к горизонту, град	8	8
Ширина щелей между витками спиральной рабочей поверхности, мм	50; 70; 100	100; 150; 200
Рабочая длина барабана, мм	1500	2860
Диаметр рабочей поверхности барабана (внутренний), мм	1200	1700
Частота вращения барабана, об/мин	11	9,26
Электродвигатель:		
тип	КОМ32-6	BAO52-6
мощность, кВт	4,5	7,5
частота вращения вала, об/мин	950	970
Габаритные размеры, мм:		
длина	3750	5760
ширина	1750	2660
высота	2400	3460
Масса грохота, кг	3200	8963

Монтаж грохота ГЦЛ3. Место установки грохота должно быть оборудовано подъемным средством грузоподъемностью не менее 10 т и иметь достаточную площадь для замены барабана.

Для наблюдения за грохотом, обслуживания, замены элементов рабочей поверхности необходимо оставить свободное пространство со стороны разгрузки грохота не менее 1500 мм, с боковых сторон и сверху не менее 1000 мм.

Загрузочные устройства необходимо заблокировать с пускателем грохота таким образом, чтобы при включении первым включался грохот, а при выключении первым выключалось загрузочное устройство.

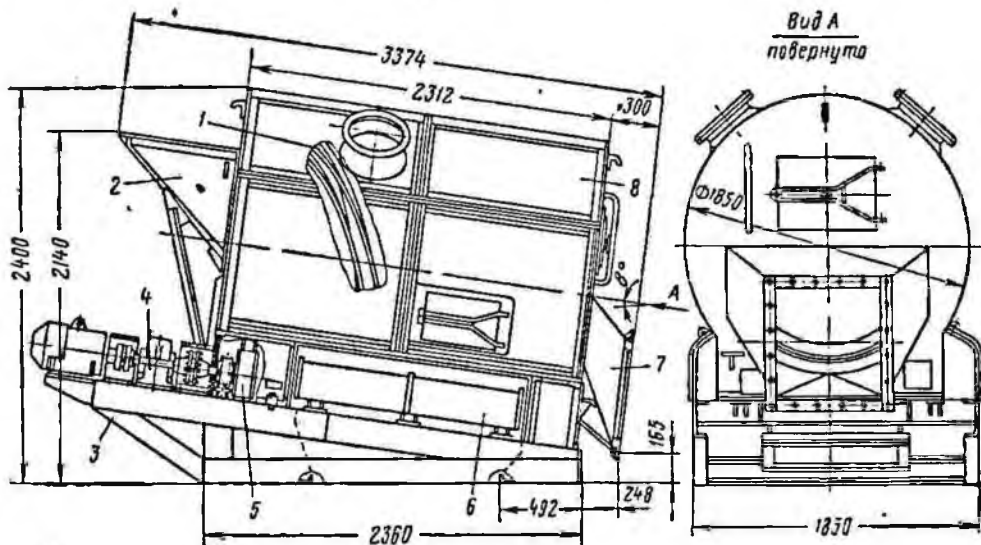


Рис. 36. Цилиндрический грохот ГЦЛЗ:

1 — барабан; 2 — загрузочная течка; 3 — рама; 4 — привод; 5 — каток; 6 — кожух; 7 — разгрузочная течка; 8 — ограждение

Место монтажа (перекрытие, на котором монтируется грохот) должно быть проверено на прочность путем расчета.

Грохот (рис. 36) должен устанавливаться на горизонтальную площадку. После установки и закрепления рамы горизонтальность опорной ее поверхности проверяется по уровню.

Если грохот по каким-либо причинам не может быть доставлен на место монтажа в собранном виде, его разбирают на отдельные узлы и монтируют в следующей последовательности:

раму совместно с катками и упорными роликами устанавливают на перекрытие и закрепляют фундаментными болтами; на катки устанавливают барабан и проверяют правильность его установки;

устанавливают секции ограждения;

заземляют электродвигатель, кожух и раму грохота;

подключают к патрубкам вентиляционную систему;

проверяют (осматривают) герметичность ограждения и уплотнительных устройств.

После окончания монтажа производят проверку правильности его выполнения. Если грохот собран и смонтирован правильно,

Основные работы по проверке технического состояния грохота ГЦЛЗ

Узлы, инструменты, приборы и оборудование. Место и время проверки	Технически требования
Правильность положения барабана на катках Регулировку следует производить при помощи регулировочных винтов упорных роликов Надежность затяжки болтов крепления привода и катков Правильное положение катков	Бандажи барабана должны по всей ширине опираться на все четыре катка. Сход бандажа с катка не допускается
Крепление решеток к трубам барабана Проверяется методом осмотра и остукивания	Образующие бандажей и катков должны совпадать за полный оборот барабана. Ослабление болтовых соединений не допускается. Все катки должны легко вращаться
Наличие смазки в подшипниках и редукторе Проверяется пунцом или по контрольным пробкам Наличие заземления	При ударах молотка болтовые соединения должны издавать сплошной металлический звук, без дребезжания Смазка должна находиться на уровне верхних контрольных отметок
Направление вращения барабана	Должны быть заземлены электродвигатель, кожух и рама
Нагрев подшипников. Проверяется термометром (ГОСТ 2933—62) после двух часов работы Пробуксовка приводных катков Проверяется осмотром под нагрузкой	Барабан должен вращаться по часовой стрелке, если смотреть со стороны разгрузки Температура подшипников не должна превышать температуру окружающей среды более чем на 40° С Пробуксовка катков не допускается
Наличие футеровки труб барабана Проверяется осмотром	Трубы барабана должны быть предохранены от истирания резиной и металлическими секторами

он должен работать без посторонних шумов. Регулировке подлежат грохоты, которые к месту монтажа поступили в разобранном виде.

Барабан должен свободно без заеданий вращаться на четырех катках, при этом образующая поверхность бандажей барабана должна соприкасаться с образующей четырех катков за полный оборот барабана. Два упорных катка должны опираться роликами на боковую поверхность бандажу у загрузки, не нарушая положения барабана относительно катков. Загрузочная точка 2 при работе грохота не должна соприкасаться с вращающимися частями барабана.

Грохот весьма прост в эксплуатации и в специальном регулировании и настройке не нуждается.

Основные работы по проверке, которые необходимо выполнять при эксплуатации грохота, приведены в табл. 34.

§ 7. Монтаж и эксплуатация обезвоживающих элеваторов

Обезвоживающие элеваторы (табл. 35) изготавливаются двух типов: с сосредоточенным расположением ковшей на каждом шаге цепи (Э04С, Э06С); с рассредоточенным расположением ковшей через шаг цепи (Э04; Э06; Э010).

Монтаж обезвоживающих элеваторов. Монтаж должен начинаться после предварительной разбивки главных осей — ориентиров элеватора и проверки соответствия и качества фундаментов либо опорных конструкций подводной части элеватора.

Монтаж начинают с нижней секции, которая должна быть выставлена на опорной раме или фундаменте точно по осям элеватора. Затем с помощью монтажных болтов производится стыковка промежуточных секций, переходной секции, открытых секций и приводной головки. Промежуточные секции в местах перекрытий устанавливают на специальных опорах, которые закрепляют фундаментными болтами.

Корпус элеватора должен быть точно выверен по осям и углу наклона и временно закреплен в проемах перекрытий. Опоры на перекрытиях устанавливают согласно установочным чертежам. После того как опоры будут помещены на свои места и отрегулированы прокладками, необходимо произвести подливку и закрепление их фундаментными болтами. Через 3—4 дня после подливки необходимо произвести приварку опоры приводной головки и мест стыка всех секций.

После окончательной установки корпуса отклонение оси элеватора и прямолинейность направляющих угольников с полосами трения на них на длине 20 м допускается не более ± 5 мм. После окончательной установки корпуса элеватора приступают к заводке ковшовой ленты.

Техническая характеристика обозначивающих элементов

Параметры	Типоразмеры				
	Э04	Э04С	Э06	Э06С	Э010
Ширина, мм	400	400	650	650	1000
Производительность при насыпной массе, равной 1 т/м ³ , т/ч	9,0—38	15—61,5	19—77	31—123	48—193
Скорость движения ковшовой ленты, м/с		0,17; 0,25; 0,38			
Угол наклона к горизонту, градус		65 ⁺¹⁰ ₋₈			
Емкость ковша, не менее, л	20	16	50	40	125
Шаг ковша, мм	640	320	800	400	800
Коэффициент заполнения ковшей			0,5—0,9		
Тип тяговой цепи			Пластинчатая втулочная (специальная)		
Шаг цепи, мм	320	320	400	400	400
Масса 1 м ковшовой ленты, кг	85	120	145	193	203
Тип предохранительной турбомуфты			ТП		
Тип дополнительной зубчатой пары					
Число зубьев дополнительной зубчатой пары	25; 120	25; 120	22; 106	22; 106	20; 120
Модуль зубьев (по ГОСТ 9563—60), мм	10	10	12	12	14
Редуктор	ЦДЗ	ЦДЗ	ЦД5	ЦД5	ЦД5
Длина элеватора, м		До 30	До 30	До 25	До 25

Примечание. Минимальная производительность указана при скорости движения ковшовой ленты 0,17 м/с, коэффициенте заполнения ковшей 0,5; максимальная — при скорости движения ковшовой ленты 0,38 м/с и коэффициенте заполнения ковшей 0,9.

Перед сборкой ковшовой ленты необходимо произвести ее тщательный осмотр, которому подлежат все детали, цепи и ковши. Шарпиры цепи в сторону огибания по звездочкам должны легко проворачиваться на 90° без заедания. Замена ковшовой ленты производится отдельными кусками (рис. 37), которые собираются в общую цепь на направляющих элеватора с помощью грузоподъемных механизмов (крана или лебедки) грузоподъемностью при максимальной длине элеватора и угле наклона 75° равной для элеватора ЭО4—2900 кг; ЭО4С — 4160 кг; ЭО6 — 4770 кг; ЭО6С — 6300 кг и ЭО10 — 5680 кг.

При огибании ковшовой лентой приводных звездочек наружные пластины цепи должны укладываться на грани, имеющие реборды. Ковшова́я лента на направляющих должна располагаться симметрично несущим угольникам, исключая трение торцов валиков о вертикальные полки.

После сборки ковшовой ленты все соединительные кольца и пальцы отдельных кусков цепи должны быть обварены электродами УОНИ-13/55.

Перед включением электродвигателя ковшова́я лента должна быть прокручена вручную с помощью рукоятки, надетой на ведущий вал редуктора. Пользоваться рукояткой при монтаже и демонтаже ковшовой ленты запрещается. После заводки ковшовой ленты приступают к регулировке приводной головки.

При этом должно быть обеспечено:

нормальная затяжка болтовых соединений редуктора, электродвигателя и кронштейнов;

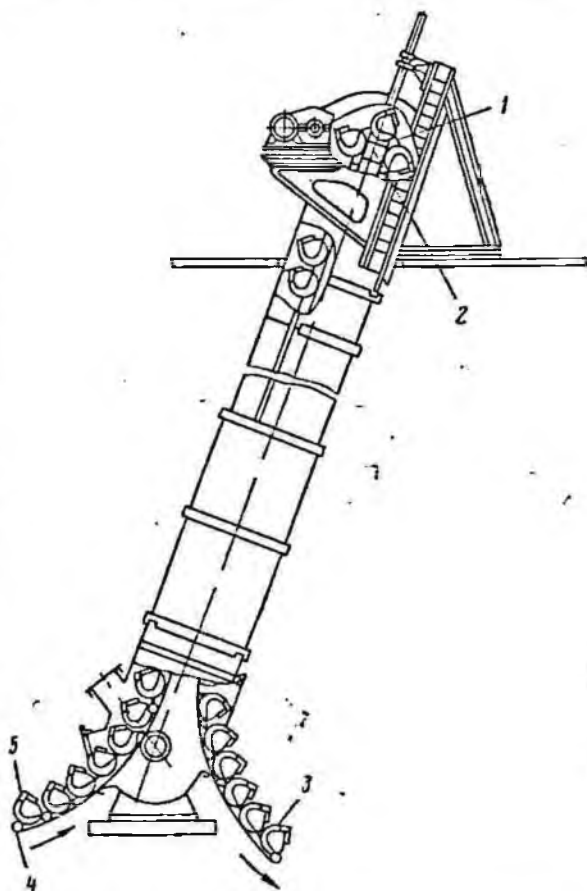


Рис. 37. Схема замены ковшовой ленты элеватора:

1 — место замыкания ковшовой ленты; 2 — вращение приводного вала осуществляется съемной рукояткой, одетой на конус быстроходного вала редуктора; 3 — вывод изношенной ковшовой ленты; 4 — место стыковки отрезков ковшовой ленты; 5 — заводка новой ковшовой ленты

необходимое пятно контакта на зубьях дополнительной зубчатой пары; протяженность контактного отпечатка (пятна касания по краске) на зубьях должна быть не менее 40% по длине зуба и не менее 30% по высоте;

потребное количество масла в кожухе дополнительной зубчатой передачи; заливку масла необходимо контролировать по специально предусмотренному уровню, смонтированному на кожухе;

потребное количество масла в турбомуфте и корпусе редуктора.

После окончания монтажа элеватор необходимо опробовать холостую в течение 24 ч. В течение этого периода шарниры тяговой цепи и направляющие полосы должны периодически смазываться отработанным маслом для лучшей приработки.

Ковшовая лента должна работать плавно и бесшумно, не должно наблюдаться передергивания и заедания цепи, задевания ковшей и цепи за выступающие части.

После окончания холостой обкатки пускают элеватор под нагрузкой. При работе элеватора под нагрузкой необходимо периодически его останавливать и осматривать и подтягивать все крепежные болты. Обкатка под нагрузкой должна производиться в течение двух смен, после чего элеватор подготовлен к эксплуатации.

Эксплуатация обезвоживающих элеваторов. Обезвоживающие элеваторы на углеобогатительных фабриках работают в тяжелых условиях, что предъявляет повышенные требования к их эксплуатации. Только своевременное и качественное выполнение технического обслуживания и ремонта может обеспечить бесперебойную работу элеваторов.

Нагрузка на элеватор должна быть равномерной в пределах, указанных в паспорте, а датчик скорости элеватора должен быть заблокирован с управлением отсечной машины для отключения ее при «забуривании» ковшовой ленты в нижней секции при обрыве цепи.

Перегрузка элеватора вызывает дополнительные сопротивления движению ковшовой ленты, перегрев масла турбомуфты, отключение электродвигателя при обрыве цепи. Остановку элеватора разрешается производить только при разгруженных ковшах, т. е. при полном извлечении транспортируемого материала из нижней секции. Для нормальной работы ловителей в процессе эксплуатации необходимо периодически промывать водой корпуса панелей от зависшего на них материала.

В случае ослабления или вытягивания цепей последние должны быть натянуты до отказа с последующим ослаблением натяжных винтов на величину снижения привода до 10 мм.

Натяжение ковшей производят в следующей последовательности:

освобождают все болты, крепящие кронштейны с направляющими, после чего производят натяжку цепей одновременно обоими винтами;

после натяжки ковшовой ленты все крепежные болты и гайки должны быть вновь затянуты до отказа.

При техническом обслуживании элеваторов необходимо прежде всего обращать внимание на состояние ковшовой ленты, крепежных болтов приводной головки и ловителей, наличие масла в редукторе и в кожухе дополнительной зубчатой пары.

При установке редуктора, турбомуфты и электродвигателя после замены или ремонта необходимо правильно отцентрировать эти узлы.

§ 8. Монтаж скребковых конвейеров

Заводом угольного машиностроения им. Пархоменко (г. Ворошиловград) изготавливаются скребковые конвейеры пяти типоразмеров закрытого (шифр КСГС) и открытого (шифр КСОС) исполнений с технической характеристикой, приведенной в табл.36.

Таблица 36
Техническая характеристика скребковых конвейеров

Параметры	КСГС КСОС	КСГС КСОС	КСГС КСОС	КСГС10 КСОС10	КСГС12 КСОС12
Ширина скребка, мм	500	650	800	1000	1200
Высота скребка, мм	200	250	250	320	400
Скорость движения скребковой цепи, м/с	0,50 или 0,63				
Расчетная производительность, не более, т/ч	150	250	310	490	740
Шаг цепи, мм	320	320	320	400	400
Шаг скребков, мм	640	640	640	800	800
Мощность, потребляемая электродвигателем, кВт	До 30	До 55	До 75	До 75	До 75
Крупность транспортируемого материала, не более, мм	200	300	300	300	400
Длина конвейера, м	От 8 до 60	От 8 до 60	От 8 до 60	От 8 до 50	От 8 до 40

Примечание. Расчетная производительность конвейеров устанавливается по насыпной массе материала 0,85 т/м³.

Монтаж скребковых конвейеров. Непосредственно перед монтажом следует осмотреть узлы конвейера (рис. 38) и устранить повреждения, которые могли возникнуть при погрузке, транспортировке и разгрузке. Монтаж необходимо начинать только после разборки главных осей-опор конвейера.

Перед монтажом необходимо проверить соответствие качества фундаментов или других опорных плоскостей, на которые будет

установлен конвейер. В зависимости от условий монтаж начинают с установки приводной или натяжной секции. С этой секцией стыкуется промежуточная и т. д. Все секции на стыках крепятся друг с другом болтами. Люки в верхнем укрытии под загрузочные точки выполняют по месту при монтаже.

Приводная, натяжная и промежуточные секции к основанию крепятся фундаментными болтами. После сборки секции отклоне-

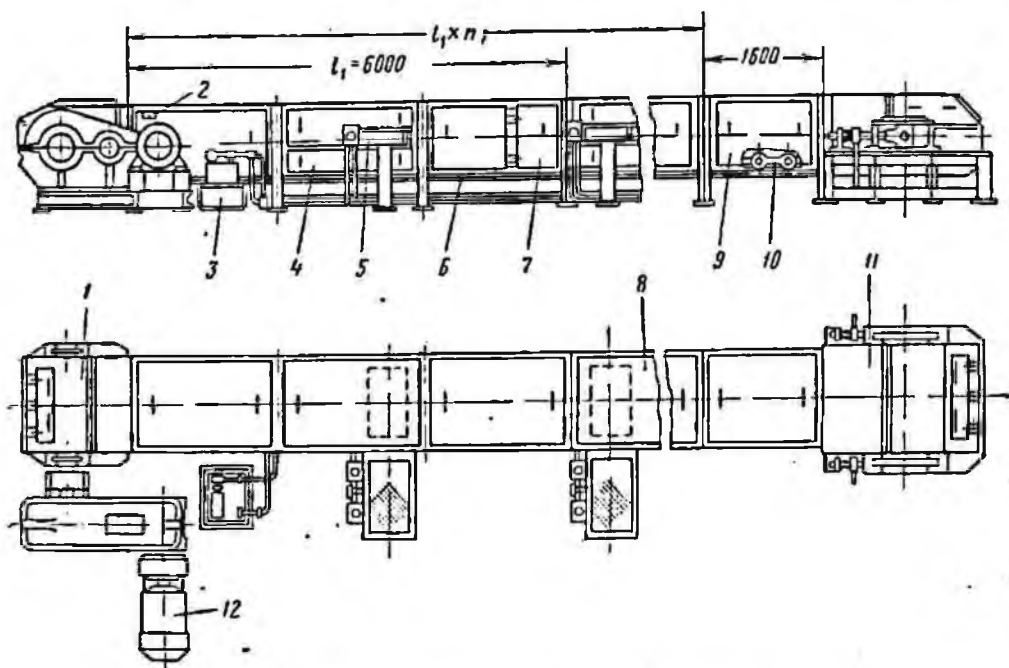


Рис. 38. Скреповый конвейер типа КСГС:

1 — приводная секция; 2 — установка датчика скорости; 3 — гидрооборудование; 4 — боковое укрытие; 5 — шибберный затвор (с дистанционным уплотнением); 6 — днаще; 7 — крышка люка; 8 — верхнее укрытие; 9 — дополнительная секция; 10 — тяговая цепь (втулочно-натяжная); 11 — натяжная секция; 12 — электродвигатель

ние оси конвейера от прямолинейности не должно быть более 3 мм на длине 1000 мм. На стыках направляющих полос уступ не должен быть более 1 мм. Отклонение направляющих полос от горизонтальной плоскости (волнистость) не должна быть более 1,5 мм со стороны торцов на длине 250 мм и 3 мм — в промежутках. При наклонном расположении конвейера привод необходимо устанавливать горизонтально. При сборке и соединении привода с приводной секцией необходимо выдержать соосность соединяемых валов. Крошштейны кожуха цепной или зубчатой муфты после их установки необходимо приварить к раме редуктора. После того как конвейер полностью собран, необходимо произвести подливку фундаментных болтов, а через 3—4 дня после их подливки произвести их затяжку. Затем следует произвести футеровку дна плитками из каменного литья, шлакоситалла или другими износостойкими материалами.

В местах загрузки материала днище должно футероваться чугунными или стальными плитками на уровне основных плиток. Монтаж футеровочных плиток производится на цементном растворе: одна часть цемента марки 400 и четыре части песка. После окопчания этих работ и отвердения футеровки монтируют скребковую цепь.

Каждый участок скребковой цепи перед сборкой необходимо осмотреть и устранить неисправности. К неисправностям относятся недостаточная затяжка болтов крепления скребка, деформация скребка, боковых листов и др.

Во время монтажа цепи и ее соединения натяжной вал должен стоять в крайнем ближнем к приводной секции положении. Соединив с помощью тали или специального приспособления обе ветви скребковой цепи, их необходимо натянуть. Натянутая скребковая цепь должна располагаться симметрично по отношению к направляющим полосам. При установке днищ на промежуточные секции необходимо обращать внимание на соответствие установки днищ с проемом с местами установки шиберов. Монтаж гидрооборудования необходимо начинать с центральной магистрали трубопроводов. §

Глава IV

СМАЗКА ОБОРУДОВАНИЯ

§ 1. Классификация технических масел и их свойства

Технические масла [38, 39] разделяют на: смазочные, гидравлические, электроизоляционные, разные специальные (рис. 39).

Смазочные масла, в свою очередь, по принципу выполняемой работы разделяют на:

конструкционные, которые должны рассматриваться как неотъемлемый элемент конструкции машины. Они служат для смазки поверхностей трения деталей машин;

технологические, применяемые при обработке металлов давлением и резанием с целью смазки и охлаждения инструмента и обрабатываемого материала. Масла для обработки резанием помимо смазочных функций должны обеспечивать интенсивный отвод тепла от режущих кромок инструмента.

Основное назначение смазочных масел — снизить износ и трение деталей машин. При этом главным является снижение (а по возможности — предотвращение) износа — важнейшего фактора, отрицательно влияющего на долговечность машин и их работоспособность.

Снизить трение при всей своей значимости является второстепенной функцией масла. Величина трения определяет энергетические потери в машинах, однако даже значительные потери в механизмах при всей их нежелательности обычно менее опасны, чем износ.

Помимо снижения износа и трения, масла должны отводить тепло из зоны трения, защищать от коррозии, обеспечивать герметичность узла трения, непрерывно очищать поверхности трения. Кроме того, масла должны сохранять работоспособность в широком диапазоне температур, давлений и скоростей, легко заполнять впадины и микронеровности на рабочих поверхностях; не вызывать взрывов и пожаров; не оказывать вредного влияния на материалы, из которых изготовлены детали машин. Способность масла выполнять и сохранять все эти функции длительное время определяется его эксплуатационными свойствами.

Эксплуатационные свойства масел разделяются на две группы.

Первая группа охватывает смазочные свойства, т. е. свойства, характеризующие способность масел обеспечивать работоспособность трущихся поверхностей максимальным снижением или предупреждением износа и трения.

Вторая группа эксплуатационных свойств охватывает общие физико-химические свойства масел: вязкость, плотность, тепловые свойства, вспениваемость, стабильность, эмульгируемость, коррозионность, моющие и другие свойства.

По отношению к смазочным свойствам, вторая группа свойств имеет подчиненный характер, тем не менее эти свойства должны

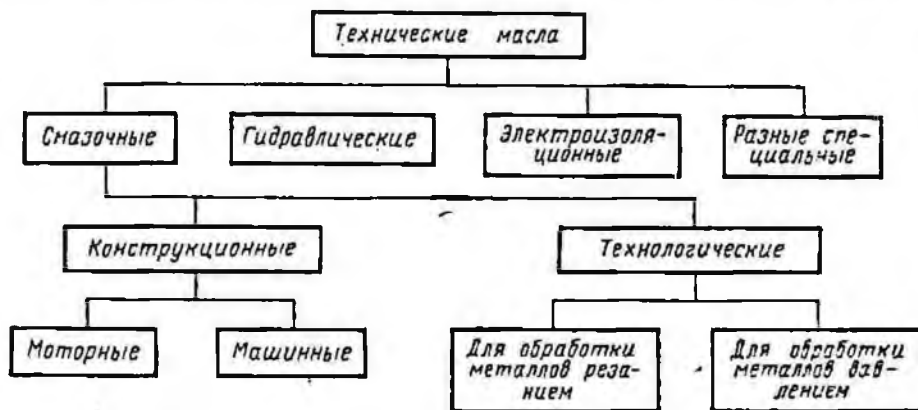


Рис. 39. Классификация технических масел по их применению

удовлетворять определенным нормам. Ввиду такого характера свойств масел этой группы их можно назвать служебными (вспомогательными) эксплуатационными свойствами.

Эту классификацию не следует понимать формально, резко отделяя одни свойства масел от других. В действительности многие свойства связаны одно с другим. Так, например, вязкость в одних случаях оказывает прямое, в других косвенное влияние на смазочные свойства.

Смазочные свойства масел. Оптимальный подбор смазочных масел позволяет значительно снизить износ деталей.

Изменение сорта смазочного масла увеличивает долговечность подшипников качения в 2—8 раз, а зубчатых передач — в 1,5—5 раз [39].

Износные свойства масла выражают его влияние на различные виды износа — истирание, задиранье, выкрашивание и т. д.

Фрикционные свойства масла выражают его влияние на величину коэффициентов трения и характер их зависимости от различных факторов, в частности скорости.

Служебные свойства масел, так как ее величина наиболее важным физическим свойством масел,

в первую очередь определяет возможность жидкостной смазки трущихся поверхностей. От вязкости масла зависят потери энергии на взбалтывание масла в механизмах, утечки через уплотнения, возможность прокачки через маслопроводы, скорость отстоя масел в резервуарах, скорость слива из емкостей.

В системе СГС вязкость выражается в паузах. Величину коэффициента динамической вязкости μ жидкостей выражают также в сантипуазах (сП), где $1 \text{ сП} = 0,01 \text{ П}$. В системе СИ динамическая вязкость имеет размерность $\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$, причем $1 \text{ П} = 0,1 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$.

В смазочной технике вязкость масел большей частью выражается в единицах кинематической вязкости.

Кинематическая вязкость ν представляет собой отношение динамической вязкости μ жидкости к ее плотности ρ

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}.$$

Физическая единица кинематической вязкости выражается в стоксах. Обычно применяют меньшую величину — сантистокс, равный 0,01 Ст.

Точных методов непосредственного измерения коэффициентов абсолютной или кинематической вязкости не существует. На практике применяются также единицы условной вязкости, измеряемой вискозиметром, работа которого основана на истечении жидкости через калиброванное отверстие определенного диаметра. В отечественной промышленности применяют вискозиметр Энглера, с помощью которого определяют время (t) истечения под собственной массой 200 см^3 испытуемой жидкости из цилиндрического сосуда через отверстие диаметром 2,8 мм при данной температуре [40]. Время t сравнивается с временем t_0 истечения из того же сосуда 200 см^3 воды при температуре 20°С . В соответствии с этим вязкость жидкости в градусах условной вязкости ($^\circ \text{ВУ}$) выражается отношением

$$\text{ВУ} = \frac{t}{t_0}.$$

Условную вязкость часто выражают также в секундах Энглера, которые показывают время истечения определенного объема жидкости из вискозиметра в секундах.

Вискозиметр Энглера применим для жидкостей с вязкостью не менее $1,1^\circ \text{ВУ}$. Перевод единиц условной вязкости в единицы кинематической производится для условной вязкости до 16°ВУ по таблице, приведенной в ГОСТ 33—66, а условной вязкости больше 16°ВУ по формуле

$$\nu_t = 7,4 \cdot 10^{-60} \text{ВУ};$$

где ν_t — кинематическая вязкость при температуре t , $\text{м}^2/\text{с}$.

На рис. 40 приведен график для пересчета динамической вязкости в условную [40].

Вязкость смазочных масел зависит от температуры и давления. В ГОСТах и ТУ на масла нормируется их номинальная кинематическая вязкость, т. е. при атмосферном давлении и некоторой условной температуре (обычно 50 или 100° С).

Механизм возникновения вязкости обусловлен тем, что при течении вязкой жидкости вдоль твердой стенки скорость движения ее слоев в результате торможения потока различна, вследствие чего между слоями возникает сила трения. Величина этой силы

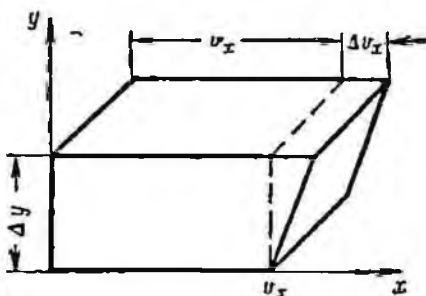
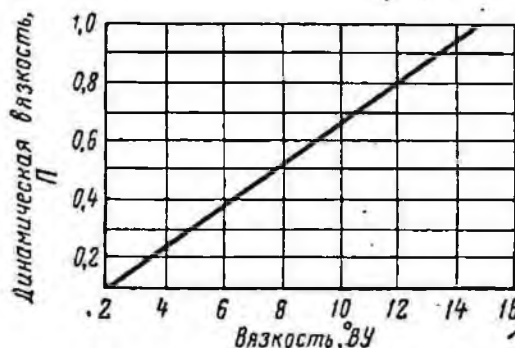


Рис. 40. График для пересчета динамической вязкости в условную

Рис. 41. К определению понятия вязкости

T (касательного напряжения) определяется из уравнения, выражающего закон жидкостного трения Ньютона;

$$T = \mu S \frac{dv_x}{dy}; \quad (52)$$

где μ — коэффициент динамической (или абсолютной) вязкости жидкости (масла);

S — площадь рассматриваемого слоя жидкости или стенки, соприкасающейся с ней;

dv_x/dy — градиент скорости сдвига по нормам к направлению потока x (рис. 41), т. е. изменение скорости по толщине слоя жидкости;

y — расстояние между слоями жидкости, измеренное перпендикулярно к направлению движения жидкости;

v — скорость движения жидкости.

Если $dv_x/dy = \text{const}$, т. е. перепад скорости жидкости поперек зазора постоянен, что имеет место при отсутствии градиента давления в слое жидкости, то профиль ее скорости поперек зазора является линейным и формула (52) будет иметь следующий вид [40, 41]:

$$T = \frac{\mu v_{\text{ск}}}{h} S, \quad (53)$$

где $v_{\text{ск}}$ — скорость скольжения (т. е. скорость одной поверхности относительно другой);

h — толщина слоя жидкости (зазора).

Наименее вязкие сорта обычных нефтяных масел для закрытых механизмов имеют номинальную кинематическую вязкость при 100°C , равную 1,5—2 сСт, наиболее вязкие — 60—70 сСт. Этот диапазон вязкостей обеспечивает все практические потребности смазки углеобоганительного оборудования жидкими смазочными материалами.

С повышением температуры вязкость масла уменьшается, с увеличением давления возрастает.

Плотность — отношение массы тела к его объему (г/см^3). Плотность нефтяных масел при атмосферном давлении и температуре 20°C колеблется в пределах 0,82—0,96. Некоторые синтетические масла имеют плотность выше единицы.

Сжимаемость нефтяных масел сравнительно не высокая, например, при давлении 4000 кгс/см^2 их объем уменьшается на 15—20% [42].

Тепловые свойства масел оказывают влияние на их смазочные свойства, поскольку они определяют условия теплоотвода от поверхности трения. С увеличением теплоемкости и теплопроводности масла может быть допущена более высокая температура в зоне контакта трущихся поверхностей.

Коэффициент объемного расширения показывает степень расширения масел при нагреве. Его учитывают при расчете емкости резервуаров смазочных систем. Величина этого коэффициента зависит от плотности масла. С уменьшением плотности он увеличивается, поэтому маловязкие масла обычно характеризуются большим расширением, нежели масла высокой вязкости.

Застывание. При понижении температуры масла его вязкость будет возрастать, пока не произойдет его застывание. Характер и температура застывания различны в зависимости от типа масел. Одни масла до полного затвердения сохраняют однородность состава. Другие же, в основном содержащие парафиновые углеводороды, застывают в результате выделения при охлаждении твердой фазы — кристаллов парафина, которые при более высокой температуре находятся в масле в растворенном состоянии. Температура застывания масла тем выше, чем больше содержание в нем парафиновых углеводородов с высокой температурой плавления.

Стабильность. Под стабильностью смазочного масла подразумевается его способность сохранять без изменения свои свойства в процессе эксплуатации. Стабильность следует считать важнейшим служебным свойством масла после вязкости, поскольку это свойство определяет его долговечность, т. е. срок службы в объекте смазки. Чем меньше стабильность масла, тем чаще должна производиться его смена.

Вспениваемость является вредным свойством масла, так как препятствует выполнению смазывающих функций. При вспенивании масло выбивается наружу через уплотнения, ухуд-

шается несущая способность масляного слоя, ускоряется его окисление, ухудшаются условия перекачивания масла по маслопроводам.

Эмульгируемость. В процессе эксплуатации оборудования на углеобогащительных фабриках в масло может попадать вода. Некоторые масла в смеси с водой могут образовывать водо-масляные эмульсии. При этом уменьшается вязкость масла, что ухудшает условия для жидкостного трения, увеличивается износ смазываемых деталей.

Для смазочных масел важен целый ряд других служебных свойств, например, воздействие на неметаллические материалы (главное значение имеет здесь совместимость масла с уплотнениями), липкость и нерастекаемость; смываемость и моющие свойства; негорючесть (горючестью обладают все масла, например нефтяные и синтетические, не горючие только фтор и фторхлоруглеродные масла); нетоксичность (масла должны быть безвредны для обслуживающего персонала и не иметь неприятных запахов). Большинство сортов смазочных масел принадлежит к числу нефтяных.

При контакте масла с воздухом происходит его окисление, изменяется химический состав. Отдельные свойства изменяются в такой степени, что масло оказывается не способным выполнять свои функции. Поэтому необходимо строго соблюдать периодичность замены смазки.

Для увеличения срока службы масел их следует хранить в закрытых емкостях, тщательно фильтровать, заменять маслопроводные трубки из меди и латуни стальными или лучше алюминиевыми.

§ 2. Противозадирные присадки к маслам

Для улучшения эксплуатационных свойств масел в них вводят присадки. Масло с присадками называется легированным, а его нелегированная основа — базовым маслом.

Присадки улучшают режим трения, поэтому интерес к ним в последнее время все больше возрастает [43]. Это обусловлено не только форсированием режимов работы машин, но и борьбой за экономию материалов, запасных частей и увеличение межремонтных периодов оборудования. К маслам добавляют вещества, сочетание которых сообщает маслам противозадирные, противозадирные и антифрикционные свойства.

В качестве противозадирных присадок используют органические соединения, содержащие галоген (преимущественно хлор) и серу, в качестве противозадирных присадок — осерненные жиры, некоторые сернистые соединения, а также эфиры и соли кислот фосфора, в качестве антифрикционных присадок — осерненные и неосерненные жиры, жирные амины и их производные.

Иногда добавляют присадки, сообщающие маслам моющие свойства, а также деэмульгаторы, пеногасители, диспергирующие присадки, добавки, предотвращающие образование шлама, нагаров и осадков на поверхностях деталей и в баках.

Из присадок, улучшающих смазочную способность масел, наиболее распространены противозадирные и противоизносные, повышающие долговечность деталей машин [39, 43].

Твердые смазки. Гидродинамический и граничный режимы трения обеспечивают в большинстве случаев нормальную эксплуатацию трущихся элементов машин. Однако с созданием целого ряда новых видов машин, в том числе машин, работающих при особо низких или сверхвысоких скоростях, создаются условия, не позволяющие использовать жидкие или консистентные смазки.

В этих условиях применяют различные по составу, структуре и свойствам твердые смазочные материалы.

Различают следующие типы твердых смазок: слоистые (графит и др.); органические соединения (мыла, воски и жиры); мягкие металлы (пндий, свинец, олово); полимерные пленки; различные пластичные материалы и др. [37].

Твердые смазки на углеобогатительных фабриках не применяют.

§ 3. Гидродинамическая и граничная смазки.

Виды трения в узлах машин

При умеренных скоростях и давлениях поверхности, скользящие друг по другу, часто разделены сплошной пленкой смазки. Если толщина масляного слоя превышает высоту микронеровностей двух сопряженных поверхностей, внешнее трение твердых тел переходит во внутреннее трение смазочного слоя. В этом случае поведение жидкости будет подчиняться законам гидродинамики, и поэтому такое трение получило название гидродинамического.

Н. П. Петров впервые объяснил физический механизм трения смазанных поверхностей и указал, что величина силы трения зависит не только от свойств смазывающей жидкости, но и от толщины масляного слоя между трущимися поверхностями. При гидродинамическом трении в идеальном случае износ поверхности полностью отсутствует. При более высоких нагрузках и меньших скоростях гидродинамический слой становится меньше высоты неровностей. При этом в местах контакта поверхности разделены толщиной в одну или две молекулы [44]. Трение в этих местах относительно велико и наблюдается слабый износ. Такое трение относится к области граничной смазки (рис. 42).

Точную границу между гидродинамической смазкой и граничной определить трудно, так как переход одного вида в другой происходит почти незаметно. По мере того как снижается скорость или возрастает нагрузка, толщина смазочного слоя стано-

вятся все меньше и меньше, а число неровностей, нарушающих сплошность гидродинамического слоя, становится все больше и больше, т. е. постепенно процент граничной смазки возрастает, а гидродинамической уменьшается.

Помимо гидродинамического (жидкостного) и граничного трения в зависимости от наличия смазки и характера ее участия в процессе различают также чистое, сухое, полусухое и полужидкостное трение [37, 45].

Чистое трение возникает на поверхностях, освобожденных от адсорбированных пленок или химических соединений. Чистое трение на практике не встречается, оно может быть обеспечено только в вакууме или нейтральном газе. Сухое трение возникает при отсутствии смазки или загрязнений между трущимися поверхностями. Сухое трение встречается в тормозах, фрикционных передачах, в узлах машин текстильной, пищевой, химической промышленности, где смазка во избежание порчи продукции либо по соображениям безопасности недопустима [45]. Полусухое трение — смешанное трение (одновременно граничное и сухое) с преобладанием сухого контакта. Полужидкостное трение — это смешанное трение, когда одновременно возникают жидкостное и граничное или жидкостное, граничное и сухое трение.

Смазка основных узлов углеобога т е л ь н ы х м а ш и н. Основными узлами оборудования углеобога т и т е л ь н ы х ф а б р и к, подвергающимися смазке, являются подшипники качения (и значительно реже подшипники скольжения), зубчатые передачи — главным образом в редукторах (и реже открытые), червячные передачи, цепные передачи, винтовые пары, золотниковые устройства (пульсаторы отсадочных машин), реже кулачковые механизмы, муфты и другие узлы.

§ 4. Смазка зубчатых передач

При зацеплении шестерен возникают два вида движения — качение и скольжение.

Механизм смазки зубчатых передач заключается в следующем. При вращении шестерен в присутствии масла образуется гидродинамический клин, стремящийся разделить зубья толстым смазочным слоем. С увеличением нагрузки возрастает давление в зоне контакта зубьев, что ведет к уменьшению толщины разделяющего масляного слоя. Наконец, нагрузка увеличивается до такой степени, что жидкостная пленка уже не в состоянии пред-

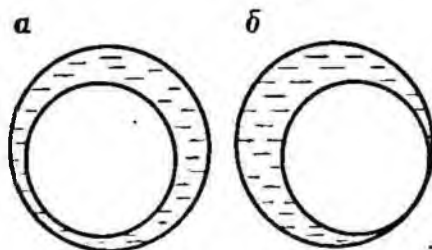


Рис. 42. Положение шейки вала в подшипнике при смазках:

а — гидродинамической; б — граничной

отвращать соприкосновение контактных точек сопряженных поверхностей трения, в результате чего происходит износ рабочих поверхностей шестерен.

Смазку зубчатых передач [46] применяют для:

снижения износа шестерен (или других, используемых в редукторах пар трения); снижения трения, а следовательно, и потерь мощности на трение; отвода тепла; предотвращения коррозии; снижения шума, вымывания загрязняющих примесей; выполнения посетителя присадок; выполнения роли конструкционного материала, так как смазочный материал имеет важное значение при определении стойкости зубчатых передач против поломки основного износа (питтинга) и сваривания.

В цилиндрических редукторах, применяемых для оборудования углеобогащительных фабрик, обычно смазка шестерен производится окунанием, а подшипников — разбрызгиванием. Объем масляной ванны выбирается в пределах 0,35—0,7 л на 1 кВт передаваемой мощности [47]. Емкость масляной ванны в редукторе должна быть достаточной для обеспечения необходимого отвода тепла к стенкам корпуса редуктора.

В масляную ванну рекомендуется погружать лишь тихоходные звенья редуктора, т. е. колеса, а не шестерни. Погружение цилиндрических колес в масло не должно происходить более чем на высоту зуба. В многоступенчатых редукторах это указание относится к колесу быстроходной ступени. Колеса тихоходных ступеней при этом могут быть погружены несколько глубже. Для уменьшения барботажа можно применять отдельные ванны (для конусной ступени). Конические колеса должны быть погружены по всей ширине венца, но не более высоты зуба со стороны вершины конуса [47].

Контроль уровня масляной ванны производится масломерными стеклами, круглыми или жезловыми маслоуказателями.

Выбор масел для смазки зубчатых передач. Применение масел высокой вязкости благоприятствует созданию режима жидкостного трения, улучшает защиту поверхности трения от истирания, задирання, снижает коэффициенты трения между зубьями, уменьшает утечки через уплотнения. Однако применение этих масел повышает расход мощности на взбалтывание, ухудшает теплоотвод и условия перекачки по маслопроводам в условиях применения циркуляционных систем.

Выбор вязкости нефтяных масел для смазки стальных зубчатых передач рекомендуется производить по данным рис. 43 [38], показывающего зависимость вязкости от параметра зубчатой пары:

$$x = \frac{HV\sigma_{\max}^2}{10^7 V_{\text{окр}}},$$

где HV — твердость по Виккерсу более мягкой шестерни из двух зацепляющихся шестерен;

$\sigma_{\max}$ — наибольшие контактные напряжения в полюсе зацепления, кгс/мм²;

$V_{\text{окр}}$ — окружная скорость, м/с.

Твердость по Виккерсу рабочих профилей зубьев характеризует их склонность к приработке; чем выше твердость, тем хуже способность зубьев прирабатываться и тем больше вязкость масла, необходимая для их защиты от повреждений. После конца приработки масло может быть сменено в случае необходимости на менее вязкое.

Выбор масел для смазки червячных передач. При выборе масел для смазки червячных передач сле-

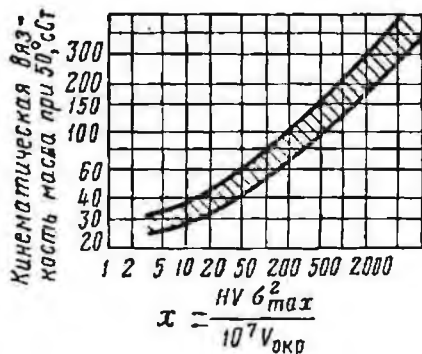


Рис. 43. Выбор вязкости нефтяных масел в зависимости от параметра зубчатой пары

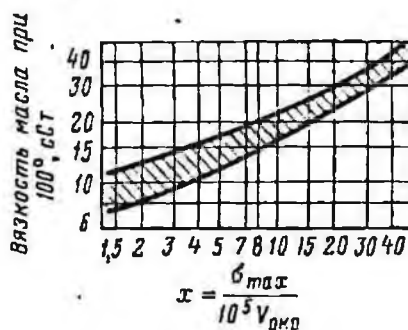


Рис. 44. Выбор вязкости нефтяных масел для смазки червячных передач

дует руководствоваться теми же общими соображениями, что и при выборе масел для зубчатых передач.

Вязкость нефтяных масел можно выбрать по данным рис. 44 [38], на котором показана зависимость вязкости от параметра

$$x = \frac{\sigma_{\max}^2}{10^5 V_{\text{окр}}},$$

где $\sigma_{\max}$ — наибольшее контактное напряжение в полюсе зацепления, кгс/мм²;

$V_{\text{окр}}$ — окружная скорость червяка на начальном цилиндре, м/с.

Из рис. 44 видно, что каждому значению параметра соответствует определенный диапазон вязкостей масла. Точное значение вязкости необходимо подбирать опытным путем.

При ударной нагрузке и при окружающей температуре выше 25° С вязкость масла следует повысить, а при работе с перерывами и окружающей температуре ниже 10° С — несколько понизить.

Виды износа зубчатых передач

Виды износа в зубчатых передачах [46]: в результате истирания или задира зубьев, абразивный, коррозионный, усталостный.

Износ в результате истирания или задира зубьев. Для нормальной эксплуатации зубчатых передач необходимо, чтобы поверхности сопряженных зубьев были разделены пленкой смазочного масла. Это условие может выполняться у правильно рассчитанной, качественно изготовленной, проработанной передачи, регулярно смазываемой хорошо подобранной и чистой смазкой.

При больших нагрузках в слое масла возникают высокие давления, вязкость масла возрастает, и часть нагрузки передается через выступающие неровности поверхности зубьев, так как толщина масляного слоя становится меньше высоты неровностей обеих соприкасающихся поверхностей.

«Заедание» — это процесс возникновения повреждений на поверхности трения при местном разрыве смазочной пленки. Возникшее при этом местное повреждение поверхности зуба называют «задр». Сильная интенсивность заедания соответствует местному свариванию материалов сопряженных зубьев. При этом развивается высокая температура, происходит сильное повреждение поверхностного слоя.

Классификация повреждений, возникающих в процессе заедания зубчатых колес [48], следующая:

- надр — блестящие на вид участки поверхности, имеющие не различные невооруженным глазом риски, расположенные в направлении относительного скольжения;

- палочки тонких (начальных), неглубоких, коротких, редко расположенных, различных невооруженным глазом рисок;

- наличие развитых более длинных, глубоких, близко расположенных друг к другу рисок;

- задр средней интенсивности (широкие, но не глубокие и не слившиеся борозды, расположенные в направлении скольжения);

- сильная форма задира (широкие и глубокие борозды, слившиеся между собой);

- очень сильная форма задира (то же, что и в предыдущем пункте и наличие вырывов и наростов металла, а также оплавления поверхности зубьев).

Причины нарушения целостности смазочного слоя, разделяющего сопряженные зубья:

- высокий нагрев масла в его поверхностном слое;

- применение масла, не подходящего по своим свойствам для данных условий работы;

- недостаточное количество подаваемого масла;

- недостаточно высокое качество рабочей поверхности зубьев;

- общая или местная перегрузка зубьев.

Когда граничный слой смазки разрушен в результате нагрева, а пленки окислов счищены в результате трения, то возникают условия для местного схватывания металлов сопряженных деталей. Схватывание состоит в образовании местных прочных металлических связей в месте контакта зубьев, размер которых может быть различным — от микроскопических малых до видимых невооруженным глазом [48].

Вследствие вращения шестерен возникшие связи мгновенно разрушаются, причем частички материала одного зуба оказываются прочно закрепленными на поверхности другого.

Заедание зубьев возникает, когда наступает граничное трение, т. е. возникает металлический контакт и происходит схватывание чистых металлических поверхностей с последующим разрушением узлов схватывания, образованием наростов, рисок и вырывов на поверхности трения.

Повышение чистоты поверхности зубьев и качества приработки уменьшает опасность заедания зубьев.

Наибольший эффект достигается при применении смазочных масел, содержащих противозадирные присадки (например, соединения серы, хлора или фосфора). Эти присадки вступают в химическую реакцию с железом, образуя в результате тонкий поверхностный слой, устраняющий схватывание и заедание [48].

А б р а з и в н ы й и з н о с. Этот вид износа вызывается попаданием твердых частиц в масло, а затем попаданием частиц между трущимися поверхностями зубьев шестерен при входе их в зацепление. Устранить его можно фильтрацией масла или заменой его новым, предварительно фильтрованным.

К о р р о з и о н н ы й и з н о с. При недостаточной герметичности корпуса редуктора в него попадает влага, что вызывает ржавление не только неработающих шестерен, находящихся над уровнем масла, но также и стенок корпуса. Поэтому к редукторным маслам добавляют защитные присадки для нейтрализации действия влаги, которые образуют водоотталкивающие пленки.

У с т а л о с т н ы й и з н о с. Одним из часто встречающихся видов изнашивания поверхности зубьев является местное выкрашивание поверхностного слоя. Это выкрашивание возникает обычно после продолжительного времени эксплуатации и представляет собой отдельные, обычно небольшие по площади, очень мелкие углубления. Для такого вида износа применяются различные термины, например, «поверхностное выкрашивание», «питтинг», иногда «оспидное выкрашивание» и «контактная усталость» [48].

§ 5. Смазка подшипников качения

Н а з н а ч е н и е с м а з к и. Одним из важнейших условий нормальной работы подшипников является смазка, включающая в себя правильный выбор уплотнений, марки сма-

зочного материала и правильное его применение. Смазка во многом определяет долговечность подшипников.

Смазку подшипников качения [49] осуществляют для:

уменьшения трения скольжения, возникающего между телами качения и сепаратором, а также между бортами колец и торцами роликов;

уменьшения трения скольжения между поверхностями качения, возникающего вследствие их упругих контактных деформаций под действием нагрузки при работе подшипников;

предохранения от коррозии высококачественной отделки поверхности тел качения и рабочих поверхностей колец;

лучшего уплотнения корпуса с целью предохранения от проникновения посторонних абразивных и загрязняющих веществ;

равномерного распределения тепла во всех частях подшипника и для отвода от него тепла, развивающегося в результате работы трения.

Смазочные материалы. Для смазки подшипников качения применяют два вида смазочных материалов: жидкие смазочные масла и мазеообразные — консистентные смазки.

Смазки, применяемые для шариковых и роликовых подшипников, должны удовлетворять следующим требованиям:

обладать химической и физической стабильностью;

не содержать механических примесей и воды выше норм, установленных техническими нормативами;

не вызывать коррозии и предохранять от нее;

консистентные смазки должны обладать хорошими пластическими свойствами, позволяющими сопротивляться действию центробежных сил, стремящихся выбросить смазку из подшипника при его вращении. Смазка не должна расслаиваться на составные части и выделять мыло, которое, затвердевая, может привести подшипник к внезапному отказу. Мазь во время работы должна сохранять начальную консистенцию, пластичность и неволокнистую структуру;

жидкие минеральные масла в процессе работы не должны резко менять свою вязкость. Желательно, чтобы изменение вязкости в связи с изменением температуры не было резким. Масла должны быть хорошо очищенными, обладать хорошими смазочными свойствами и иметь наименьшее внутреннее трение.

Выбор смазочного материала зависит от условий работы оборудования, конструкции подшипникового узла и т. д. Смазочные масла являются лучшей смазкой подшипников качения. Существенным преимуществом смазочных масел перед консистентными смазками является то, что они лучше проникают к поверхностям трения. Кроме того, при циркуляционной смазке маслом отводится от подшипников образующее при их работе тепло.

Несмотря на это, на практике стремятся применять консистентные смазки, так как техника их применения проще и уход за подшипниками менее трудоемок.

В качестве смазочных масел для смазки подшипников качения применяют минеральные (нефтяные) масла.

Схема циркуляционной, централизованной, принудительной системы смазки подшипников центрифуги ЦВП-1100 приведена на рис. 45.

Маслосистема устанавливается рядом с центрифугой и состоит из маслобака 1, маслонасоса шестеренчатого типа 2, манометра 5, фильтров грубой 3 и тонкой очистки 4, реле давления РДК-3 6,

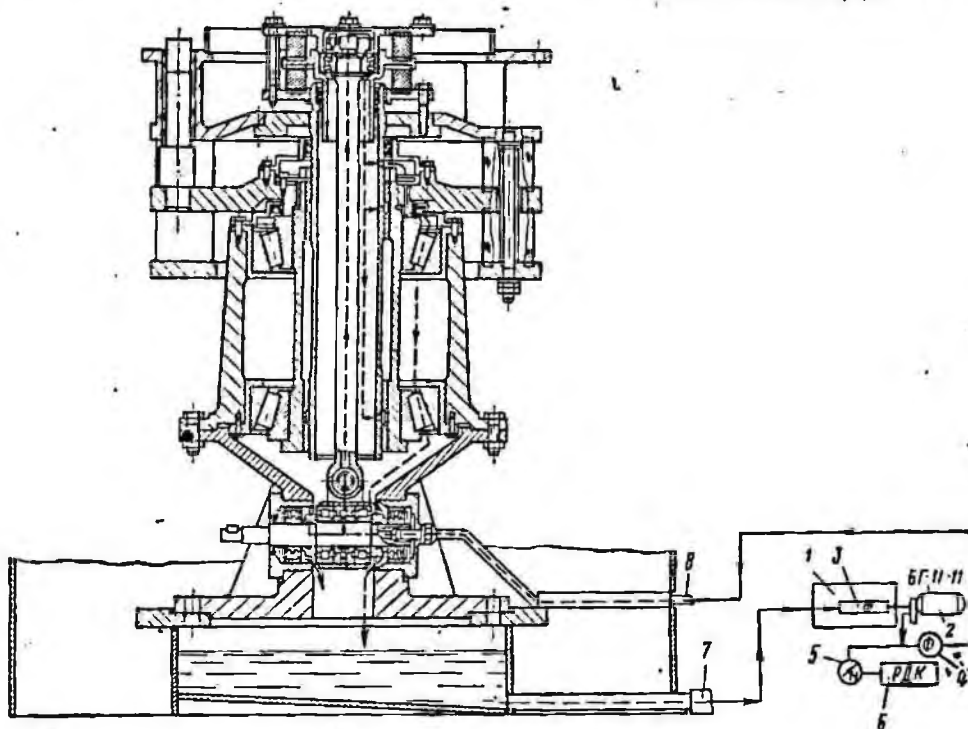


Рис. 45. Маслосистема центрифуги ЦВП-1100

напорного 8 и сливного плангов 7, а также соединительных трубок. Масло через фильтр грубой очистки, помещенный в баке, засасывается насосом и через фильтр тонкой очистки и напорный шланг нагнетается в эксцентриковый вал, откуда через систему сверлений в серье, пальце и штоке поступает к верхнему подшипнику. Далее часть масла под действием центробежной силы прижимается к стенке гильзы и через отверстия в ней смазывает подшипники скольжения вибратора; оставшая часть масла через верхний ряд радиальных сверлений гильзы, через отверстия в тарелке поступает к верхнему и нижнему коренным подшипникам.

Подшипники эксцентрикового вала смазываются через радиальные отверстия в нем. Отработанное масло, объединяясь с маслом, выходящим из коренных подшипников, направляется самотеком в картер и сливной трубопровод. Контроль давления в ма-

слосистеме осуществляется манометром (6 кгс/см^2). Нормальным рабочим давлением считается давление от $0,1$ до $3,5 \text{ кгс/см}^2$. Реле давления предназначено для автоматического отключения центрифуги при давлении меньше $0,1 \text{ кгс/см}^2$.

В маслбак заливается 60 л масла «индустриальное 50» (по ГОСТ 20799—75). Масло заливается через фильтровальную сетку. Его уровень должен быть не менее $\frac{3}{4}$ высоты смотрового стекла.

Первая замена масла должна производиться после 250 ч работы центрифуги. Последующая замена масла — через 4 месяца. Однако в условиях углеобогащительных фабрик для смазки подшипников качения значительно чаще применяют консистентные смазки. Они представляют собой смазочный материал, загущенный для того, чтобы он лучше удерживался на движущихся поверхностях, не вытекал под действием силы тяжести или центробежных сил и не выдавливался под нагрузкой [49]. Консистентные смазки образуют пластический затвор между валом и корпусом подшипника и предотвращают проникновение абразивных и других загрязнений к рабочим поверхностям подшипника, что крайне важно для оборудования, работающего при высокой загрязненности окружающей среды.

По своему составу консистентные смазки представляют собой сложные образования, состоящие в основном из минерального масла и загустителя. Наиболее широко применяют консистентные смазки, в состав которых входят в качестве загустителя мыла — соли естественных кислот (жировые смазки) или синтетических жирных кислот (синтетические смазки).

Свойства мыльных смазок определяются в основном составом мыла и главным образом входящим в него металлом, т. е. основанием мыла. Наиболее широкое распространение получили смазки, изготовленные на кальциевых и натриевых мылах.

Кальциевые консистентные смазки (солидолы жировые) являются самыми дешевыми консистентными смазками. На долю солидолов приходится до 90% всего выпуска пластичных смазок [49]. Солидолы в воде не растворяются, поэтому могут применяться в условиях высокой влажности, что особенно ценно для оборудования, эксплуатируемого на обогащительных фабриках.

Из натриевых смазок наибольшее распространение получили копстальпы. Эти смазки очень чувствительны к влаге, так как образуют при смешивании с водой эмульсию типа масло — вода и смываются с рабочих поверхностей подшипника. Натриевые смазки должны применяться при работе подшипников в условиях сухой внешней среды.

Виды износа подшипников качения

Отказы подшипников качения вызываются одной из следующих причин [49]:

неправильным выбором подшипника для заданных нагрузок и скоростей вращения;

нарушением режима работы подшипника в эксплуатационных условиях, плохим теплоотводом от подшипникового узла, нарушением подачи смазки или несоответствующим ее качеством;

конструктивными дефектами подшипниковых узлов; технологическими погрешностями изготовления их деталей; недостаточно тщательным монтажом.

Основные виды износа подшипников качения:

абразивный износ; коррозия; задиры и наволакивания при отпуске металла, вызванном нагревом при заземлении подшипника в случае недостатка смазки; шелушение, обусловленное выкрашиванием металла в местах, где имеются шлаковые включения [49].

§ 6. Смазка подшипников скольжения

На углеобогащательных фабриках имеется ряд оборудования, в котором используются подшипники скольжения: вакуум-фильтры, качающиеся питатели, тарельчатые питатели, центрифуги ЦВП-1100. Опыт эксплуатации этого оборудования показывает, что большинство неполадок в работе подшипников происходит в результате нарушения режимов смазки.

Подшипник будет работать нормально, если: смазка подается равномерно и непрерывно; автоматизация смазки приводит к максимальной надежности в эксплуатации;

исключается загрязнение смазки с помощью своевременной ее очистки и соответствующими уплотнениями; исключается перерасход смазки; конструкция системы смазки проста и надежна в эксплуатации; отсутствуют потери смазки.

Способы подачи смазки. На углеобогащательных фабриках применяют следующие системы питания смазкой: использующие силы тяжести; использующие силы капиллярности; с механическим воздействием.

Простейшей системой, использующей силу тяжести, является капельная смазка. Расход смазки зависит от уровня масла в баке. Использование автоматического регулирующего клапана обеспечивает постоянство расхода смазки.

Возможны автоматический пуск и остановка питания смазкой и осуществление циркулирующих систем. Эти системы используются для подшипников, работающих при небольших нагрузках и скоростях (подшипники компрессоров, направляющие).

Системы смазки, использующие силы капиллярности, применяют в нескольких вариантах, отличающихся способом продвижения масла: с помощью фитилей, подушками, с войлочным роликом и т. д.

Схемы подачи смазки двумя фитильными системами с использованием сил капиллярности показаны на рис. 46. Расход смазки будет зависеть от ее вязкости и расстояния между свободной поверхностью жидкости и точкой подвода масла. Эти системы

питания обеспечивают автоматическую рециркуляцию смазки, причем значение расхода довольно постоянно.

В случае подачи смазки подушками или войлочными роликами большое значение имеет ширина подушки или ролика, так как расход смазки пропорционален этому параметру. Фитильная подача смазки используется на углеобогащительных фабриках, например, при смазке бандажей сушильных агрегатов.

В системах с механическим воздействием смазочное масло подается кольцами, разбрызгиванием в ванне или в масляном тумане, а также системой, использующей центробежную силу.

Кольцевую смазку применяют для подшипников с горизонтальным валом при частоте вращения вала от 50 до 3600 об/мин.

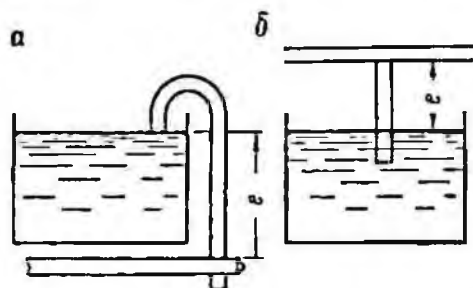


Рис. 46. Системы смазки с использованием сил капиллярности для смазки:

а — кольцевой; б — разбрызгивание

Смазку разбрызгиванием используют в машинах, имеющих детали, движущиеся с большими скоростями.

Расход можно регулировать только изменением уровня масла в ванне и соответствующим выбором устройства для отбрасывания масла, предусмотренного на движущихся деталях.

Смазку с помощью центробежной силы производят в случаях, когда канавки, проведенные в направлении действия этой силы, позволяют направлять масло к питающему отверстию подшипника. Расход смазки зависит от давления масла, величины центробежных сил и геометрии входной канавки [50].

В углеобогащительных машинах жидкую смазку подшипников скольжения применяют очень редко: на отдельных (в основном устаревших) конструкциях скребковых конвейеров, компрессорах и некоторых других. Подшипники скольжения смазывают главным образом солидолом, так, например, подшипники скольжения ячеякового вала вакуум-фильтров «Украина 80» и «Горняк» смазывают централизованно с помощью ручной станции густой смазки типа НРГ.

На целом ряде фабрик имеются подшипники скольжения, работающие без смазки. Это главным образом подшипники пено-снимателей флотационных машин (в основном устаревших конструкций).

Виды износа подшипников скольжения

В процессе износа подшипников скольжения различают три периода: первоначальный износ (износ во время прира-

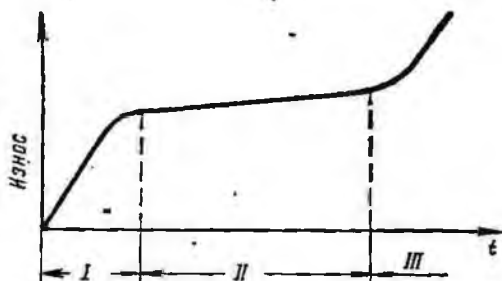
ботки); нормальный износ (период нормальной эксплуатации); конечный износ (период интенсивного износа).

Изменение износа в зависимости от времени эксплуатации показано на рис. 47. Во время приработки происходит выравнивание трущихся поверхностей. Этот процесс можно охарактеризовать как последнюю доводку, пригонку, шлифовку и исправление всех мельчайших неровностей.

Кроме того, в процессе приработки выявляются дефекты монтажа, изготовления подшипников, небрежного их хранения и транспортирования. Таким образом, процесс приработки означает нечто большее, чем простое сглаживание неровностей на трущихся поверхностях.

Рис. 47. Схематическое обозначение износа в зависимости от времени эксплуатации

I — период приработки; II — период нормального износа; III — период интенсивного износа



Участок II кривой на рис. 47, характеризует период нормальной эксплуатации, когда изнашивание медленное и возрастает равномерно. В литературе [50] в периоде нормальной эксплуатации различают следующие виды износа: от сцепления или контактный; абразивный; коррозионный; усталостный.

Контактный износ происходит, когда нарушается режим смазки: недостаточно ее количество или применяется смазка, несоответствующая условиям эксплуатации вязкости, и заключается в прямом контакте трущихся поверхностей.

Абразивный износ происходит вследствие попадания в масло посторонних частиц или частиц, образующихся при приработке трущихся поверхностей. Эффект абразивного износа зависит от формы, размеров и твердости частиц.

Если размеры частиц меньше толщины смазочной пленки, то они не оказывают заметного влияния на износ. Абразив заметно влияет на износ в том случае, если его твердость больше твердости материала, из которого сделаны трущиеся поверхности.

На коррозионный износ оказывают большое влияние сходность материалов с электрохимической точки зрения (чем больше сходность, тем меньше коррозия) и температура (чем выше температура, тем интенсивнее коррозионный износ).

Усталостный износ — разрушение трущихся поверхностей подшипников под действием знакопеременных нагрузок. Кроме того, в подшипниках скольжения имеет место и кавитационный износ

[50] (разрушение поверхностных слоев под влиянием пульсирующего действия гидродинамических сил).

Участок III кривой на рис. 47 характеризует быстрый износ подшипников, приводящий часто к поломке.

§ 7. Смазка различных узлов машин

Цепные передачи на углеобогащительных фабриках применяют на флотационных машинах, передвижных тарельчатых питателях, отсадочных машинах, колесных сепараторах, обезвоживающих элеваторах и некотором другом оборудовании. В основном это тихоходные передачи с небольшими межцентровыми расстояниями между ведущей и ведомой звездочками.

Нормальные условия работы передачи в большой степени зависят от качества смазки и способов ее подачи на цепь. Хорошая смазка повышает срок службы цепи и делает ее более надежной и экономичной. Кроме того, смазка выполняет демпфирующие функции, смягчая удары звеньев цепи о зубья звездочек, а также снижает нагрев шарниров. Цепные передачи смазывают на фабриках солидолом с добавлением 10—12% чешуйчатого графита.

На фабриках наиболее распространенными узлами, подвергающимися смазке, являются золотники воздушных пульсаторов отсадочных машин. Смазка их централизована и производится ручными станциями густой смазки солидолом марки УСС-1 (ГОСТ 4366—64).

Довольно распространена также смазка зубчатых и цепных муфт, винтов, гаек и направляющих устройств, ленточных и скребковых конвейеров, элеваторов и других механизмов и машин. Смазку этих узлов производят на фабриках солидолом марки УСС-2 или УСС-1 (ГОСТ 4366—64) или солидолом УС-2 (ГОСТ 1033—73).

§ 8. Централизация смазки оборудования

На углеобогащительных фабриках проделана большая работа по внедрению централизованных систем густой (а в отдельных случаях жидкой) смазки. Опыт эксплуатации централизованных систем густой смазки, установленных на отсадочных и флотационных машинах, вакуум-фильтрах и целом ряде другого оборудования, показал несомненные их преимущества по сравнению с обычными индивидуально-ручными смазочными системами, а именно:

централизованные системы густой смазки обеспечивают регулярное и своевременное питание смазочным материалом всех узлов трения обслуживаемых машин;

подача смазки точкам потребления через закрытую систему трубопроводов устраняет возможность загрязнения смазочного

материала угольной пылью, шлаком и другими вредными включениями;

применение централизованных смазочных систем позволяет сократить трудоемкость межремонтного технического обслуживания и уменьшить расход смазочных материалов;

централизованные системы обеспечивают безопасность выполнения смазочных работ и значительно улучшают условия смазывания узлов трения.

Централизованная система густой смазки состоит из нагнетательной станции, предназначенной для нагнетания смазочного материала; разветвления трубопроводов, по которым смазка транспортируется к местам потребления; распределительных органов — питателей и различных приспособлений, служащих для управления работой станции; заправки резервуаров смазочным материалом; удаления из смазки твердых механических примесей; наблюдения за давлением в системе.

Нагнетательные станции густой смазки в зависимости от способа приведения их в действие разделяются на ручные и автоматические. Ручные станции изготавливают по ГОСТ 8630—74 трех типов: СРГ — ручная для густой смазки без электроподогрева, СРГЭ — ручная для густой смазки с электроподогревом, СРЖ — ручная для жидкой смазки.

Технические характеристики станций приведены в табл. 37.

Таблица 37

Технические характеристики ручных станций

Обозначение типоразмера	Основные параметры станции			Масса, кг. не более
	Полезная емкость резер- вуара, л, не ме- нее	Наибольшее рабочее давле- ние, кгс/см ²	Подача за цикл при наиболь- шем давлении, см ³ , не менее	
СРГЭ1	1,2	100	7,5	25
СРГ1	2,3			25
СРЖ				
СРГЭ	2,4	100		26
СРГ	3,5			23

Станции изготавливают с одноплунжерным насосом двухстороннего действия, привод которого осуществляется от ременной передачи.

Станция типа СРГЭ имеет трубчатый нагревательный элемент мощностью 300 Вт, который при работе на переменном токе напряжением 220 В обеспечивает подогрев смазки до температуры в пределах от $+15^{\circ}$ до $+50^{\circ}$ С.

Заполнение резервуара станции смазкой должно производиться с помощью перекачного насоса через сетку (по ГОСТ 6613—73) с размером ячейки в свету не более 0,18 мм.

Автоматические станции (по ГОСТ 11700—73) изготавливаются 16 обозначений, перечень которых приведен в табл. 38.

В зависимости от способа разводки масепроводов, централизованные смазочные системы автоматического действия разделяются на системы петлевого и конечного типов. Для обслуживания петлевых систем (по ГОСТ 11700—73) применяются 11 обозначений станций, для обслуживания конечных — 5 (см. табл. 38). Принципиальное различие их заключается в способе переключения подачи смазки из одной напорной магистрали в другую, а также в характере разводки масепроводов смазочной системы.

По конструктивному выполнению станции одного и того же вида, но разной производительности отличаются друг от друга только габаритными и установочными размерами.

Станции, имеющие обозначение 0038-1-1-2 и 0075-1-1-2 выпускают с электродвигателем постоянного тока, все остальные с электродвигателями переменного тока.

В условное обозначение станции входят: величина подачи смазочного материала (л/мин), тип станции, вид смазочного материала, исполнение электродвигателя и номер стандарта.

Пример условного обозначения станции петлевого типа, работающей на консистентной смазке с величиной подачи смазочного материала 0,038 л/мин и с электродвигателем закрытого исполнения, работающем на постоянном токе: станция 0038-1-1-2 ГОСТ 11700—73.

Пример условного обозначения станции конечного типа, работающей на минеральном масле, с величиной подачи смазочного материала 0,30 л/мин и с электродвигателем закрытого исполнения, работающим на переменном токе: станция 030-II-2-1 ГОСТ 11700—73.

Для петлевых станций двухлинейные распределители применяются четырехходовые с гидравлическим управлением типа РЧГ, для конечных — с электрическим типа РЧЭ1. Помимо указанных распределителей согласно ГОСТ 9417—75 изготавливают следующие типы двухлинейных распределителей: РЧЭII — четырехходовой с электрическим управлением, линейный; РДЭ — двухходовой сдвоенный с электрическим управлением линейный; РЧР — четырехходовой с ручным управлением линейный.

Наибольший расход смазки для всех типов распределителей составляет 600 см³/мин, наибольшее рабочее давление — 150 кгс/см².

Технические характеристики автоматических станций

Обозначение станций	Тип станций	Вид смазочного материала	Подача смазочного материала, л/мин. не менее	Наибольшее рабочее давление, кгс/см²	Помпазная емкость резервуара, л. не более	Электродвигатель		
						Исполнение	Мощность, кВт	Напряжение, В
0038-1-1-1	I — насосная	1 — консистентная смазка	0,038	100	25	1 — закрытое	0,6	220/380
0038-1-1-2						2 — закрытое		220
0038-1-1-3						3 — взрывозащищенное		380
0075-1-1-1		2 — минеральное масло	0,075	64	1 — закрытое	220/380		
0075-1-1-2					2 — закрытое	220		
0075-1-2-1					1 — закрытое	220/380		
015-1-1-1		1 — консистентная смазка	0,15	100	63	3 — взрывозащищенное	1,1	380
015-1-1-3								
030-1-1-1		2 — минеральное масло	0,30	200	160			
030-1-2-1								
060-1-1-1	II — центробежная	1 — консистентная смазка	0,60	200		1 — закрытое		220/380
0075-II-1-1								
015-II-1-1		0,075	100	25	0,6			
030-II-1-1		0,15	200	63				
030-II-2-1		2 — минеральное масло	0,30	200	160	1,1		
060-II-1-1	1 — консистентная смазка	0,60	200					

Питатели для централизованной смазки изготовляют согласно ГОСТ 6911—71, фильтры — согласно ГОСТ 6918—69, визуальные указатели подачи масла — согласно ГОСТ 9684—75.

§ 9. Вопросы организации смазки оборудования

Основные принципы рациональной организации смазки оборудования углеобогащительных фабрик:

строгое соблюдение правил и порядка смазки по каждой машине согласно режимам и нормам карт смазки, рекомендуемых заводами-изготовителями;

ведение паспортов смазки по каждой машине;

составление графиков замены масла и промывки масляных ванн;

разработка норм расхода смазочных материалов;

выполнение условной окраски мест смазки и тары для хранения по типам применяемых масел;

разработка инструкций с наглядным показом мест и приемов смазки;

применение централизованной системы смазки для группы оборудования;

обеспечение специальным оборудованием, приспособлениями и инвентарем для выполнения смазочных работ;

постоянный контроль за выполнением смазочных работ и расходом смазки и ведением документации;

регенерация жидкой смазки.

Оборудование всей технологической цепи аппаратов должно смазываться от общекорпусной или групповых систем централизованной смазки.

Автоматические станции густой смазки устанавливают в специальных помещениях, как исключение, — в пыленепроницаемых камерах. В помещении станции должны быть предусмотрены подъемно-транспортные устройства, каналы вдоль маслобака, уклоны полов, противопожарные устройства для тушения острым паром или углекислотой, низковольтное освещение для переносных ламп. Передвижное оборудование (катучие конвейеры, механизмы сгустителей с периферическим приводом и т. п.) должно иметь индивидуальные системы смазки.

От отдельных ручных централизованных станций смазывается оборудование, требующее осторожной подачи смазки во избежание нарушения технологического процесса (флотационные) или требующие редкой подачи особого сорта смазки к небольшому количеству точек. Не подлежат подключению к централизованной системе смазки ролики ленточных конвейеров, конвейерные весы, лабораторное оборудование. Заправка резервуаров маслостанций централизованной системы должна производиться с использованием зарядных агрегатов.

Центральный склад смазочных материалов должен размещаться в закрытом отапливаемом помещении, обеспечиваться

взрывобезопасным освещением, вентиляцией и средствами пожаротушения. Склад должен быть оборудован подъемно-транспортными средствами для разгрузки смазочных материалов, прибывающих в бочках, насосами и гибкими шлангами для перекачивания жидких масел.

Смазочные материалы должны храниться в баках, бочках и бидонах. Число емкостей должно соответствовать числу применяемых сортов смазочных материалов и числу сортов собираемых

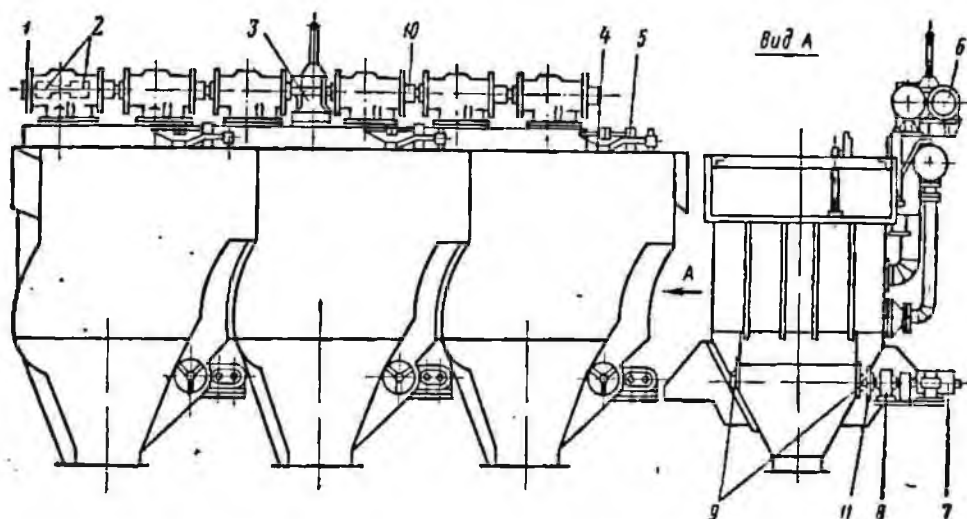


Рис. 48. Схема смазки отсадочных машин OM12, OM18:

1 — подшипники воздушных пульсаторов; 2 — золотники воздушных пульсаторов; 3 — коробка скоростей; 4 — подшипники рычага датчика; 5 — подшипники датчика; 6 — электродвигатель привода пульсаторов; 7 — электродвигатель привода разгрузочного устройства; 8 — редуктор привода разгрузочного устройства; 9 — подшипники вала разгрузочного устройства; 10 — цепные муфты воздушных пульсаторов; 11 — цепи привода роторного разгрузчика

отработанных масел. Баки окрашивают в разные цвета и в эти же цвета должны быть окрашены места смазки. Баки должны иметь коническое дно, плотно закрывающиеся откидные крышки со съёмными сетками — фильтрами, разборные и сливные краны. Баки для вязких масел должны быть оборудованы паровыми змеевиками для подогрева. Из всех баков 1—2 раза в месяц спускается отстой, 1—2 раза в год производится их полная очистка и промывка.

Бочки в складах хранятся группами по сортам и маркам смазки на подкладках и стеллажах, залитые маслом — пробками вверх во избежание утечек, а порожние — пробками вниз для предупреждения попадания в них воды, грязи.

Масло из бочек сливают насосами или путем накатывания их на сливные воронки, расположенные над приемной емкостью и снабженные фильтровальными сетками. Бочки, особенно их горловины, перед сливом тщательно очищают от грязи.

Карта смазки отсеченных машин

Номер по схеме смазки	Точки смазки		Смазываемый элемент	Способ смазки	Периодичность добавления и замены смазки	Смазочные материалы и ГОСТ	Расход материала, л
	Число точек на машину	ОМ8					
1	8	12	Подшипники воздушных пульсаторов	Наблюдение	Сменить 1 раз в 12 месяцев	Смазка жировая 1-13 ГОСТ 1631-61	7,8
2	10	24	Золотники воздушных пульсаторов	Централизованная	Добавлять 1 раз в месяц 1 раз в смену	Солидол УСс-1 ГОСТ 4366-64	
3	1	1	Коробка скоростей	Разбрызгивание из масляной ванны	Сменить 1 раз в 6 месяцев	Масло промышленное 45 ГОСТ 20739-75	
4	2	3	Подшипники рычага датчика уровня постели	Наблюдение	Сменить 1 раз в 12 месяцев	Смазка жировая 1-13 ГОСТ 1631-61	3,6
5	2	3	Подшипники датчика	»	Добавлять 1 раз в месяц Сменить 1 раз в 12 месяцев	Смазка жировая 1-13 ГОСТ 1631-61	
6	2	2	Электродвигатель привода импульсаторов	»	Добавлять 1 раз в 12 месяцев	Смазка жировая 1-13 ГОСТ 1631-61	
7	4	0	Электродвигатель привода разгрузочного устройства	»	Сменить 1 раз в 12 месяцев	Смазка жировая 1-13 ГОСТ 1631-61	3,6
8	2	3	Редуктор привода разгрузочного устройства	Разбрызгивание из масляной ванны	Сменить 1 раз в 6 месяцев	Масло гидравлическое 11 ГОСТ 1841-51 или гидравлическое 45 ГОСТ 20739-75	
9	4	6	Подшипники вала разгрузочного устройства	Централизованная	Сменить 1 раз в смену	Солидол УСс-1 ГОСТ 4366-64	
10	4	6	Цепные муфты воздушных пульсаторов	- Нанесение на цепь	Сменить 1 раз в 6 месяцев	Солидол УСс-1 ГОСТ 4366-64	3,6
11	2	3	Цепи привода роторного разгрузчика	То же	Сменить 1 раз в месяц	Солидол УСс-1 ГОСТ 4366-64	

Склад должен быть обеспечен достаточным количеством необходимого инвентаря для выдачи смазок: кранами для выдачи жидкой смазки; воропками с сетками, поддонами, мерными кружками, ведрами, металлическими лопаточками для густой смазки.

Ежемесячно склад представляет отделу материального снабжения оборотную ведомость с указанием движения материалов (поступление и расход по сортам) и указывает остатки материалов на складе по состоянию на первое число каждого месяца.

Согласно требованиям единой системы конструкторской документации (эксплуатационная и ремонтная документация ГОСТ 2.601—68—ГОСТ 2.605—68) на каждую машину составляются схемы и карты смазки. На схемах смазки изображается общий вид машины, на котором указаны места смазки.

В картах смазки указывается номер смазываемой точки, наименование и количество смазываемых точек, способ смазки, периодичность замены и добавления смазки, смазочный материал и его расход. Схема смазки отсадочных машин типа ОМ12 и ОМ18 показана на рис. 48, а карта смазки приведена в табл. 39.

Необходимо отметить, что условия, в которых работают на фабриках одни и те же смазываемые узлы, настолько разнообразны, что предлагать какие-либо общие меры с целью предотвращения загрязнения смазок или единые нормативные сроки их замены трудно, хотя в картах смазки и указывается периодичность.

Механики фабрик, исходя из условий эксплуатации оборудования для целого ряда узлов, устанавливают свои сроки замены смазки.

Институт Гипромашуглеобогащение в картах смазки целого ряда машин (скребковые конвейеры, элеваторы и др.) в графе «периодичность» указывает: «по мере необходимости». Такой подход к периодичности смазки для открытых трущихся пар — направляющие, натяжные вальцы и др., по мнению авторов книги является правильным. Что касается периодичности замены масла в редукторах смазки подшипников качения, то здесь необходимо строго придерживаться периодичности, указываемой в картах смазки. Необходимо также строго соблюдать заводские инструкции по смазке при централизованных системах.

Раздел II

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ

Глава V

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Надежность оборудования зависит от многих факторов, воздействующих на него при разработке, изготовлении и эксплуатации. Интенсивность воздействия этих факторов непостоянна и может изменяться во времени случайным образом, поэтому не представляется возможным рассчитать или предвидеть их заранее. Эти факторы не являются беспричинными и зависят от множества причин — от качества изготовления и материалов до квалификации персонала, обслуживающего это оборудование. Однако нельзя предсказать заранее, какими характеристиками надежности будет обладать любой наудачу выбранный экземпляр оборудования, будет ли он безотказно работать, а если откажет, то в какой момент времени. Тем не менее, если рассматривать большое число однотипных случайных событий, то возможно установить закономерности, независимые от индивидуальных особенностей отдельных случайных явлений.

§ 1. Некоторые определения. Основные теоремы

Случайной величиной называется величина, которая в результате опыта может принимать различные значения, так что предсказать, какое именно значение она примет в результате данного конкретного опыта, невозможно. В зависимости от того, какое именно значение может принимать случайная величина — непрерывное или дискретное, различают **непрерывные и дискретные величины**. При рассмотрении вопросов теории надежности используются как непрерывные случайные величины, особенностью которых является то, что вероятность любого отдельного значения непрерывной случайной величины равна нулю, так и дискретные случайные величины, вероятность любого значения которых имеет некоторое определенное значение.

Вероятность — это мера объективной возможности случайного события A и обозначается символом $P(A)$. Именно вокруг числа $P(A)$ группируются относительные частоты события A . Для того чтобы сокращенно записать: «вероятность того, что объект A обладает свойством B », можно использовать символ

$P(B/A)$. При таком способе выражения подчеркивается то обстоятельство, что понятие вероятности относится к множеству объектов, которые «есть A », т. е. к множеству объектов, которые удовлетворяют определению A .

Поскольку многие ошибки при вычислении вероятностей совершаются из-за того, что забывают о множестве объектов, в отношении которых данная вероятность рассматривается, то необходимо четко сформулировать это множество. Будем называть его **основным вероятностным множеством**. Таким образом, основное вероятностное множество следует использовать для обозначения множества S объектов A , к которым относятся рассматриваемые вероятности.

Определение вероятности. Рассмотрим конечное множество S объектов A , названное нами как основное вероятностное множество. Допустим, что $n(A)$ — число всех объектов A в S , а $n(AB)$ — число тех объектов A , которые обладают свойством B . Предположим, что $n(A) > 0$, т. е. что основное вероятностное множество содержит некоторые объекты.

Вероятность того, что объект A обладает свойством B , подтверждается отношением

$$P(B/A) = \frac{n(AB)}{n(A)}.$$

Очевидно, что каково бы ни было свойство B , число $n(AB)$ должно лежать в пределах $0 \leq n(AB) \leq n(A)$. Следовательно, вероятность $P(B/A)$ должна быть рациональным числом между нулем и единицей. Если $P(B/A) = 0$, то число $n(AB)$ объектов A , обладающих свойством B , также равно нулю и тогда B называется свойством, невозможным в данном вероятностном множестве. При другой крайности, когда $P(B/A) = 1$, все элементы из основного вероятностного множества обладают свойством B , и это свойство называется достоверным свойством в данном вероятностном множестве. Ясно, что некоторое свойство B может быть невозможным в одном вероятностном множестве и достоверным в другом.

Отрицание. Если B означает свойство некоторого объекта, то символ $\bar{B}$ будет использоваться для обозначения свойства, называемого «отрицанием B ».

Логическая сумма. Допустим, что $B_1, B_2, \dots, B_r$ — любые свойства. Термин «логическая сумма» этих свойств будет применяться для обозначения свойства B' , которое заключается в обладании по крайней мере одним из свойств $B_1, B_2, \dots, B_r$. Логическая сумма свойств обозначается с помощью знака плюс (+) или знака суммирования (Σ):

$$B' = B_1 + B_2 + \dots + B_r = \sum_{i=1}^r B_i.$$

Логическое произведение. Допустим, что $B_1, B_2, \dots, B_r$ — любые свойства. Термин «логическое произведение» этих свойств будет применяться для обозначения свойства B'' , которое состоит в одновременном обладании каждым из свойств $B_1, B_2, \dots, B_r$. Произведение свойств обозначается тем же символом, что и произведение чисел

$$B'' = B_1 B_2 \dots B_r = \prod_{i=1}^r B_i.$$

Невозможное свойство. Допустим, что S — множество объектов A , а B — свойство. Если ни один из объектов не обладает свойством B , то B называется свойством невозможным в S . Для обозначения свойства, невозможного в S , иногда удобно использовать символ (O_s) . Очевидно, каково бы ни было свойство B_1 и каково бы ни было множество S объектов A , произведение

$$B_1 \bar{B}_1 = (O_s)$$

есть невозможное свойство. Вероятность невозможного свойства равна нулю.

Достоверное свойство. Если все объекты A множества S обладают свойством B , то это свойство называется достоверным свойством в S . Для обозначения достоверного в S свойства удобно пользоваться символом $(1S)$. Очевидно, каково бы ни было свойство B_1 , логическая сумма $B_1 + \bar{B}_1$ является достоверным свойством в S :

$$B_1 + \bar{B}_1 = (1S).$$

Вероятность достоверного свойства равна единице.

Нормировка вероятностей. Так как число появлений любого случайного события A не может быть ни отрицательным, ни больше, чем число n произведенных испытаний, то относительная частота случайного события всегда удовлетворяет неравенству

$$0 \leq \frac{n_A}{n} \leq 1,$$

т. е. вероятность случайного события есть число, заключенное между 0 и 1:

$$0 \leq P(A) \leq 1.$$

Теорема сложения вероятностей. Каковы бы ни были свойства B_1 и B_2 и каково бы ни было вероятностное множество, вероятность логической суммы $B_1 + B_2$ равна сумме вероятностей B_1 и B_2 минус вероятность из произведения $B_1 B_2$

$$P(B_1 + B_2) = P(B_1) + P(B_2) - P(B_1 B_2). \quad (54)$$

Если свойства B_1 и B_2 несовместимы, так что $P(B_1 B_2) = 0$, то вероятность суммы логических свойств равна сумме вероятностей этих свойств, т. е.

$$P(B_1 \times B_2) = P(B_1) + P(B_2). \quad (55)$$

Если события $B_1, B_2, \dots, B_r$ попарно несовместимы, то

$$P(B_1 + B_2 + \dots + B_r) = P(B_1) + P(B_2) + \dots + P(B_r). \quad (55a)$$

Вероятность достоверного свойства. Если логическая сумма несовместимых свойств $B_1, B_2, \dots, B_r$ есть достоверное свойство вероятностного множества, то вероятности этих свойств должны давать в сумме единицу, т. е. $\sum_{i=1}^r P(B_i) = 1$.

Действительно, если $\sum_{i=1}^r$ — достоверное свойство, то его вероятность равна 1.

Отсюда вытекает, что при любом свойстве B

$$P(B) = 1 - P(\bar{B}).$$

Два противоположных свойства B и $\bar{B}$ являются несовместимыми и их сумма

$$B + \bar{B} = (1S).$$

Теорема умножения вероятностей. Каковы бы ни были свойства B_1 и B_2 и каково бы ни было вероятностное множество, вероятность логического произведения $B_1 B_2$ равна абсолютной вероятности свойства B_1 , умноженной на условную вероятность B_2 при заданном B_1

$$P(B_1 B_2) = P(B_1) P(B_2/B_1) \quad (56)$$

при условии, что B_1 не есть невозможное свойство в рассматриваемом вероятностном множестве.

Формула полной вероятности. Если $H_1, H_2, \dots, H_n$ — полная группа попарно несовместимых событий, то для любого события A имеет место формула полной вероятности

$$P(A) = P(H_1) P(A/H_1) + \dots + P(H_n) P(A/H_n). \quad (57)$$

События $H_1 \dots H_n$ обычно называют гипотезами. В формуле полной вероятности можно учитывать не всю полную группу гипотез, а лишь те из них, с которыми события A могут осуществиться совместно.

Формула Байеса. Эта формула также называется теоремой гипотез, которая является следствием теоремы умножения и формулы полной вероятности. Имеется полная группа несовместимых гипотез $(H_1), (H_2), \dots, (H_n)$. Доопытные вероятности этих гипотез $P(H_1), P(H_2), \dots, P(H_n)$ известны. Известны также

условные вероятности $P(A/H_i)$ сложного события A , которое может появиться с одной из гипотез H_i . Производится опыт, в результате которого произошло событие A , но неизвестно вместе с какой из гипотез H_i осуществилось это событие.

В этом случае значение условных послеопытных вероятностей гипотез $P(H_i/A)$ определяются по теореме гипотез

$$P(H_i/A) = \frac{P(H_i) P(A/H_i)}{\sum_{i=1}^n P(H_i) P(A/H_i)} \quad (58)$$

Пример. В табл. 40 приведены статистические исследования промышленной эксплуатации первой секции одной из фабрик за один квартал. Простой оборудования секции фабрики является результатом ее неплановых остановок по ряду причин.

Таблица 40

Исходные данные о промышленной эксплуатации первой секции одной из фабрик за один квартал

Состояние секции при эксплуатации	Условное обозначение состояния секций (события)	Показатели
Работа, ч	B	1202
Неисправности по техническим причинам, ч	B_1	300
Технологические неисправности, ч	B_2	63
Пластово-предупредительные ремонты, ч	B_3	144
Итого		1709

Значительная часть остановок фабрики происходит из-за отсутствия рядовых углей, железнодорожных вагонов, электроэнергии, технической воды. Эти остановки по организационным причинам в малой степени зависят от служб фабрики и в рассмотрение не принимаются.

Вторая часть остановок происходит по причинам отказа оборудования вследствие низкой его надежности, несвоевременного или некачественно выполненного ремонта (неисправности по техническим причинам).

Третья часть остановок происходит вследствие недостатков проектной компоновки оборудования и недостатков конструктивных решений. К этой группе относятся часто наблюдаемые на фабрике остановки вследствие забивания течек (технологические неисправности).

Необходимо определить вероятность того, что в произвольный момент времени установившегося режима эксплуатации (без учета остановок по организационным причинам) секция находится в исправном состоянии.

События B, B_1, B_2, B_3 образуют полную группу событий, так как в процессе эксплуатации секции обязательно имеет место одно из них (простой секции по организационным причинам не включаются в анализируемое время 1709 ч). Они являются несовместимыми событиями, так как работа секции в данный момент времени несовместима с ее неисправным состоянием. Если же одно из событий B_1, B_2 или B_3 наступило и вызвало в данный момент времени остановку секции, то другие два из них реализоваться одновременно с наступившим событием не могут, потому что объект остановлен для устранения отказа, возникшего в результате действия одной из причин.

Из теории вероятностей известно, что сумма вероятностей полной группы несовместимых событий равна единице. Поэтому на основании теоремы сложения вероятностей несовместимых событий имеем

$$P(B) + P(B_1) + P(B_2) + P(B_3) = 1,$$

откуда

$$P(B) = 1 - P(B_1) - P(B_2) - P(B_3).$$

Количественные значения статистических вероятностей соответствующих событий получают, допуская одинаковую вероятность наступления каждого из событий в любом промежутке времени расследуемого периода эксплуатации и допуская, что величина вероятности какого-либо из событий пропорциональна времени, в котором это событие имело место за все изучаемое время эксплуатации. На основании изложенного вероятность события B (работы секции в любой произвольно выбранный момент времени)

$$P(B) = \frac{1202}{1709} = 1 - \frac{300 + 63 + 144}{1709} = 1 - 0,3 = 0,7.$$

Пример. Используя данные предыдущего примера, определить вероятность безотказной работы фабрики, состоящей из двух аналогичных секций при условии, что отказы секций являются независимыми событиями и выход из строя любой из секций приводит к отказу (снижению вдвое производительности) всей фабрики.

Обозначим вероятность появления отказов при работе любой из секций через q . Поскольку отказы в процессе работы секций наступают по причинам технических и технологических неисправностей, то вероятность отказа секции

$$q = \frac{300 + 63}{1709 + 300 + 63} = 0,17.$$

События «отказ» и «безотказная работа» несовместимы, противоположны и составляют полную группу событий, и поэтому сумма их вероятностей равна единице.

Вероятность безотказной работы секции

$$P = 1 - q = 1 - 0,17 = 0,83.$$

Безотказная работа фабрики, состоящей из двух секций, обеспечивается только при условии безотказной работы первой и второй секций фабрики. Учитывая, что случаи отказов секций являются событиями независимыми, т. е. вероятность возникновения отказа секции A , если ранее произошел отказ в работе секции B , равна $P(B/A) = P(B)$.

Тогда по теореме умножения вероятностей независимых событий, вероятность безотказной работы всей фабрики (системы)

$$P(AB) = P(A)P(B) = 0,83^2 = 0,699.$$

Пример. На обогащение подаются угли с разным содержанием класса $< 0,1$ мм. В процессе эксплуатации установлено, что вероятность вынужденных остановок секции обогащающих углей с повышенным содержанием класса $< 0,1$ мм составляет 0,369, а секции при обогащении углей с пониженным содержанием класса $< 0,1$ мм — 0,235.

Суточное соотношение времени работы секции, обогащающей уголь с повышенным содержанием класса $< 0,1$ мм, с работой секции с пониженным содержанием класса $< 0,1$ мм в среднем составляет 1 : 1.

Необходимо определить вероятность безотказной работы каждой секции в течение суток.

Вероятность отказа в работе секции при обогащении углей с повышенным содержанием класса $< 0,1$ мм равна произведению вероятностей события A_1 , заключающегося в появлении отказа секции обогащающей угли с повышен-

ным содержанием класса $\leq 0,1$ мм, и события A_2 , заключающегося в поступлении углей с повышенным содержанием класса $\leq 0,1$ мм в течение суток.

Условие: $P(A_2) = 0,5$; $P(A_1/A_2) = 0,235$. По теореме умножения вероятностей для совместимых событий находим

$$P(A_1A_2) = P(A_1)P(A_1/A_2) = 0,5 \cdot 0,235 = 0,1165.$$

Вероятность отказа в работе секции, обогащающей угли с повышенным содержанием класса $\leq 0,1$ мм, равна произведению вероятностей события A_3 , заключающегося в появлении отказа в секции, обогащающей угли с повышенным содержанием класса $\leq 0,1$ мм, и события A_4 , заключающегося в поступлении углей с повышенным содержанием класса $\leq 0,1$ мм в течение суток.

Условие:

$$P(A_4) = 0,5; \quad P(A_3/A_4) = 0,369,$$

при этом получим

$$P(A_3A_4) = P(A_3)P(A_3/A_4) = 0,5 \cdot 0,369 = 0,1845.$$

Поскольку события (A_1A_2) и (A_3A_4) несовместимы и образуют полную группу событий, то по теореме сложения вероятностей определяем вероятность появления отказа фабрики в течение суток:

$$q = P(A_1A_2) + P(A_3A_4) = P(A_1)P(A_1/A_2) + \\ + P(A_3)P(A_3/A_4) = 0,1165 + 0,1845 = 0,301.$$

Поскольку $P = q + 1$ — вероятность безотказной работы фабрики в течение суток,

$$P = 1 - q = 1 - 0,301 = 0,699.$$

§ 2. Дискретные случайные величины и законы их распределения

Величина t называется дискретной случайной величиной, если множество ее возможных значений представляет собой конечную или бесконечную последовательность чисел $t_1, t_2, t_3, \dots, t_i$ и если каждое событие $T = t_i$ имеет определенную вероятность P_i .

Примером дискретной случайной величины может являться количество отказов определенного типа углеобогажительного оборудования, возникающих за год его работы. Количество отказов может принимать значения 0, 1, 2, 3, 4 ... В результате опытов случайные величины получают конкретные значения. Если в точности будет указано, какой вероятностью обладает каждое из событий появления конкретных значений случайной величины, то случайная величина будет полностью описана с вероятностной точки зрения.

Соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями, называется законом распределения случайной величины.

Ряд распределения может быть представлен в виде таблицы, в которой приводятся возможные значения T_i — случайной величины T и соответствующие им вероятности P_i , при этом $\sum_{i=1}^n P_i = 1$.

Математическим ожиданием $M[T]$ дискретной случайной величины T называется сумма произведений всех ее возможных значений t_i на их вероятности P_i :

$$M(T) = \sum_{i=1}^n t_i P_i. \quad (59)$$

Математическое ожидание выборочного значения признака совпадает со средним значением признака в исходной совокупности. Эту исходную совокупность обычно называют генеральной совокупностью, а результат n испытаний, дающих выборочные значения признака, — выборочной совокупностью или просто выборкой. При этом среднее значение признака в генеральной совокупности называют генеральной средней, а среднее арифметическое из выборочных значений — выборочной средней.

Геометрический закон распределения вероятностей

$$P(t) = q^{m-1} P \quad (m=1, 2). \quad (60)$$

Ряд вероятностей представляет собой бесконечную убывающую геометрическую прогрессию со знаменателем q ; он сходится и его сумма равна единице

$$P + Pq + Pq^2 + \dots + Pq^{m-1} \dots = P \frac{1}{1-q} = 1.$$

Математическое ожидание

$$M[T] = \frac{1}{P}, \quad (61)$$

т. е. математическое ожидание числа опытов есть число, обратное точности проведения экспериментов.

Дисперсия является характеристикой рассеивания случайной величины, разбросанности ее значений около математического ожидания

$$D_t = \sum [t_i - M(T)]^2 P. \quad (62)$$

Наряду с дисперсией пользуются средним квадратическим отклонением случайной величины

$$\sigma_t = \sqrt{D_t}.$$

Биноминальное распределение.

$$P_i(t) = C_n^m P^m q^{n-m}, \quad (63)$$

где

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!} = \frac{n(n-1)\dots(n-m+1)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \dots m}.$$

Название этого закона связано с тем, что вероятности совпадают с соответствующими членами разложения бинома $(q + P)^n$ по сте-

пеням P . Сумма вероятностей у биномиального закона распределения равна единице, так как $q + P = 1$.

Математическое ожидание числа T появления события A

$$M[T] = nP. \quad (64)$$

Если вероятность брака в большой партии изделий составляет $P = 0,01$ (1%), то, проверяя выборку из $n = 200$ изделий, мы обнаружим $nP = 2$ бракованных изделия (конечно, допускаются и некоторые отклонения). Необходимо также отметить, что $M[T] = nP$ является целым числом.

Р а с п р е д е л е н и е П у а с с о н а .

$$P(t) = \frac{a^m}{m!} e^{-a} \quad (m = 0, 1, 2). \quad (65)$$

Сумма вероятностей распределения Пуассона равна единице. Математическое ожидание распределения Пуассона равно параметру a . $M(T) = a$, т. е. параметр a в этом распределении есть среднее число событий, наступающих за время t .

§ 3. Непрерывные случайные величины.

Законы распределения непрерывных случайных величин

Величина t называется непрерывной случайной величиной, если вероятность попадания ее значения в любой интервал (t_1, t_2) может быть представлена в виде интеграла от некоторой функции $P(t)$

$$P(t_1 < T < t_2) = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt. \quad (66)$$

Одной из основных задач при исследовании эксплуатационной надежности оборудования углеобогащительных фабрик является установление законов распределения показателей надежности на основании теории вероятностей. Знание законов распределения позволяет установить характер изменения этих законов во времени, дает возможность определить доверительные интервалы полученных данных.

Законом распределения случайной величины называется всякое соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями.

Функция распределения случайной величины является наиболее универсальной характеристикой закона распределения.

Наряду с функцией распределения, для характеристики непрерывных случайных величин используется производная функции распределения — плотность распределения $f(t)$ непрерывной случайной величины. График плотности распределения $f(t)$ называется кривой распределения вероятностей.

На практике о распределении вероятностей случайной величины часто приходится судить только по результатам испытаний. Если применяется модель с непрерывной случайной величиной T , то частоты, так же как и вероятности, надо относить не к отдельным значениям, а к интервалам. Для этого весь диапазон возможных значений случайной величины T необходимо разбить на интервалы. При большом числе испытаний отношения этих чисел к общему числу N произведенных испытаний должны быть близки к вероятностям попадания в эти интервалы. Зависимость частот от интервалов определяет эмпирическое распределение непрерывной величины T . Для удобства графической иллюстрации полученного эмпирического распределения непрерывной случайной величины весь диапазон ее возможных значений разбивают на интервалы и строят гистограмму. Таким образом получают приближенное представление кривой распределения в виде некоторой ступенчатой линии.

Математическим ожиданием $M(T)$ непрерывной случайной величины T называется интеграл от произведения ее значений T на плотность распределения вероятностей $f(t)$

$$M(T) = \int_{-\infty}^{\infty} T f(t) dt. \quad (67)$$

Дисперсия определяется из соотношения

$$D_t = \int_{-\infty}^{\infty} T^2 f(t) dt - M[T]^2. \quad (68)$$

Зависимость изменения интенсивности отказов элементов технических изделий приведена на рис. 49, а.

Участок I кривой на рис. 49, а соответствует периоду приработки элементов, когда наблюдается повышенное число их отказов в результате выхода из строя элементов со скрытыми дефектами, ошибок производства, неопытности обслуживающего персонала. Участок приработки в процессе эксплуатации механизмов может отсутствовать. Это имеет место в том случае, когда на заводе-изготовителе произведена тщательная отбраковка элементов с внутренними дефектами и осуществлена приработка механизмов в процессе стендовых испытаний.

Участок II кривой на рис. 49, а, называемый периодом нормальной эксплуатации элементов, характеризуется пониженным уровнем и постоянством интенсивности отказов. Этот участок несоизмеримо более длинный, чем участок приработки. Уменьшение частоты отказов с течением времени вовсе не означает, что надежность повышается, а это говорит о том, что все скрытые дефекты производства уже были выявлены.

Участок III на рис. 49, а характеризуется тем периодом работы изделия, когда время его работы достигает значения t_2 и начинает сказываться износ элементов. С этого момента интенсивность отказов довольно быстро возрастает.

В целом ряде случаев полученные экспериментальные распределения, описывающие конкретные процессы возникновения отказов, могут быть заменены для удобства расчетов известными в теории вероятности распределениями.

Для характеристики появления отказов механизмов и машин, как показывают некоторые исследования и статистические дан-

ные, в теории надежности в большинстве случаев встречаются следующие законы распределения; экспоненциальное (показательное), Рэлея, гамма-распределение, нормальное, нормально-логарифмическое, Вейбулла.

Экспоненциальный закон. В ряде исследований [32] показано, что если отказы оборудования происходят не в результате постепенного износа, а вследствие проявления случайных факторов, то распределение наработки на отказ этого оборудования будет близко к экспоненциальному [при этом плотность распределения рассчитывается по формуле (16)].

При экспоненциальном законе распределения времени возникновения отказов интенсивность отказов является величиной постоянной, т. е. справедливо усло-

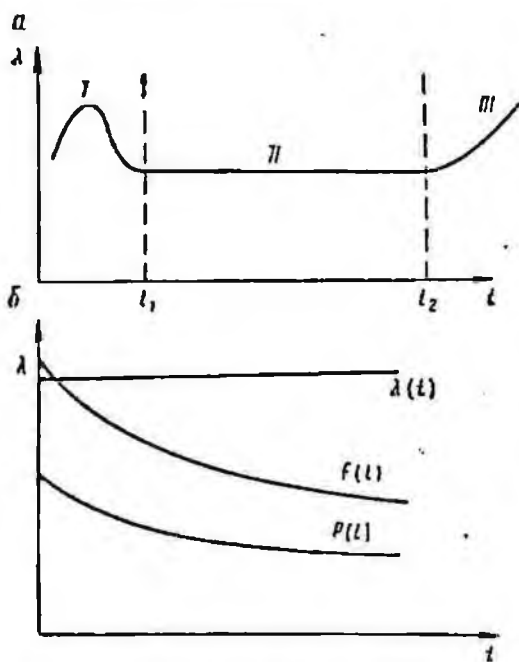


Рис. 49. Зависимость изменения интенсивности отказов элементов (а) и характеристика экспоненциального распределения наработки на отказ (б)

вие $\lambda(t) = \lambda = \text{const.}$ Это значит, что средняя частота отказов — величина постоянная.

Основные характеристики при экспоненциальном законе распределения:

вероятность безотказной работы $P(t)$;

интенсивность отказов $\lambda(t)$;

среднее время безотказной работы, T .

Вероятность безотказной работы при экспоненциальном законе распределения характеризуется следующей зависимостью

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (69)$$

Среднее время безотказной работы определяется интегрированием значения $P(t)$

$$T = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = -\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda t} \Big|_0^{\infty} = \frac{1}{\lambda}. \quad (70)$$

В случае экспоненциального закона распределения рассмотренные характеристики пригодны для оценки надежности как неремонтируемого, так и ремонтируемого оборудования, работающего в условиях замены отказавших деталей.

Из приведенного выше выражения для вероятности безотказной работы видно, что она уменьшается с течением времени. Очевидно, что при $t = T$ вероятность безотказной работы

$$P(t) = e^{-\lambda t} = \frac{1}{e} = 0,37.$$

При экспоненциальном законе распределения среднее квадратическое отклонение времени возникновения отказов равно среднему времени безотказной работы. Это свойство на практике может быть использовано для проверки достоверности гипотезы о принятом законе распределения. Для этого из статистических данных об отказах механизмов определяется среднее время безотказной работы и среднее квадратическое отклонение. Если они равны или близки, то это может служить доказательством правдоподобия принятой гипотезы.

Этот закон на практике используется для описания наработки на отказ восстанавливаемых изделий, а у восстанавливаемых изделий — при определении среднего времени восстановления между последовательными отказами.

Характеристики экспоненциального распределения наработки на отказ приведены на рис. 49, б.

Характерной особенностью экспоненциального закона распределения является то, что вероятность отказа изделия в некоторый период времени не зависит от наработки к началу этого периода.

Экспоненциальный закон распределения имеет всего один параметр λ , между тем как другие виды распределения имеют несколько параметров. Поэтому вследствие простоты расчетов закон получил широкое применение.

В машиностроении экспоненциальному закону подчиняются отказы изделий, имеющих характер внезапных поломок, обусловленных случайными факторами, не свойственными обычной эксплуатации, а также отказы, вызываемые различными механическими повреждениями. При этом подавляющее большинство причин отказов может быть устранено в процессе профилактического ремонта оборудования.

Распределение Рэля. Это распределение положительной случайной величины с плотностью

$$f(t) = \frac{t}{\sigma^2} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}, \quad (71)$$

где σ — параметр распределения.

Это распределение иногда встречается на практике. Нарботка на отказ эксцентриковых деталей в машиностроении распределена по этому закону.

Вероятность безотказной работы при распределении Рэля находится по уравнению

$$P(t) = e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}. \quad (72)$$

Интенсивность отказов и среднее время безотказной работы выражается следующими зависимостями:

$$\lambda(t) = \frac{t}{\sigma^2} \quad \text{и} \quad T = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma, \quad (73)$$

т. е. математическое ожидание при этом законе распределения равно $1,253 \sigma$, а коэффициент вариации $V = 0,52$.

Основные характеристики надежности закона Рэля при ведены на рис. 50, а.

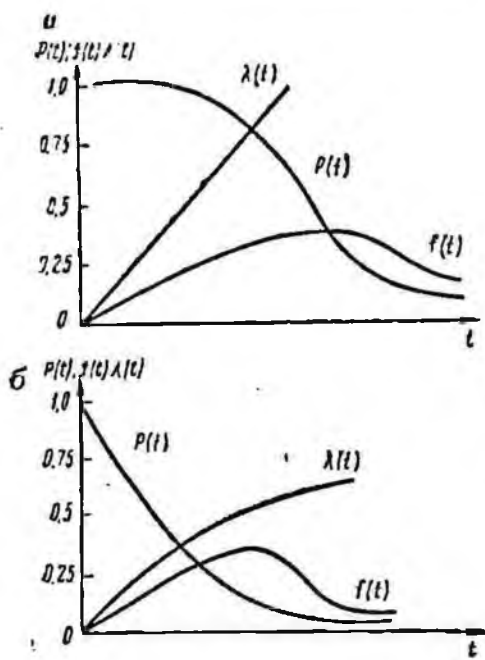


Рис. 50. Характеристики надежности:

а — закон Рэля; б — гамма-распределение

Интенсивность отказов при распределении наработок на отказ по закону Рэля растет линейно с течением времени. При этом с течением времени вероятность безотказной работы уменьшается значительно интенсивнее, чем при экспоненциальном законе. На рис. 50, а также видно, что в области малых значений t , где интенсивность отказов незначительна, вероятность безотказной работы уменьшается с течением времени медленнее, чем при экспоненциальном законе. На практике это может обозначать следующее: сложные системы, предназначенные для небольшого промежутка времени безотказной работы, целесообразно создавать из деталей, имеющих рэлеевский закон распределения между отказами.

В области больших значений t вероятность безотказной работы системы с рэлеевским законом распределения уменьшается с течением времени значительно быстрее, чем при экспоненциальном.

Г а м м а - р а с п р е д е л е н и е. Это распределение бывает у изделий при применении ненагруженного резервирования замещением, если параболка на отказ у невосстанавливаемых изделий имеет экспоненциальное распределение. Кроме того, если поток отказов у восстанавливаемого изделия простейший, то наработка между отказами подчиняется гамма-распределению.

Случайная положительная величина подчиняется гамма-распределению, если ее плотность распределения имеет вид

$$f(t) = \lambda_0 \frac{(\lambda_0 t)^{k-1}}{(k-1)!} e^{-\lambda_0 t}, \quad (74)$$

где λ_0 и k — параметры распределения, причем k — целое число.

Вероятность безотказной работы выражается формулой

$$P(t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}. \quad (75)$$

Параметр k характеризует асимметрию и эксцесс гамма-распределения. В зависимости от его величины существенно изменяется вид основных количественных характеристик надежности.

Математическое ожидание величины t и ее дисперсия находятся по уравнениям

$$T = \frac{k}{\lambda_0}, \quad \sigma^2 = \frac{k}{\lambda_0^2}.$$

Отсюда получаем выражение для коэффициента вариации

$$V = \frac{\sigma}{T} = \frac{1}{\sqrt{k}}.$$

Характеристики надежности гамма-распределения для $k > 1$ приведены на рис. 50, б.

При $k = 1$ гамма-распределение превращается в экспоненциальное. Это распределение хорошо описывает процесс возникновения отказов резервированных систем по способу замещения при условии, что потоки отказов основной системы и всех резервных являются простейшими, в этом случае параметр распределения k равен числу всех систем, т. е. $k = m + 1$.

Н о р м а л ь н о е р а с п р е д е л е н и е. Это распределение широко используется при описании отказов изделий, возникающих в результате износа элементов. Этот закон достаточно хорошо описывает наработку восстанавливаемого изделия до капитального ремонта [25], наработка на отказ невосстанавливаемых изделий иногда приближенно распределена по нормальному закону.

Нормальным распределением называется распределение вероятностей непрерывной случайной величины, которая может принимать как отрицательные, так и положительные значения во всем диапазоне возможных значений от минус до плюс бесконеч-

ности. При оценке показателей надежности количественные характеристики — это положительные величины, поэтому точного соответствия здесь не может быть. Однако если у нормального распределения коэффициент вариации $\leq 1/3$, то вероятность получения отрицательных значений настолько мала, что ею можно пренебречь.

Кривая нормального распределения имеет симметричный колообразный вид (рис. 51, а), плотность распределения которого рассчитывается по формуле (9).

Нормальное распределение возникает тогда, когда на исследуемую величину действует множество случайных факторов, каждый из которых вносит незначительный вклад в суммарное значение отклонения величины от ее среднего значения, но ни один из них не является преобладающим над всеми другими, так как в противном случае закон распределения этой преобладающей ошибки будет влиять на сумму и определять ее закон распределения.

Вероятность безотказной работы при нормальном законе распределения определяется по формуле

$$P(t) = 1 - \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-T)^2}{2\sigma^2}} dt. \quad (76)$$

Длительность безотказной работы изделий не может быть отрицательной. Поэтому при рассмотрении вопросов, связанных с количественными характеристиками надежности, имеет смысл рассматривать только усеченный нормальный закон распределения времени между отказами.

Из рис. 51, а видно, что интенсивность отказов с течением

времени при нормальном законе распределения сильно растет. Это значит, что поток отказов не является стационарным и имеет место старение элементов. В области малых значений t старение элементов оказывает незначительное влияние на надежность и поэтому вероятность безотказной работы изделия уменьшается незначительно. В области больших значений (t) плотность распределения практически совпадает с интенсивностью отказов.

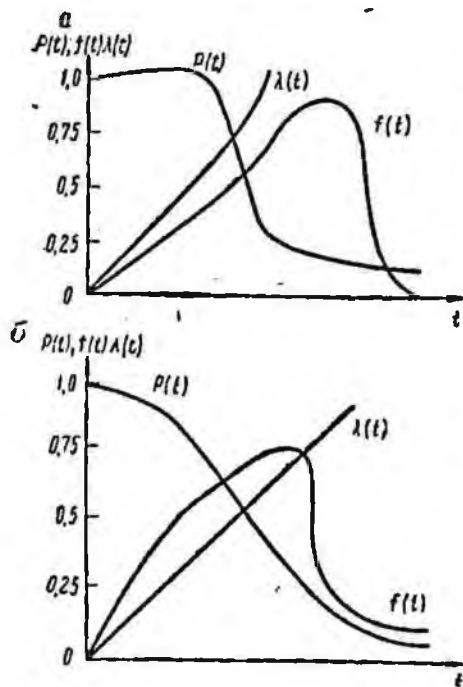


Рис. 51. Характеристики надежности:

а — при нормальном законе распределения; б — при распределении случайной величины по закону Вейбулла ($V=2$)

Логарифмически нормальное распределение. Случайная величина имеет логарифмически нормальное распределение, если ее логарифм распределен нормально.

В теории надежности это распределение используется для характеристики наработки на отказ невосстанавливаемых изделий. В ряде случаев время восстановления подчиняется логарифмически нормальному распределению.

Плотность распределения выражается зависимостью

$$f(t) = \frac{M}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\lg t - \lg T)^2}{2\sigma^2} \right], \quad (77)$$

где $M = 0,4343$ — коэффициент перехода от натуральных к десятичным логарифмам;

$\lg T$ — математическое ожидание логарифма случайной величины.

Распределение Вейбулла. Это распределение получило широкое распространение при оценке уровня надежности изделий машиностроения и радиоэлектроники. Наработка на отказ у многих невосстанавливаемых изделий имеет распределение Вейбулла. Плотность распределения при этом рассчитывается по формуле (13), а вероятность безотказной работы по формуле (14).

Характеристики надежности вейбулловского распределения для коэффициента вариации $V > 1$ приведены на рис. 51, б.

При коэффициенте вариации $V = 1$ распределение Вейбулла превращается в экспоненциальное.

Глава VI

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ

Количественно оценить надежность можно только статистическим методом — обработкой большого количества данных, полученных при испытаниях или при эксплуатации изделий, так как показатели надежности, особенно сложных технических устройств, зависят от большого числа случайных факторов и являются типичными статистическими параметрами.

Математические методы и положения теории надежности были разработаны главным образом для радиоэлектроники, где получили наиболее широкое распространение. В этой отрасли были впервые применены показатели для количественной оценки надежности систем, изделий и их элементов.

С. Р. Калабро [51] в качестве показателей надежности предлагает: интенсивность отказов, коэффициент интенсивности отказов, наработку на отказ, вероятность безотказной работы, среднее время обслуживания, коэффициент готовности, коэффициент простоя, частоту обслуживания и др.

В литературе [52] приводятся следующие показатели надежности: средняя наработка на отказ, интенсивность отказов, вероятность безотказной работы, вероятность отказа, коэффициент приращивания интенсивности отказов, эффективность ремонта, коэффициент использования оборудования, коэффициент готовности, среднее время планового ремонта.

В настоящее время издано значительное количество работ, посвященных проблеме надежности. Наиболее полно показатели надежности представлены в литературе [53].

Количественные показатели, с помощью которых можно судить о надежности изделий, различны. Некоторые из них могут быть использованы для оценки надежности простых элементов типа шарикоподшипника, импеллера флотационной машины, т. е. таких элементов, ремонт которых не предусматривается и которые после отказа не используются (разового использования или невосстанавливаемые). Другие показатели учитываются при оценке надежности сложных изделий, являющихся совокупностью простых элементов, любой отказ которых может быть устранен, после чего они могут быть использованы вновь (многократного использования или восстанавливаемые).

Поэтому надежность невосстанавливаемых изделий в процессе их работы следует характеризовать лишь в течение времени от начала работы до первого отказа. Количественными характеристиками надежности в данном случае могут быть: вероятность безотказной работы $P(t)$; средняя наработка до первого отказа $T_{\text{ср}}$; интенсивность отказов $\lambda(t)$ и др.

Восстанавливаемые изделия, как правило, ремонтируются, т. е. работают в режиме смены отказавших элементов и для них количественными характеристиками надежности могут быть: вероятность безотказной работы $P(t)$; среднее время между соседними отказами $\bar{t}$ (наработка на отказ); средняя частота отказов $\lambda(t)$ (параметр потока отказов); среднее время восстановления $T_{\text{в}}$; вероятность восстановления $F(t_{\text{в}})$; коэффициент готовности k_r ; коэффициент отказов элементов k_o ; коэффициент использования $k_{\text{и}}$ и др.

Показатели надежности, используемые для количественной оценки надежности оборудования, можно разделить на четыре основные группы: безотказности, ремонтпригодности, долговечности и комплексные показатели.

§ 1. Показатели безотказности

Безотказность — свойство изделия сохранять работоспособность в течение некоторой наработки без вынужденных перерывов.

К наиболее распространенным показателям безотказности относятся: вероятность безотказной работы, наработка на отказ, средняя наработка до первого отказа и интенсивность отказов.

Вероятность безотказной работы изделия — это вероятность того, что оно будет сохранять свои характеристики (параметры) в заданных пределах в течение определенного промежутка времени при определенных условиях эксплуатации. Этот показатель применяется при характеристике надежности систем автоматического управления и электронной аппаратуры, изделий радиоэлектроники и машиностроения, деталей и узлов автомобилей и механических систем. В различных отраслях промышленности этот показатель имеет различное название. Так, для устройств автоматического контроля размеров это вероятность безотказного контроля; для аппаратуры и средств автоматизации в угольной промышленности — вероятность исправной работы; для автоматических роторных линий — вероятность неповреждения. Однако физический смысл его везде одинаковый.

Функция распределения вероятности безотказной работы выражается зависимостью

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt = 1 - \int_0^t f(t) dt = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

Статистически вероятность безотказной работы определяется по формулам:

для восстанавливаемых изделий

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0},$$

где N_0 — количество образцов оборудования, взятых под наблюдение;

$n(t)$ — число образцов оборудования, отказавших за время t ; для восстанавливаемых изделий

$$P(t) = \frac{N(t)}{N_0},$$

где $N(t)$ — количество образцов оборудования, работоспособных к моменту t .

На практике иногда более удобной характеристикой является вероятность неисправной работы или вероятность отказа Q . Исправная работа и отказ являются событиями несовместимыми и противоположными, поэтому вероятность безотказной работы и вероятность отказа связаны зависимостью

$$Q(t) = 1 - P(t)$$

Вероятность отказа является интегральной функцией распределения времени работы изделия до отказа, т. е.

$$Q(t) = F(t),$$

где $F(t)$ — интегральная функция распределения. Эта величина означает вероятность того, что в течение времени t произойдет хотя бы один отказ.

Производная от интегральной функции распределения есть дифференциальный закон (плотность) распределения

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}.$$

Основными показателями безотказности, дающими непосредственную оценку надежности изделия во времени безотказной работы, являются средняя наработка до первого отказа (среднее время безотказной работы) и средняя наработка на отказ.

Средняя наработка до первого отказа характеризует надежность до первого отказа. Это значит, что оно хорошо характеризует надежность восстанавливаемых изделий. Эту величину можно использовать и для оценки надежности сложных систем. Однако в этом случае T характеризует надежность до первого отказа. У изделий длительного использования, работающего в режиме смены отказавших элементов, средняя наработка до первого отказа может существенно отличаться от средней наработки между отказами. Поэтому для характеристики

надежности восстанавливаемых изделий используют такое понятие, как наработка на отказ.

Средним временем безотказной работы называется математическое ожидание времени безотказной работы, которое определяется из выражения

$$T = \int_0^{\infty} P(t) dt,$$

т. е. среднее время безотказной работы есть площадь под кривой вероятности безотказной работы.

Подставляя в эту формулу значение $P(t)$, получим

$$T = \int_0^{\infty} e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} dt.$$

Откуда видно, что T легко вычисляется по известной интенсивности отказов λ .

Статистически средняя наработка до первого отказа определяется по формуле

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{N_0},$$

где t_i — время безотказной работы i -го образца.

Н а р а б о т к а н а о т к а з как показатель, характеризующий надежность, широко используется практически во всех отраслях народного хозяйства, хотя и имеет различные названия. Так, для оценки надежности изделий радиоэлектроники и автомобилей это среднее время между двумя соседними отказами, для оценки автоматического контроля размеров — среднее время безотказного контроля, для металлорежущих станков — время станка между настройками и т. д.

Наработка на отказ рассчитывается на основании статистических данных об отказах изделий из соотношения

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{N},$$

где $\sum t_i$ — общее время исправной работы изделия за определенный календарный срок, равное сумме интервалов исправной работы между соседними отказами;

N — число отказов за период наблюдений.

Из этого выражения видно, что для определения $\bar{t}$ необходимо знать интервалы исправности работы между соседними отказами.

При этом с одной стороны необходимо иметь в виду то, что чем больше имеется интервалов исправной работы изделия, тем точнее определяется $\bar{t}$, с другой — при чрезмерно длительном периоде испытаний возрастают затраты на их проведение. Поэтому для определения достоверного значения наработки на отказ определенного типа изделия необходимо провести расчет минимально допустимой длительности эксперимента при заданной точности получаемого результата.

Интенсивность отказов — это вероятность отказа невосстанавливаемого изделия в единицу времени после данного момента времени при условии, что отказ до этого момента не возник, т. е. число отказов $n(t)$ в единицу времени Δt , отнесенное к числу изделий $N(t)$, оставшихся исправными к началу рассматриваемого промежутка времени. При этом отказавшие изделия не заменяются.

Вероятностная зависимость для определения интенсивности отказов имеет вид

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}.$$

Подставив в последнее выражение значение $P(t)$, получим

$$f(t) = \lambda(t) e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}.$$

Несмещенную оценку интенсивности отказов можно определить на основании статистических данных по формуле

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N_{\text{ср}}(t) \Delta t},$$

где $N_{\text{ср}}(t)$ — среднее значение исправно работающих образцов в интервале Δt ;

Δt — интервал времени.

Интенсивность отказов как количественная характеристика надежности обладает рядом достоинств. Она является функцией времени и позволяет наглядно установить характерные участки работы изделий. Действительно, если известно время приработки и время конца нормальной работы, то можно установить ресурс до ремонта. Это позволяет уменьшить число отказов при эксплуатации, т. е. приводит к конечном счете к повышению надежности изделий.

Интенсивность отказов как количественная характеристика надежности имеет тот недостаток, что она позволяет достаточно точно характеризовать надежность изделий лишь до первого отказа. Поэтому она является удобной характеристикой надежности систем разового использования.

§ 2. Показатели ремонтпригодности

Ремонтпригодность — это свойство изделия, заключающееся в его приспособленности к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

В процессе эксплуатации оборудования изменяется его техническое состояние. Необратимые процессы, происходящие в материалах, изменяют свойства деталей, узлов и условия их работы. Вероятность безотказной работы машин со временем уменьшается, появляются неисправности и отказы.

Для поддержания заданного уровня безотказной работы при эксплуатации машины ее важнейших свойств, заложенных на этапах конструирования и изготовления, недостаточно. Большое влияние на показатели безотказности оказывает система их технического обслуживания и ремонта. Правильно построенная система профилактики способствует уменьшению потока отказов и увеличению долговечности машин. Вместе с тем проведение профилактических мероприятий существенно уменьшает фонд времени, в течение которого машины можно использовать по прямому назначению, т. е. уменьшает коэффициенты их готовности и технического использования. На практике стремятся к максимальному сокращению объемов технического обслуживания и ремонта без ущерба, конечно, для показателей безотказности. Однако не везде и не всегда это получается.

Наиболее ощутимые результаты достигают там, где обеспечен высокий уровень ремонтпригодности машин, позволяющий запланированные объемы профилактики и текущий ремонт выполнять при минимальных затратах времени, труда и средств.

Проблема повышения ремонтпригодности особо остро возникает в связи с непрерывным усложнением конструкций машин, с одной стороны, и ростом требований к обеспечению надежности и эффективности их использования, с другой.

Это вполне объяснимо, так как с ростом сложности конструкций машин:

- значительно возрастают объемы технического обслуживания и плановых ремонтов;
- затрудняется контроль параметров из-за их многообразия;
- усложняется процесс обнаружения и устранения отказов и неисправностей;

- увеличивается вероятность появления отказов в связи с проведением обслуживания и ремонта.

Если раньше, ввиду простоты технических устройств и небольшого числа комплектующих их элементов, отказы происходили редко, и для восстановления работоспособного состояния устройств не требовалось много труда и времени, то теперь картина резко изменилась.

Требования к оборудованию и системам растут из года в год и сводятся в основном к следующему:

повышению интенсивности работы;
увеличению разнообразия работы (расширение диапазона изменения свойств среды);

повышению требований к точности работы оборудования (улучшение качества выпускаемой продукции).

В настоящее время сложилось такое положение в некоторых видах современных машин, что рост количества комплектующих элементов значительно опережает рост их безотказности. Это приводит к уменьшению среднего времени и средств на проведение технического обслуживания и ремонта.

В ряде случаев расходы на техническое обслуживание и ремонт машин в связи с низкой ремонтопригодностью в несколько раз превосходят их первоначальную стоимость.

Между характеристиками безотказности, объемами профилактических работ и показателями ремонтопригодности машин существует определенная взаимосвязь. Так, для машин с низкими характеристиками безотказности требуются большие объемы профилактики и, следовательно, высокий уровень ремонтопригодности.

Ремонтопригодность, как и безотказность, не существует сама по себе. Она проявляется в процессе эксплуатации машин. Поэтому исследование вопросов ремонтопригодности, обоснование технических требований, выбор показателей для ее расчета и оценки необходимо проводить в тесной связи с вопросами использования, технического обслуживания и ремонта оборудования.

Из показателей, характеризующих ремонтопригодность изделий, наиболее часто используется вероятность восстановления в течение времени t , среднее время восстановления, интенсивность восстановления, вероятность технического обслуживания, среднее время технического обслуживания. Кроме того, для оценки ремонтопригодности оборудования также используются такие показатели, как коэффициент удельных простоев; трудоемкость технического обслуживания и ремонтов; удельные трудовые затраты; стоимость технического обслуживания и ремонтов; удельные затраты на материалы и запасные части [54].

Под вероятностью восстановления в течение времени t_v понимается вероятность того, что случайное время восстановления T_v будет не больше заданного t_v , т. е. оборудование будет восстановлено в течение заданного периода времени

$$F(t_v) = F_1(T_v \leq t_v).$$

Этот показатель применяется для характеристики электронного оборудования, аппаратуры, приборов и средств автоматизации в угольной промышленности, изделий машиностроения и в других отраслях. Его называют временем восстановления нормальной работы системы, вероятностью восстановления удовлетворительной работы аппаратуры.

Вероятность восстановления рассчитывается в зависимости от закона распределения среднего времени восстановления. Закон же распределения времени восстановления определяется в основном методом отказавшего элемента и особенностями конструкции машины. Если в машине устранение отказа производится методом замены отказавшей детали, то при этом наблюдается показательный закон распределения времени восстановления, который описывается выражением

$$F(t_v) = 1 - e^{-\mu t_{пл}},$$

где μ — интенсивность восстановления;

$t_{пл}$ — плановое время простоя машины.

Среднее время восстановления. Оно применяется в качестве показателя, характеризующего ремонтпригодность для изделий машиностроения, средств автоматизации в угольной промышленности. Оставаясь одинаковым по технической сущности, этот показатель имеет различные названия: среднее время обслуживания, среднее время одного цикла обслуживания, средняя продолжительность устранения одного отказа, средняя продолжительность восстановления работоспособности после возникновения отказа и пр.

Статистическое определение среднего времени восстановления производится по формуле

$$T = \frac{\sum_{i=1}^N t_v}{N},$$

t_v — время i -го восстановления или ремонта машины.

Интенсивность восстановления — это условная плотность распределения продолжительности восстановления работоспособности изделия, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени восстановление работоспособности не завершено.

Она определяется как обратная дробь от среднего времени восстановления и выражается в зависимости от числа операций на 1 ч

$$\mu = \frac{1}{T_v}.$$

Под вероятностью технического обслуживания изделия понимается вероятность того, что случайное время обслуживания будет меньше заданного времени

$$P(t) = P(t_{т.о.} \leq t).$$

Среднее время технического обслуживания $T_{т.о.}$ представляет собой математическое ожидание времени технического обслуживания. Статистически оно опреде-

ляется как отношение суммарного времени, затраченного на обслуживание всех однотипных изделий данного типа, к их числу.

Удельные простои оборудования — это отношение суммарных простоев в часах на всех видах технического обслуживания и ремонтов за ремонтный цикл к длительности ремонтного цикла, которые определяются по формуле

$$K_n = \frac{П_о + П_p + П_{от}}{T},$$

где K_n — коэффициент удельного простоя;

$П_о, П_p$ — суммарные простои на всех видах технического обслуживания и ремонтов, ч;

$П_{от}$ — суммарные простои при установлении отказов за ремонтный цикл, ч;

T — длительность ремонтного цикла оборудования, ч.

Суммарные простои $П_о$ и $П_{от}$ находят, исходя из принятых для каждого типа оборудования видов профилактического обслуживания и ремонта и средних значений простоев оборудования на каждом из этих видов профилактики. Суммарное время простоя при устранении отказов оборудования определяются сбором сведений при эксплуатации оборудования или стендовых испытаниях.

С целью оценки качества оборудования на стадии эксплуатации большое значение имеют такие показатели, как трудоемкость и стоимость технического обслуживания и ремонтов.

Средняя трудоемкость технического обслуживания и ремонтов — это суммарные трудовые затраты на проведение технического обслуживания, всех видов ремонтов и на выполнение работ по устранению отказов оборудования.

Средняя трудоемкость технического обслуживания и ремонтов измеряется в человеко-часах. Этот показатель зависит не только от эксплуатационных свойств оборудования, но и от уровня организации работ, квалификации обслуживающего персонала, наличия средств механизации.

Средняя трудоемкость технического обслуживания и ремонтов может быть рассчитана по формуле

$$K = T_o + T_p + T_{от} + \sum_{i=1}^N T_{ai} n_i,$$

где K — средняя трудоемкость технического обслуживания и ремонтов, чел.-ч;

T_o, T_p — суммарные трудовые затраты на выполнение всех видов технического обслуживания и ремонтов соответственно за ремонтный цикл оборудования, чел.-ч;

$T_{от}$ — суммарные трудовые затраты на выполнение работ по устранению отказов за ремонтный цикл машины, чел.-ч;

T_{a_i} — трудовые затраты на капитальный ремонт i -го узла оборудования, чел.-ч;

n_i — количество узлов каждого типа в машине, шт.

Суммарные трудовые затраты T_o и T_p находят, исходя из плановых видов обслуживания, ремонтов и средних значений трудовых затрат на каждый из этих видов обслуживания и ремонтов. Суммарные трудовые затраты при выполнении работ по устранению отказов оборудования определяются проведением стендовых испытаний или специальных наблюдений за работой оборудования в условиях эксплуатации с фиксацией длительности проведения восстановительных работ и численности ремонтного персонала.

В ряде случаев для оценки ремонтнопригодности различных типов оборудования удобнее иметь дело не с абсолютными значениями трудоемкости технического обслуживания и ремонтов, а с удельными значениями трудовых затрат за определенный период времени.

Удельные трудовые затраты могут быть рассчитаны как отношение средней трудоемкости технического обслуживания всех видов ремонтов и трудоемкости на выполнение работ по устранению отказов к длительности ремонтного цикла оборудования. Размерность удельной трудоемкости — чел.-ч/ч работы. Этот показатель определяется из соотношения

$$K_T = \frac{T_o + T_p + T_{от}}{T} + \sum_{i=1}^N \frac{T_{k_i} n_i}{\mu_{a_i} (1 - K_{a_i})},$$

где K_T — удельная трудоемкость, чел.-ч/ч;

μ_{a_i} — межремонтный ресурс i -го узла, ч;

K_{a_i} — коэффициент досрочных замен узлов.

Средняя стоимость технического обслуживания и ремонтов представляет собой средние суммарные затраты на проведение технического обслуживания и всех видов ремонтов оборудования данного типа за определенный период эксплуатации, которая определяется из соотношения

$$C = C_{т.о} + C_p,$$

где C — стоимость технического обслуживания и ремонтов за определенный период эксплуатации, руб.;

$C_{т.о}$ — стоимость операций по техническому обслуживанию, руб.;

C_p — стоимость операций по проведению всех видов плановых ремонтов, руб.

Стоимость операций по техническому обслуживанию — это суммарная стоимость трудовых затрат с начислениями, деталей, заменяемых при проведении операций по техническому обслуживанию, и вспомогательных материалов, которая рассчитывается по формуле

$$C_{т.о} = C_{т.з} + C_d + C_{в.м},$$

где $C_{т.з}$ — стоимость трудозатрат на операции технического обслуживания или заработная плата с начислениями рабочих, занятых проведением операций технического обслуживания, руб.;

C_d — стоимость деталей, заменяемых при проведении операций технического обслуживания, руб.;

$C_{в.м}$ — стоимость вспомогательных материалов, используемых при проведении операций по техническому обслуживанию и ремонту, руб.

Стоимость трудозатрат на операции технического обслуживания определяется из выражения

$$C_{т.з} = K_{т.о} U_p \cdot 1,09,$$

где $K_{т.о}$ — трудоемкость операций по проведению технического обслуживания, чел.-ч;

U_p — тарифная часовая ставка рабочих, руб.;

1,09 — коэффициент, учитывающий начисления на заработную плату.

Стоимость операций по проведению всех видов плановых ремонтов — это суммарная стоимость трудозатрат с начислениями, деталей и узлов, заменяемых при проведении всех видов ремонтов с учетом их доставки к месту ремонта.

Этот показатель определяется из соотношения

$$C_p = C'_{т.з} + C'_d + C_{дос},$$

где $C'_{т.з}$ — стоимость трудозатрат на операции по проведению всех видов плановых ремонтов или заработная плата с начислениями рабочих, занятых проведением ремонтов, руб.;

C'_d — стоимость узлов и деталей, заменяемых при проведении всех видов ремонтов (плановых), руб.;

$C_{дос}$ — стоимость доставки узлов и деталей, руб.;

$$C'_{т.з} = K_p U_p \cdot 1,09,$$

K_p — трудоемкость операций по проведению всех видов плановых ремонтов, чел.-ч.

Удельная стоимость технического обслуживания и ремонтов — это отношение средних суммарных затрат на проведение технического обслуживания и всех видов ремонтов оборудования к длительности ремонтного цикла.

Удельные затраты на материалы и запасные части представляют собой отношение суммарных затрат в рублях на запасные части при выполнении всех видов технического обслуживания и ремонтов, устранении отказов за

ремонтный цикл к длительности ремонтного цикла в часах. Этот показатель рассчитывается по формуле

$$K_3 = \frac{C_0 + C_p + C_{от}}{T} + \sum_{i=1}^N \frac{C_{a_i} n_i}{\mu_{a_i} (1 - K_{a_i})},$$

где K_3 — коэффициент удельных затрат на материалы и запасные части, руб/ч;

C_0 , C_p — суммарные затраты на запасные части при выполнении всех видов технического обслуживания и ремонтов соответственно за ремонтный цикл, руб.;

$C_{от}$ — суммарные затраты на запасные части при выполнении работ по устранению отказов за ремонтный цикл, руб.;

C_{a_i} — затраты на материалы и запасные части при капитальном ремонте i -го узла, руб.

§ 3. Показатели долговечности

Долговечность — это свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов.

Предельное состояние изделия определяется невозможностью его дальнейшей эксплуатации либо обусловленным снижением эффективности.

К наиболее распространенным показателям долговечности можно отнести такие показатели, как технический ресурс, срок службы, межремонтный технический ресурс, ресурс до первого капитального ремонта.

Технический ресурс — это наработка изделия от определенного времени до наступления предельного состояния.

Срок службы — это календарная продолжительность эксплуатации изделия до момента возникновения предельного состояния, оговоренного в технической документации, или до списания.

Межремонтный технический ресурс является важным показателем, характеризующим долговечность как отдельных узлов, так и машин в целом.

Межремонтным техническим ресурсом называется длительность периода эксплуатации машины или ее отдельных узлов от предыдущего до последующего ремонта, выраженная в единицах наработки, при условии своевременного и качественного проведения операций технического обслуживания.

Установленная величина межремонтного технического ресурса является основой для разработки технической документации на ремонт машины. Величина межремонтного технического ресурса должна быть оптимальной, обуславливающей наибольшее использование сроков службы деталей с учетом обеспечения

наивыгоднейших технико-экономических показателей работы оборудования.

Фактические значения межремонтной наработки конкретных машин могут значительно отличаться от установленной величины оптимального технического ресурса. Это объясняется, с одной стороны, разнообразием условий реальной эксплуатации оборудования, а с другой стороны, технологическим несовершенством самого процесса ремонта.

Ресурс до первого капитального ремонта — это ресурс от начала эксплуатации объекта до его первого капитального ремонта.

§ 4. Комплексные показатели надежности

Комплексные показатели надежности выражаются в виде различных коэффициентов, которые можно объединить в следующие группы:

коэффициенты, характеризующие соотношение между временем работы и временем простоя оборудования (коэффициенты готовности, технического обслуживания, вынужденного простоя, профилактики);

коэффициенты, характеризующие влияние надежности деталей, установленных в данное изделие, на надежность этого изделия (коэффициент отказов, относительный коэффициент отказов);

коэффициенты, характеризующие частоту профилактических мероприятий (частота профилактики).

§ 5. Коэффициенты, характеризующие вынужденный простой оборудования

Коэффициент готовности изделия — это вероятность того, что изделие будет работоспособно в произвольно выбранный момент времени в промежутках между выполнениями планового технического обслуживания. Этот показатель широко используется для оценки надежности металлорежущих станков, сельскохозяйственных машин, изделий электроники и машиностроения, оборудования горнодобывающей промышленности. В различных отраслях народного хозяйства этот показатель хотя и имеет различные названия (коэффициент долговечности, коэффициент надежности, коэффициент эксплуатационной надежности), но везде имеет один и тот же физический смысл.

Вероятностное определение коэффициента надежности можно записать в виде

$$K_r = \frac{M[T]}{M[T] + M[T_n]}, \quad (78)$$

где $M[T]$ — математическое ожидание наработки на отказ;

$M[T_n]$ — математическое ожидание среднего времени восстановления.

Статистически коэффициент готовности изделия определяется как отношение времени безотказной работы к сумме времени безотказной работы и среднего времени восстановления изделия, взятых за один и тот же календарный срок.

Среднее время восстановления не включает в себя время хранения и время, затрачиваемое на подготовку аппаратуры к работе после ее простоя.

Распределение времени работы изделия и времени его восстановления приведено на рис. 52, а.

В соответствии с рис. 52, а можно записать

$$t_p = t_{p_1} + t_{p_2} + t_{p_3} + \dots + t_{p_N} = \sum_{i=1}^N t_{p_i};$$

$$t_n = t_{n_1} + t_{n_2} + t_{n_3} + \dots + t_{n_N} = \sum_{i=1}^N t_{n_i}$$

и коэффициент готовности можно записать в виде

$$K_r = \frac{\sum_{i=1}^N t_{p_i}}{\sum_{i=1}^N t_{p_i} + \sum_{i=1}^N t_{n_i}}, \quad (79)$$

где $\sum_{i=1}^N t_{p_i}$ — суммарное время безотказной работы образца;

$\sum_{i=1}^N t_{n_i}$ — суммарное время восстановления образца;

N — количество отказов за рассматриваемый период.

Выражение (78) устанавливает зависимость между коэффициентом готовности и основными количественными характеристиками надежности.

Так, если

$$M[T] = \frac{1}{\lambda(t)},$$

то

$$K_r = \frac{1}{1 + \lambda(t) M[T]}. \quad (80)$$

Так как при $t \rightarrow \infty$ средняя частота отказов стремится к постоянному значению $1/\bar{t}$, то коэффициент готовности изделия при длительном и установившемся процессе эксплуатации стремится к постоянной величине

$$K_r = \frac{1}{1 + \frac{M[T_n]}{\bar{t}}}.$$

Выражение (80) есть вероятность того, что изделие исправно в любой момент времени t .

Время восстановления существенно зависит от надежности изделия. Чем выше надежность, тем реже изделие ремонтируется, тем выше K_r . Этот показатель характеризует эксплуатационные качества изделия, так как его характеризует такой показатель ремонтпригодности, как среднее время восстановления.

Коэффициент готовности является удобной характеристикой только тех изделий, которые предназначены для длительной непрерывной работы.

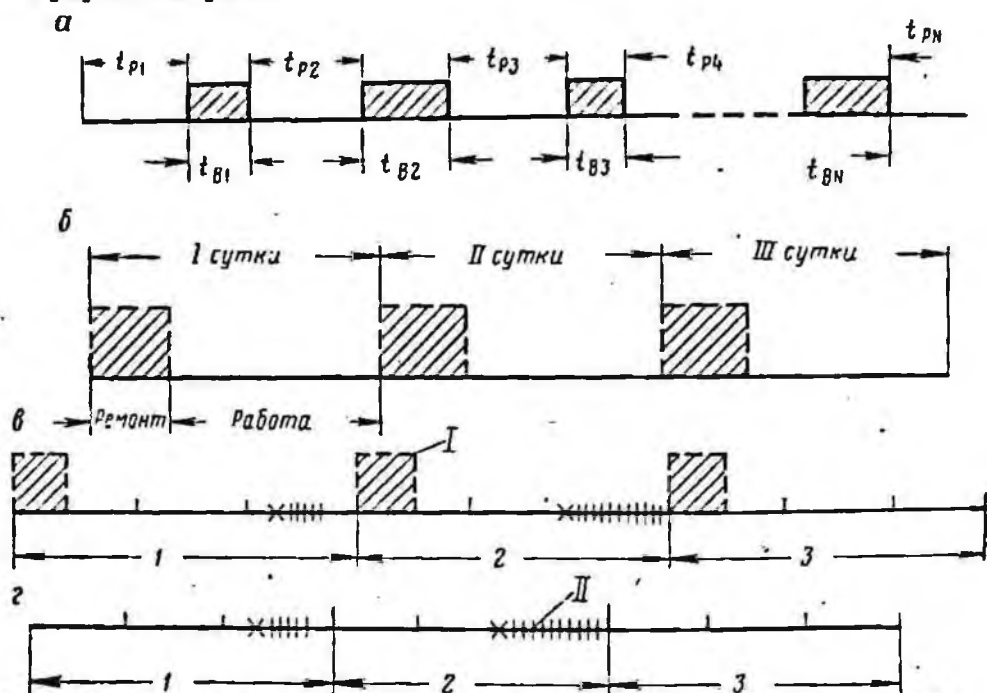


Рис. 52. Распределение времени работы и времени восстановления (а) и временной режим работы: б — флото-фильтровального отделения; в — отделения с учетом простоев при второй модели обслуживания; г — отделения без учета времени работы ремонтной бригады. I — запланированный простой при работе ремонтной бригады; II — отказ и связанный с ним простой отделения до начала работы ремонтной бригады

Коэффициент технического использования представляет собой отношение наработки оборудования в единицах времени за некоторый промежуток эксплуатации к сумме этой наработки и времени всех простоев, вызванных техническим обслуживанием и ремонтами за этот период эксплуатации. Статистически он определяется как отношение суммарного времени исправной работы машины к общему времени работы и вынужденных простоев за один и тот же календарный срок,

$$K_{и} = \frac{\sum_{i=1}^N t_{p_i}}{\sum_{i=1}^N t_{r_i} + \sum_{i=1}^N t_{a_i}}, \quad (81)$$

где $\sum_{i=1}^N t_{pi}$ — суммарное время работы между $(i=1)$ и i -ой остановкой;

$\sum_{i=1}^N t_{ni}$ — суммарное время вынужденного простоя i -й остановки.

В суммарное время вынужденного простоя включается время на обнаружение и устранение отказов, регулировку и настройку оборудования, время простоя из-за отсутствия запасных частей и затраты времени на проведение профилактических работ.

Коэффициент готовности отличается от коэффициента технического использования тем, что при его определении учитывается не все время вынужденного простоя, а только та его часть, которая затрачивается на обнаружение и устранение отказов, т. е. время простоя по профилактике исключается.

Показателем, характеризующим расход времени на различные непроизводительные затраты, является коэффициент вынужденного простоя.

Коэффициент вынужденного простоя — это отношение времени восстановления к сумме времени восстановления и безотказной работы изделия, взятых за один и тот же календарный срок.

Статистически он определяется из выражения

$$K_{в.п} = \frac{\sum_{i=1}^N t_{ni}}{\sum_{i=1}^N t_{ni} + \sum_{i=1}^N t_{pi}}.$$

Этот показатель позволяет сравнивать и оценивать ремонтоспособность изделий, при этом коэффициенты готовности и вынужденного простоя связаны соотношением

$$K_{в.п} = 1 - K_r.$$

В период длительной эксплуатации при стационарном режиме работы оборудования $K_{в.п}$ стремится к постоянной величине, которую можно представить в виде

$$K_{в.п} = \frac{1}{1 + \frac{M[T]}{M[T_s]}}.$$

Коэффициент профилактики — отношение времени восстановления ко времени безотказной работы, взятых за один и тот же календарный срок. Часто он называется нормой профилактики. Вероятностное определение коэффициента профилактики можно записать в виде

$$K_{пр} = \frac{M[T_s]}{M[T]}, \quad (82)$$

а статистическое определение в виде

$$K_{np} = \frac{\sum_{i=1}^N t_{n_i}}{\sum_{i=1}^N t_{r_i}}.$$

Исходя из выражений (78) и (82), можно записать следующую зависимость:

$$K_{np} = \frac{1 - K_r}{K_r} = \frac{K_{n, n}}{K_r}. \quad (83)$$

§ 6. Коэффициенты, учитывающие надежность восстанавливаемых узлов

Влияние надежности узлов (деталей) на надежность машины можно оценивать коэффициентом отказов — K_o , относительным коэффициентом отказов элементов — $K_{o.o}$, наработкой на отказ i -го узла — t_i , средним временем восстановления i -го узла — T_{v_i} .

Коэффициент отказов узлов (деталей) — это отношение числа отказов машины из-за отказов узлов (деталей) данного типа к общему числу отказов машины, взятых за определенный календарный срок, и определяется из соотношения

$$K_o = \frac{n_i}{n}, \quad (84)$$

где n_i — число отказов машины из-за отказов i -го узла (детали).

Коэффициент отказов позволяет выделить из общего числа отказы составных элементов машины и, следовательно, определить, надежность каких деталей необходимо повысить для повышения надежности машины в целом.

Относительный коэффициент отказов узлов (деталей) — отношение процента отказа машины из-за отказов узлов (деталей) данного типа, взятых за определенный календарный срок к проценту этих узлов (деталей) в машине

$$K_{o.o} = \frac{\frac{n_i}{n}}{\frac{K_i}{K}} = \frac{n_i K}{K_i n}, \quad (85)$$

где K — общее количество узлов (деталей) в изделии;

K_i — количество узлов (деталей) данного типа.

Наработка на отказ i -го узла определяется по формуле

$$t_i = \frac{\sum_{i=1}^n t_{p_i}}{n_i}, \quad (86)$$

где $\sum_{i=1}^n t_{pi}$ — суммарное время безотказности работы i -го узла.

Среднее время восстановления i -го узла рассчитывается по формуле

$$T_{vi} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{vi}}{n_i}, \quad (87)$$

где $\sum_{i=1}^n t_{vi}$ — общее время простоя вследствие отказа i -го узла.

При расчете наработки на отказ оборудования при известных значениях наработок на отказ отдельных его узлов следует использовать следующее выражение:

$$\bar{t} = \frac{1}{\sum \frac{1}{t_i}}. \quad (88)$$

Среднее время восстановления машины T_v и время восстановления его узлов T_{vi} связаны зависимостью

$$T_v = \bar{t} \sum \frac{T_{vi}}{t_i}. \quad (89)$$

Ч а с т о т а п р о ф и л а к т и к и — отношение числа осмотров и ремонтов оборудования к сумме времени безотказной работы и времени восстановления, взятых за определенный календарный срок.

Вероятностное определение коэффициента частоты профилактики имеет вид

$$K_{и. проф} = \frac{1 + \frac{n_{ос}}{n_p}}{M[T] [1 + \lambda(t) M[T_v]]}, \quad (90)$$

где $n_{ос}$ — число профилактических осмотров оборудования;
 n_p — число ремонтов оборудования.

Статистически этот показатель рассчитывается по формуле

$$K_{и. проф} = \frac{\frac{n_p + n_{ос}}{N}}{\sum_{i=1}^N t_{pi} + \sum_{i=1}^N t_{vi}}.$$

Частота профилактики характеризует надежность работы оборудования и удобство его эксплуатации. Из выражения [90]

видно, что чем надежнее оборудование (больше значение математического ожидания среднего времени безотказной работы) и чем меньше профилактических осмотров, тем меньше частота профилактики.

При этом необходимо иметь в виду следующее. Чрезмерное уменьшение числа профилактических осмотров может привести к уменьшению среднего времени между соседними отказами. Поэтому необходимо рассчитывать оптимальное число профилактических мероприятий, при котором частота профилактики и коэффициент готовности являются наивыгоднейшими.

Для комплексной оценки надежности оборудования необходимо использовать совокупность приведенных показателей, так как каждый из них характеризует лишь одно из свойств надежности.

Глава VII

ВЫБОР НОМЕНКЛАТУРЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ

Отдельные типы оборудования обогатительных фабрик работают не изолированно друг от друга, а в составе системы. Технологический процесс на фабрике является поточным, поэтому даже кратковременная остановка одной машины может привести к сокращению объема переработки рядового угля, а иногда и к ее остановке.

В этих условиях достижение бесперебойной работы оборудования приобретает особо важное значение.

Обеспечение бесперебойной работы оборудования обогатительной фабрики можно достичь благодаря значительному повышению его надежности, рациональной эксплуатации и научно обоснованным методам восстановления.

Надежность оборудования зависит от ряда факторов, воздействующих на него при разработке, изготовлении и эксплуатации. Интенсивность воздействия этих факторов непостоянна и может изменяться во времени случайным образом. Эти факторы зависят от множества причин — от качества изготовления деталей и материалов до квалификации персонала, обслуживающего это оборудование.

Использование основных положений теории надежности дает возможность выразить в количественной форме показатели эксплуатационной надежности оборудования фабрик.

Эти показатели позволяют:

- определять количественные характеристики надежности различных типов оборудования;

- сравнивать различные типы оборудования и их узлы по надежности;

- определять узлы и детали машин, надежность которых должна быть повышена в первую очередь;

- намечать пути повышения надежности применяемого и вновь создаваемого оборудования;

разрабатывать экономико-математическую модель оптимального резервирования оборудования;
рассчитывать оптимальное количество обслуживающего персонала и запасных частей.

§ 1. Оптимизация показателей надежности

Оптимизация количественных значений показателей надежности позволяет определить величины показателей надежности для включения их в нормативно-техническую документацию. В качестве оптимального следует считать то значение показателя, которое обеспечивает максимальное значение величины выбранного критерия.

Методика проведения исследований по оптимизации показателей надежности сводится к следующему.

Прежде всего необходимо определить конкретное выражение критерия оптимизации для каждого из типов оборудования (или для нескольких типов оборудования в случае, если по общности факторов, определяющих выражение критерия, эти типы оборудования будут совпадать). Для этого необходимо определить следующее:

- вид закона распределения среднего времени безотказной работы оборудования и его параметры;

- составляющие затрат на техническое обслуживание и ремонт;

- порядок проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту;

- периодичность проведения обслуживания и ремонтов;

- трудоемкость работ по техническому обслуживанию и ремонту;

- длительность проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту.

После выражения критерия оптимизации количественных значений показателей надежности оборудования необходимо определить те значения показателей, которые обеспечивают максимум критерия. При этом, если таких показателей несколько, необходимо решить, определять ли абсолютный максимум, т. е. максимум критерия по всем входящим в него факторам, или максимум относительный. Предполагается, что ряд величин, входящих в выражение критерия, зафиксированы, а изменять можно лишь небольшое число переменных величин. На практике вследствие большого числа факторов, определяющих выражение критерия оптимизации, нахождение абсолютного экстремума, как правило, затруднительно и, более того, неоправданно. Это обусловлено неточностью исходной информации, ее усреднением, в то время как поиск абсолютного экстремума крайне трудоемкий. Возникает задача отбора основных, определяющих факторов и величин, количественные значения которых необходимо оптимизировать.

При решении задачи оптимизации количественных значений показателей надежности необходимо иметь набор исходных дан-

ных (к числу которых относятся величины, входящие в выражение критерия оптимизации). К ним относятся:

параметры закона распределения среднего времени безотказной работы оборудования;

ущерб, связанный с простоем оборудования на внеплановом (аварийном) ремонте;

средняя трудоемкость устранения тех или иных видов отказов и неисправностей;

средние затраты на их устранение;

себестоимость.

Исследование выражения критерия оптимизации позволит в дальнейшем определить направление повышения надежности за счет повышения «слабых звеньев», влияющих на величину критерия. Таким направлениями могут быть повышение ремонтнопригодности или безотказной работы оборудования.

Особенностью рассмотренного метода решения вопросов оптимизации количественных значений показателей надежности углеобогачительного оборудования является его комплексность, поскольку критерий оптимизации зависит от большого числа факторов. При таком подходе обязательно, чтобы каждый из нестопимых параметров принимал экстремальное значение, так как такое решение будет крайне дорогостоящим. Только учет совокупности факторов определит оптимальное значение показателей.

В дальнейшем и методика исследований, и расчет количественных значений показателей надежности рассматриваются на примере оборудования флото-фильтровального отделения углеобогачительной фабрики.

Разработка модели работы оборудования флото-фильтровального отделения

Основное оборудование этого отделения — флотационные машины, вакуум-фильтры, вакуум-насосы и шламовые насосы для перекачки фильтрата и переливов вакуум-фильтров.

Количество флотационных машин в условиях данной фабрики определяется объемом переработки рядового угля и содержанием в нем класса 0—1 мм. С количеством флотационных машин однозначно связано число вакуум-фильтров. Однако в связи с тем, что на фабриках применяют различные типы фильтров, которые отличаются друг от друга площадью фильтрации, а следовательно, и производительностью по обезвоженному продукту, целесообразно связывать не абсолютное количество флотационных машин и вакуум-фильтров, а объем камеры флотационной машины (m^3) с определенным количеством площади вакуум-фильтра (m^2).

На углеобогастительных фабриках Минуглепрома СССР 1 m^3 объема камеры флотационной машины соответствует 2,3—3,5 m^2 площади вакуум-фильтра, а на ЦОФ «Ирмшнская» и ЦОФ «Калининская» — 3,5—4,0 m^2 площади вакуум-фильтра. Значительное

колебание соотношения фронта флотации к фронту фильтрации объясняется многими причинами, а именно: различной флотуемостью и фильтруемостью углей метаморфического ряда, гранулометрическим составом и различной их зольностью. В качестве средней величины можно принять следующее соотношение: на 1 м³ объема камеры флотационной машины 2,7—3,0 м² площади вакуум-фильтра.

Для создания вакуума принимается от 0,4 до 1 м³/мин воздуха на 1 м² площади фильтрации, а при отдувке — от 0,05 до 0,35 м³/мин. Для перекачки фильтрата обычно применяются два шламовых насоса (один в работе, второй в резерве). На основании изложенного определяется компоновочная схема флото-фильтровального отделения.

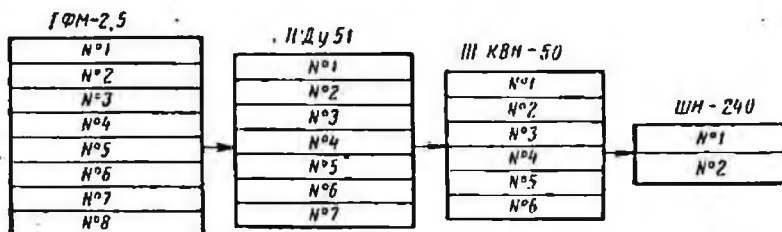


Рис. 53. Компоновочная схема флото-фильтровального отделения ЦОФ «Дуванская»

Схема флото-фильтровального отделения ЦОФ «Дуванская» приведена на рис. 53.

Режим работы отделения в течение суток следующий: вторую и третью смены (по 8 ч) полностью и половину первой смены отделение работает в соответствии с технологическим циклом обогащения. В течение первой половины смены отделение останавливают для ремонта. Временный режим работы флото-фильтровального отделения показан на рис. 52, б.

В процессе эксплуатации отделения могут возникнуть отказы. Под отказом понимают полную потерю работоспособности какого-либо агрегата вследствие поломки или изменения выходных параметров агрегата, ухудшающих показатели технологического процесса или снижение производительности отделения.

Отказы по оборудованию следующие:

по флотационным машинам — износ импеллера до предельного состояния, в результате чего ухудшается аэрационная характеристика (количество засасываемого воздуха и его диспергирование);

по вакуум-фильтрам — износ до предельного состояния распределительных шайб и фильтровальной ткани;

по шламовым насосам — износ турбинки.

Возможны два варианта обслуживания агрегата после его отказа. В первом случае восстановление начинается сразу же

после отказа агрегата. После окончания ремонта агрегат продолжает работать в соответствии с технологическим циклом. Во втором случае восстановление осуществляется только в специально отведенное время — в первую половину первой смены. В период от момента отказа до начала ремонтных работ агрегат простаивает или работает с меньшей нагрузкой, чем обычно.

*Разработка модели
и выбор показателей надежности*

Принимаем, что суммарный поток отказов от системы однотипного оборудования подчинен экспоненциальному закону распределения [55]. Обозначим через λ_i интенсивность отказов агрегатов, $i = 1, 2, 3, 4$. Тогда интенсивность отказов всего отделения

$$\lambda = \sum_{i=1}^4 \lambda_i K_i,$$

где K_i — количество агрегатов i -го типа, $i = 1, 2, 3, 4$.

Средняя наработка отделения на отказ определяется

$$T = \frac{1}{\lambda},$$

а вероятность безотказной работы за время t

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

Приведенные формулы справедливы не только тогда, когда отказ любого агрегата приводит к отказу всего отделения, но и для случая, когда отказ одного агрегата приводит к сокращению объема выпускаемого флотационного концентрата в единицу времени (если не применено резервирование).

Понимая, таким образом, отказ отделения, получим формулы для коэффициента готовности и среднего времени восстановления.

Для определения коэффициента готовности необходимо рассмотреть две модели обслуживания.

1. В случае возникновения отказа немедленно начинается восстановление, средняя длительность которого равна T_v . В этом случае коэффициент готовности определится по формуле

$$K_r = \frac{T}{T + T_v}.$$

2. Эксплуатация отделения осуществляется в три смены. В течение первой половины первой смены работает ремонтная бригада, которая ремонтирует отказавшую машину. В остальные две с половиной смены отделение работает в соответствии с технологическим циклом (см. рис. 52, б). Из этого следует, что работа

в течение двух с половиной из трех смен предусмотрена условиями эксплуатации. Коэффициент готовности, как средняя доля работоспособного состояния, относится только к периоду активной эксплуатации агрегатов, т. е. к тем двум с половиной сменам, в течение которых отделение работает в соответствии с технологическим циклом. В таком случае вынужденные простои вследствие отказов обуславливаются не ремонтом отказавших машин, а длительностью времени до начала работы ремонтной бригады.

Для наглядности воспользуемся графическим изображением последовательности суточных циклов работы (см. рис. 52, а). Так как время работы ремонтной бригады не входит в общее время работы отделения в технологическом цикле, то схему работы можно представить без учета смен ремонтной бригады (см. рис. 52, б).

Ремонт осуществляется ремонтной бригадой, время работы которой не учитывается настоящей моделью, поэтому можно считать, что в данном случае ремонт осуществляется мгновенно, а простой обусловлен временем от момента отказа до момента окончания очередного цикла работы, состоящего из двух с половиной смен.

Построенная модель известна в литературе как схема хранения. Такое название обусловлено тем фактом, что восстановление работоспособности начинается не в момент отказа, а спустя некоторое время, когда наступает запланированный период проверки.

В нашем случае запланированному периоду проверки в схеме хранения соответствует запланированная смена работы ремонтной бригады. Коэффициент готовности для описанной модели вычисляется по формуле

$$K_r = \frac{\int_0^{\tau} [1 - F(t)] dt}{\tau},$$

где $F(t)$ — функция распределения времени безотказной работы отделения;

τ — длительность цикла работы, равная двум с половиной сменам.

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}; \quad 1 - F(t) = e^{-\lambda t};$$

$$\int_0^{\tau} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} (1 - e^{-\lambda \tau});$$

$$K_r = \frac{T}{\tau} \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T}} \right).$$

Как видно из последней формулы, величина коэффициента готовности не зависит от длительности времени восстановления. Это объясняется тем фактом, что восстановление осуществляется

в те периоды, которые данной схемой не учитываются. Важно лишь то, что ремонты завершались за период работы ремонтной бригады.

Отметим, что при $\tau \rightarrow 0$, $K_r \rightarrow 1$, что вполне естественно, так как доля простоя будет сокращаться. Однако в этом случае уже нельзя считать восстановление мгновенным, так как необходим переход к схеме, в которой восстановление начинается сразу же после отказа.

В обоих случаях необходимо знать среднее время восстановления. В первой схеме оно непосредственно входит в формулу для коэффициента готовности, во втором необходимо знать, может ли завершиться ремонт за период работы ремонтной бригады.

В связи с тем что оборудование флото-фильтровальных отделений не может отказывать с одинаковой частотой, то общее время не равно сумме средних времен восстановления отдельных машин.

Поэтому при определении среднего времени восстановления необходимо учитывать частоту отказов отдельных машин. Среднее число отказов одной машины за интервал t равно $\lambda_i t$. Общее (суммарное) время восстановления за этот период будет равно $\lambda_i t T_{iB}$, где T_{iB} — среднее время восстановления i -ой машины. Общее (суммарное) время восстановления за период t всех машин

$$\sum_{i=1}^4 K_i \lambda_i T_{iB}$$

Общее число отказов

$$\sum_{i=1}^4 K_i \lambda_i t$$

Следовательно, среднее время восстановления должно определяться по формуле

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^4 K_i \lambda_i T_{iB}}{\sum_{i=1}^4 K_i \lambda_i}$$

Методы исследования надежности оборудования флото-фильтровального отделения

При оценке надежности оборудования необходимо выяснить вопрос о характере исходной информации на одной или нескольких фабриках-представителях. Оценка надежности оборудования, детали которого работают в аналогичных условиях, может быть произведена на основании информации, собранной в условиях одной фабрики. Особенность работы оборудования флото-фильтровальных отделений заключается в том, что оно обрабатывает различные по своим физическим свойствам угли.

Свойства жидкой фазы, в которой протекают процессы также различны. Для решения вопросов при исследовании надежности этого оборудования необходимо сбор исходной информации производить на фабриках-представителях. Поэтому при исследовании надежности оборудования целесообразно выяснить вопрос о влиянии на нее основных свойств среды путем определения коэффициента износа $\bar{K}$ однотипных деталей в условиях эксплуатации на различных фабриках

$$\bar{K} = \frac{q_0 - q_1}{St},$$

где q_0 и q_1 — масса образца до и после опыта, кг;

S — площадь образца, м²;

t — продолжительность опыта, ч.

Методика получения данных о надежности оборудования флото-фильтровальных отделений представляет собой совокупность важнейших его свойств и поэтому не может быть полностью, все-сторонне охарактеризована одним показателем. Для данного типа оборудования, исходя из конкретных особенностей назначения, конструкции и условий эксплуатации, в качестве показателей надежности следует принимать: $P(t)$ — вероятность безотказной работы за время t ; $\bar{t}$ — наработка на отказ; K_r — коэффициент готовности; $F(t_n)$ — вероятность восстановления за время t менее t_n ; T_0 — среднее время восстановления.

Надежность оборудования флото-фильтровальных отделений должна оцениваться совокупностью всех этих показателей, так как каждый из них характеризует только одно из свойств надежности или применим для решения одной или нескольких определенных задач.

При планировании испытаний для определения показателей надежности одним из основных вопросов является определение объема испытаний. Определение объема испытаний (реализаций) возможно только в том случае, если до исследований известен закон распределения исследуемой величины. В том случае, если до исследования надежности оборудования закон распределения исследуемой величины не известен, то необходимо произвести сбор определенного количества исходной информации N , затем рассчитать наработку на отказ $\bar{t}$, среднее квадратическое отклонение σ и закон распределения наработки на отказ. Затем необходимо определить достоверность полученных сведений и найти минимальное количество реализаций N' , обеспечивающие определение $\bar{t}$ с абсолютной погрешностью не более ε при доверительной вероятности α

$$P\{|t - t_{cp}| < \varepsilon\} = \alpha. \quad (91)$$

При $N \geq N'$ можно считать, что получено достаточно исходной информации, при $N \leq N'$ необходимо произвести дополнительный сбор информации, уточнить $\bar{t}$ и σ , а затем N' и т. д.,

до тех пор пока не будет выполнено условие $N \geq N'$. После этого можно считать, что наша выборка представительна и получены объективные сведения о надежности исследуемого оборудования.

Среднее время безотказной работы флото-фильтровального отделения зависит от надежности оборудования, входящего в его состав. Полагая, что суммарный поток отказов от каждой группы однотипного оборудования подчинен экспоненциальному закону, и обозначив через λ_i — интенсивность отказов агрегатов, $i = 1, 2, 3, 4$ (система флотационных машин, вакуум-фильтров, вакуум-насосов, насосов ШН240), получим интенсивность отказов всего отделения

$$\lambda = \sum_{i=1}^e \lambda_i K_i \quad (92)$$

где K_i — количество агрегатов i -го типа, $i = 1, 2, 3, 4$.

Среднее время безотказной работы отделения определяется по формуле

$$T_{\text{ср.от}} = \int_0^{\infty} P(t)_{\text{от}} dt \quad (93)$$

а вероятность безотказной работы отделения за время t

$$P(t)_{\text{от}} = PP(t)_{\text{об}}, \quad (94)$$

где $P(t)_{\text{об}}$ — вероятность безотказной работы оборудования i -го типа.

Приведенные формулы, с помощью которых определяются показатели λ , T и $P(t)$ отделения, справедливы не только для того случая, когда отказ любого агрегата приводит к отказу всего отделения, но и для случая, когда отказ одного агрегата приводит к сокращению объема выпуска флотационного концентрата в единицу времени (в том случае, конечно, если структура отделения минимальна, т. е. не применено резервирование).

Для количественной оценки надежности восстанавливаемых узлов (определенного типа оборудования) необходимо использовать показатели: $\bar{t}_i$ — наработка на отказ узла; $T_{\text{н.и}}$ — среднее время восстановления узла; K_o — коэффициент отказов; $K_{o, \text{н}}$ — коэффициент относительных простоев, которые рассчитываются по формулам (84), (85), (86), (87).

Для расчета оптимального количества резервного оборудования флото-фильтровального отделения рассматривается экономическая модель работы отделения. Постановку задачи можно сформулировать следующим образом: обеспечение максимальной прибыли от реализации продукции при ограниченном числе единиц резервного оборудования. Допустим, что γ_0 — прибыль в единицу времени при условии состояния E_0 , γ_1 — прибыль в единицу

времени при условии состояния E_1 . Тогда ожидаемая прибыль в единицу времени будет определяться по формуле

$$\bar{C}(t) = \sum_{i=1}^4 \gamma_i P_i(t), \quad (95)$$

где γ_i — прибыль от реализации продукции;

$P_i(t)$ — вероятность безотказной работы системы оборудования флото-фильтровального отделения за время t .

Для решения этой задачи необходимо использовать метод, известный в литературе под названием метода «наискорейшего спуска». Для исходного варианта показатель надежности $P_i(t)$ будет определяться по формуле

$$P_i(t) = P_{i\text{ I}}(t) P_{i\text{ II}}(t) P_{i\text{ III}}(t) P_{i\text{ IV}}(t), \quad (96)$$

где $P_{i\text{ I}}(t)$; $P_{i\text{ II}}(t)$; $P_{i\text{ III}}(t)$; $P_{i\text{ IV}}(t)$ — вероятность безотказной работы системы флотационных машин, вакуум-фильтров, вакуум-насосов и шламовых насосов (соответственно) за время t .

При решении этой задачи следует резервировать тот агрегат, резервирование которого дает максимальное увеличение вероятности безотказной работы отделения.

Для получения достоверных данных о надежности машин, их узлов должны проводиться специальные наблюдения за работой этих машин. Методика таких наблюдений должна предусматривать:

сбор исходной информации по специально разработанным формам, в которых фиксируются отказы по каждому типу оборудования. Так, например, флотационная машина ФМУ50 разбита на 6 узлов: корпус камеры, пепосниматель, блок импеллера, привод импеллера, переливные карманы и электрооборудование. По каждому из этих узлов следует фиксировать дату отказа, количество человек, устранявших отказ, и продолжительность устранения отказа. Причем продолжительность устранения отказа должна включать в себя не только время, которое было затрачено на его устранение, но и время на обнаружение и подготовку оборудования к устранению отказа. Затем по каждому типу (узлу) оборудования необходимо выбрать периоды времени между соседними отказами, выраженные в календарных днях, и перевести в машино-часы. Полученное таким образом определенное количество периодов работы оборудования сводится в таблицу в виде статистического ряда. Аналогичным образом должны быть получены сведения по всему оборудованию флото-фильтровальных отделений;

фиксирование времени работы оборудования с целью определения коэффициента использования машинного времени $K_{\text{имб}}$;

проведение хронометражных наблюдений, обеспечивающих получение достаточно большого количества отказов для установления законов распределения парабтки на отказ и среднего времени восстановления.

Определенная часть деталей оборудования флото-фильтровального отделения имеет непосредственный контакт с пульпой (средой), т. е. работает в условиях гидроабразивного изнашивания, которое рассматривается как разновидность абразивного износа, происходящего в абразивной струе. Как было рассмотрено в первом разделе, пульпа представляет собой многокомпонентную систему, содержащую в своем составе угольные и породные частицы (твердая фаза), воды и растворенные в ней минеральные вещества (жидкая фаза) и пузырьков воздуха (газообразная фаза).

Свойства среды на различных обогатительных фабриках различны, так как они зависят от свойств флотуруемого угля (степени метаморфизма, петрографического и гранулометрического состава, механических свойств) и жидкой фазы (ионного состава, содержания в ней растворимых веществ). В этих условиях на износ деталей будет оказывать влияние, с одной стороны, действие коррозионной среды, а с другой, — присутствие в ней твердых частиц органического вещества и сопутствующих пород. Поэтому при исследовании надежности оборудования флото-фильтровальных отделений необходимо количественно оценить влияние основных свойств среды флото-фильтровального отделения на износ отдельных деталей (узлов) этого оборудования, т. е. определить разницу в степени износа однотипных деталей в условиях эксплуатации на различных фабриках.

Ранее было рассмотрено влияние ряда свойств среды на продолжительность межремонтных периодов шламовых насосов. В настоящем разделе рассмотрим влияние этих свойств на надежность работы флотационных машин.

Основные параметры среды, которые могут оказать влияние на износ деталей принимаем: ионный состав оборотной воды; водородный показатель среды; показатель абразивности органического вещества и сопутствующих пород; содержание твердого в пульпе и его гранулометрический состав; скорость движения пульпы. Расчет влияния отдельных свойств среды на надежность оборудования может быть произведен путем использования методов корреляционного анализа.

§ 2. Корреляционная связь между признаками и ее статистическое изучение

Основной задачей каждой науки является выявление и теоретическое обоснование закономерностей развития тех явлений и процессов, которые изучаются данной наукой.

Эти закономерности отражают причинные связи, существующие между различными факторами, с одной стороны, и результатами взаимодействия этих факторов — с другой стороны.

Решение вопроса о том, существует ли в действительности причинная связь между изучаемыми явлениями, усложняется вследствие того, что любое явление благодаря всеобщей взаимосвязи явлений зависит не от одной какой-либо причины, а от многих причин. Например, надежность оборудования зависит и от технических решений, и от технологии его изготовления, и от условий эксплуатации, и от ряда других факторов. Изучение причинной зависимости усложняется также тем, что сила и характер влияния отдельных причин различны, что явления, приписываемые нам в данном исследовании за воздействующий фактор, может, в свою очередь, складываться под влиянием другого фактора. В этом случае трудно решить, первый или второй фактор является действительной причиной изменения изучаемого явления. Таким образом, в условиях зависимости от многих факторов при исследовании причинной связи необходимо ограничиться изучением влияния на данное явление только основных (существенных) факторов, исключая влияние других (второстепенных) факторов.

При наличии функциональной связи изменению одного явления во всех случаях соответствует изменение другого явления, находящегося с ним в причинной связи (функциональная зависимость обнаруживается например, между объемом газа и его давлением).

В тех случаях, когда проведение экспериментов, как правило, затруднительно, функциональные связи в чистом виде не наблюдаются и связь между явлениями проявляется в форме свободной, корреляционной связи.

При корреляционной связи определенному изменению одного явления соответствует в отдельных случаях различные по величине и направлению изменения другого явления, т. е. корреляционная связь не проявляется в каждом отдельном случае. При определенном состоянии одного явления другое явление, находящееся с ним в связи, может иметь различную величину. Вследствие этого наличие корреляционной связи может быть выявлено только статистическим путем при исследовании массы случаев однородной совокупности.

Статистика не только дает ответ на вопрос, проявляется ли теоретически возможная связь в данных конкретных условиях, но и дает количественную характеристику связи, а это имеет большое значение для практической деятельности в области изучения и повышения надежности оборудования.

При исследовании корреляционной связи между изучаемыми явлениями ставятся следующие задачи:

- выявления наличия корреляционной связи;
- определение формы связи и ее количественной характеристики;
- измерение степени тесноты корреляционной связи.

Выявление корреляционных зависимостей

Корреляционные зависимости познаются сравнением вариации признаков. Возьмем, например, данные по 25 обогащательным фабрикам об уровнях энерговооруженности труда (x — тыс. кВт-ч в год на одного работающего) и производительности труда (y — тыс. т угля в год на одного работающего). Эти данные сведены в табл. 41, где фабрики расположены в порядке возрастания уровня энерговооруженности.

Из данных, приведенных в табл. 41 (такой прием анализа называется сравнением вариаций параллельных рядов, из которых один ранжирован), можно заметить, что с возрастанием признака x растет признак y , но не во всех случаях. Следовательно, между x и y имеется прямая зависимость, хотя и не полная, но выраженная достаточно ясно.

Таблица 41

Пеходные данные об уровнях энерговооруженности труда
и производительности труда

№ фаб- рики	x	y	№ фаб- рики	x	y	№ фаб- рики	x	y	№ фаб- рики	x	y	№ фаб- рики	x	y
1	6,0	2	6	7,9	3	11	9,4	5	16	11,5	9	21	12,7	9
2	6,1	3	7	8,2	4	12	9,9	7	17	11,7	9	22	12,9	6
3	6,8	6	8	8,5	5	13	10,5	7	18	12,1	8	23	13,0	10
4	7,2	4	9	8,6	6	14	11,2	8	19	12,3	7	24	13,2	9
5	7,4	2	10	9,1	8	15	11,3	6	20	12,6	8	25	13,3	10

Более отчетливо будет проявляться корреляционная зависимость, если применить метод группировок и производить сравнение не индивидуальных данных, а групповых средних. В нашем примере, если мы произведем группировку фабрик по уровню энерговооруженности (признак фактор) и определим по каждой группе средние показатели производительности труда, то увидим, изменяются эти средние в прямом соответствии с изменением энерговооруженности труда или нет. Для этого составим табл. 42, в которой произведем расчет межгрупповой дисперсии (δ^2).

Межгрупповая дисперсия уровней производительности труда в группировке по x

$$\delta_y^2 = \frac{\sum (y_{гр} - \bar{y})^2 n}{\sum n} = \frac{101,46}{25} = 4,06.$$

Теперь рассчитаем общую дисперсию уровней производительности труда по индивидуальным данным 25 обогащательных фабрик (табл. 43).

Таблица 42

Результаты расчета межгрупповой дисперсии

Группы предприятий по уровню энергооборуженности	Число предприятий n	Продукция в расчете на одного работающего для всех предприятий $\sum y$	В среднем на одно предприятие $y_{гр}$	$y_{гр} - \bar{y}$	$(y_{гр} - \bar{y})^2$	$(y_{гр} - \bar{y})^2 n$
6,0—7,49	5	17	3,4	—3,04	9,242	46,21
7,5—8,99	4	18	4,5	—1,94	3,764	15,06
9,0—10,49	3	20	6,7	0,26	0,068	0,20
10,5—11,99	5	39	7,8	1,36	1,850	9,25
12,0—13,49	8	67	8,4	1,96	3,842	30,74
		161	6,44			101,46

Таблица 43

Результаты расчета общей дисперсии

y	y^2	y	y^2	y	y^2	y	y^2	y	y^2
2	4	3	9	5	25	9	81	9	81
3	9	4	16	7	49	9	81	6	36
6	36	5	25	7	49	8	64	10	100
4	16	6	36	8	64	7	49	9	81
2	4	8	64	6	36	8	64	10	100

$$\sum y = 161; \sum y^2 = 1179; \bar{y} = \frac{\sum y}{\sum n} = \frac{161}{25} = 6,44.$$

Рассчитаем общую дисперсию, которая равна среднему квадрату значений признака минус квадрат среднего значения признака

$$\sigma_y^2 = y^2 - (\bar{y})^2$$

или

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum y^2}{n} - (\bar{y})^2 = \frac{1179}{25} - (6,44)^2 = 5,69.$$

В основе определения корреляционного отношения (Σ) лежит правило сложения дисперсий, согласно которому общая дисперсия результативного признака σ_y^2 может быть представлена как сумма двух дисперсий — внутригрупповой дисперсии σ_i^2 , характеризующей ту часть общей дисперсии величины признака y , которая не зависит от изменений величины фактора x , а также от изменения

величин, связанных с ним факторов, и всецело складывается под влиянием других, случайных причин, и межгрупповой дисперсии δ_y^2 , характеризующей ту часть общей дисперсии величины признака y , которая целиком складывается под влиянием изменения величин лежащего в основе группировки фактора x , т. е.

$$\sigma_y^2 = \bar{\sigma}_i^2 + \delta_y^2. \quad (97)$$

Отношение $\delta_y^2 : \sigma_y^2$, которое показывает, какую долю общей дисперсии составляет дисперсия под влиянием изучаемого фактора, называется показателем детерминации.

Извлекая квадратный корень из величины показателя детерминации, получаем корреляционное отношение

$$\eta = \sqrt{\frac{\delta_y^2}{\sigma_y^2}} = \frac{\delta_y}{\sigma_y}. \quad (98)$$

Величину корреляционного отношения можно рассчитать также и по формуле

$$\eta = \sqrt{\frac{\sigma_y^2 - \bar{\sigma}_i^2}{\sigma_y^2}} = \sqrt{1 - \frac{\bar{\sigma}_i^2}{\sigma_y^2}}.$$

В нашем примере

$$\eta^2 = \frac{4,06}{5,69} = 0,713; \quad \eta = \sqrt{\frac{4,06}{5,69}} = 0,844.$$

Коэффициент детерминации показывает, что энерговооруженность труда на 71,3% определяет вариацию производительного труда в нашем примере. А корреляционное отношение показывает, что связь между энерговооруженностью и производительностью труда высокая.

Эмпирическое корреляционное отношение является одним из показателей, характеризующих тесноту корреляционной зависимости, т. е. степень ее приближения к функциональной связи. Идея корреляционного отношения очень проста. Межгрупповая вариация — это вариация, обусловленная группировочным признаком. Если бы зависимость была функциональной, т. е. группировочный признак целиком определял изучаемый признак, то межгрупповая вариация совпадала бы с общей вариацией и межгрупповая дисперсия равнялась бы общей дисперсии.

Корреляционное отношение η изменится от нуля до единицы. Если связь отсутствует, то корреляционное отношение равно нулю. В этом случае межгрупповая дисперсия δ^2 будет равна нулю, т. е. все групповые средние будут равны между собой и межгрупповой вариации не будет. Если связь функциональная, то корреляционное отношение будет равно единице. В этом случае межгрупповая дисперсия равна общей дисперсии σ^2 , т. е. внутригрупповой вариации не будет. Это значит, что групповой

признак целиком определяет вариацию изучаемого признака. Можно сказать, что если показатель тесноты связи не превышает 0,3, то связь слабая, а если он составляет 0,7 и более, то связь высокая.

Корреляционная связь между двумя признаками

При статистическом исследовании корреляционной связи одной из основных задач является не только выявление наличия связи, но и определение формы связи и определение количественной характеристики этой формы. При прямолинейной связи с возрастанием величины факторного признака x происходит непрерывное возрастание (или убывание) величины результативного признака y в среднем на определенную величину.

При криволинейной связи с возрастанием величины факторного признака x возрастание (или убывание) величины результативного признака (y) происходит неравномерно.

Вопрос о форме связи решается в первую очередь на основе теоретического анализа существа изучаемых явлений. В ходе исследования форма связи характеризуется в виде уравнения, и на основе имеющихся фактических данных особыми приемами рассчитывают численные значения параметров этого уравнения, в результате чего определяется количественное выражение формы корреляционной связи.

Линия, которая при исследовании корреляционной связи двух признаков, отражает те изменения результативного признака, которые имели бы место при уравновешивании влияния на этот признак всех других факторов, кроме факторного признака, называется теоретической линией регрессии.

Уравнение линии регрессии, параметры которого выражены численно, называется корреляционным. Если, например считать, что объем переработки угля на обогатительной фабрике находится в прямолинейной связи с изменением величины стоимости основных фондов, то вследствие этого линия регрессии представляет собой прямую линию.

Общий вид корреляционного уравнения прямой линии регрессии

$$\bar{y}_x = a + bx, \quad (99)$$

где y и x — индивидуальные значения соответственно результативного и факторного признаков;

a и b — параметры корреляционного уравнения прямой линии регрессии.

Численные значения параметров уравнения определяются на основе имеющихся данных наблюдения способом наименьших квадратов. Применение способа наименьших квадратов основывается на том, что теоретическая линия регрессии должна изображать изменение средних величин результативного признака y по

мере изменения величин факторного признака x при условии полного взаимногогашения всех прочих случайных по отношению к фактору x причин. Поэтому теоретическая линия регрессии должна обладать основными свойствами средней арифметической, т. е. она должна быть проведена так, чтобы сумма отклонений точек поля корреляции от соответствующих точек теоретической линии регрессии равнялась нулю, а сумма квадратов этих отклонений была бы минимальной величиной.

Если обозначить ординаты фактических точек поля корреляции (т. е. индивидуальные величины результативного признака) через y_i , а ординаты теоретической линии регрессии — через $\bar{y}_x$, то второе условие можно выразить следующим образом:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_x)^2 = \min.$$

Это условие лежит в основе способа наименьших квадратов.

Поскольку $\bar{y}_x = a + bx$, то можно записать

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2}; \quad \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 = \min.$$

Рассчитывая далее первую производную по a и первую производную по b от функции $\sum (y_i - a - bx_i)^2$ и приравнявая каждую из производных нулю, получим возможность определить те значения a и b , при которых сумма $\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_x)$ будет минимальной величиной.

Из равенства нулю первой производной по a после преобразования получаем:

для производной a — нормальное уравнение способа наименьших квадратов

$$\sum y = na + b \sum x;$$

для производной по b — уравнение

$$\sum xy = a \sum x + b \sum x^2.$$

Криволинейная связь может быть весьма разнообразна. Приведем наиболее часто встречающиеся уравнения криволинейной зависимости. Если зависимость величин результативного признака y от значений факторного признака x характеризуется корреляционным уравнением параболы второго порядка

$$\bar{y}_x = a + bx + Cx^2, \quad (100)$$

то для вычисления трех параметров этого корреляционного уравнения применяются следующие три нормальных уравнения способа наименьших квадратов:

для производной по a —

$$\sum y = na + b \sum x + C \sum x^2;$$

для производной по b —

$$\sum xy = a \sum x + b \sum x^2 + C \sum x^3;$$

для производной по C —

$$\sum x^2 y = a \sum x^2 + b \sum x^3 + C \sum x^4.$$

Если зависимость величины результативного признака y от значения признака фактора x имеет форму гиперболической зависимости

$$\bar{y}_x = a + \frac{b}{x}, \quad (101)$$

то для определения двух параметров этого уравнения используют два нормальных уравнения способа наименьших квадратов:

$$\begin{aligned} \sum y &= na + b \sum \frac{1}{x}; \\ \sum y \frac{1}{x} &= a \sum \frac{1}{x} + b \sum \frac{1}{x^2}. \end{aligned}$$

Выравнивание по прямой

Разберем на примере (см. табл. 41) зависимости производительности труда и энерговооруженности, как находится теоретическое уравнение связи, имеющее линейный характер. Уравнение прямой в общем виде $y_x = a + bx$. Найти теоретическое уравнение связи — значит определить параметры прямой. Для этого используется способ наименьших квадратов, который дает систему нормальных уравнений

$$\begin{aligned} an + b \sum x &= \sum y; \\ a \sum x + b \sum x^2 &= \sum xy, \end{aligned}$$

где n — численность совокупности (в примере $n = 25$). Для решения этой системы составим табл. 44.

Как следует из табл. 44;

$$\sum x = 253,7; \sum y = 161; \sum x^2 = 2713,25; \sum xy = 1753,1.$$

Следовательно, нормальное уравнение для нахождения параметров прямой имеет вид

$$\begin{aligned} 25a + 253,7b &= 161; \\ 253,7a + 2713,25 &= 1753,1. \end{aligned}$$

Таблица 44

Расчетные данные для решения системы нормальных уравнений

№ п/п	x	y	x^2	yx	y_x	$y - y_x$	$(y - y_x)^2$
1	6	2	36,00	12,00	2,9	-0,9	0,81
2	6,1	3	37,21	18,3	3,0	0	0
3	6,8	6	46,24	40,8	3,6	2,4	5,76
4	7,2	4	51,84	28,8	3,9	0,1	0,01
5	7,4	2	54,76	14,8	4,1	-2,1	4,41
6	7,9	3	62,51	23,7	4,5	-1,5	2,25
7	8,2	4	67,24	32,8	4,8	-0,8	0,64
8	8,5	5	72,25	42,5	5,0	0	0
9	8,9	6	79,21	53,4	5,4	0,6	0,36
10	9,1	8	82,81	72,8	5,5	2,5	6,25
11	9,4	5	88,36	47,0	5,8	-0,8	0,64
12	9,9	7	98,01	69,3	6,2	0,8	0,64
13	10,5	7	110,25	73,5	6,7	0,3	0,09
14	11,2	8	125,44	89,6	7,3	0,7	0,49
15	11,3	6	127,69	67,8	7,4	-1,4	1,96
16	11,5	9	132,25	103,5	7,6	1,4	1,96
17	11,7	9	136,89	105,3	7,8	1,2	1,44
18	12,1	8	146,41	96,8	8,1	-0,1	0,01
19	12,3	7	151,29	86,1	8,3	-1,3	1,69
20	12,6	8	158,76	100,8	8,5	-0,5	0,25
21	12,7	9	161,29	114,3	8,6	0,4	0,16
22	12,9	6	166,41	77,4	8,8	-2,8	7,84
23	13,0	10	169,00	130,0	8,9	1,1	1,21
24	13,2	9	174,24	118,8	9,1	-0,1	0,01
25	13,3	10	176,89	133,0	9,2	0,8	0,64
Итого	253,7	161	2713,25	1753,1	161	-12,3 +12,3	39,52

Умножая первое уравнение на 10,148 (253,7 : 25), получим

$$253,7a + 2574,548b = 1633,828.$$

Вычитая из первого уравнения вновь полученное, имеем

$$138,702b = 119,272,$$

откуда $b = 0,857$. Подставляя значение b в первое уравнение, получим

$$25a + 253,7 \cdot 0,857 = 161,$$

откуда $a = -2,25$.

Следовательно, теоретическое уравнение связи принимает вид

$$\bar{y}_x = 0,857x - 2,25.$$

В этом уравнении, рассчитанном при условии функциональной зависимости y от x , если корреляционная связь высокая, параметр b при x имеет большое практическое значение. Этот параметр,

который называется коэффициентом регрессии, характеризует, в какой мере увеличивается y_x с ростом величины x . В нашем примере прирост энерговооруженности труда на 1 тыс. кВт-ч. в году на одного работающего даст прирост производительности труда на 857 т угля в год на одного работающего.

Подставляя в приведенное выше уравнение x , получим при $x = 6$

$$y_x = 0,857 \cdot 6 - 2,25 = 2,9;$$

при $x = 6,1$

$$y_x = 0,857 \cdot 6,1 - 2,25 = 3,0 \text{ и т. д.}$$

Значения y_x приведены в графе 6 табл. 44, по которым можно построить выравненную прямую линию. Однако, для того, чтобы сказать, что полученная зависимость достаточно объективно характеризует изучаемые явления, следует измерить тесноту связи, т. е. определить, насколько она близка к функциональной связи. Для этого нужно прежде всего определить дисперсию, измеряющую отклонения y (эмпирические значения) от y_x (теоретические значения) и характеризующую остаточную вариацию, обусловленную прочими факторами.

Разность между общей дисперсией, измеряющей отклонения y от $\bar{y}$, и дисперсией, измеряющей отклонения y от y_x , даст нам дисперсию, измеряющую вариацию, обусловленную фактором x . На сравнении этой разницы с общей дисперсией и построим индекс корреляции или теоретическое корреляционное отношение R :

$$R = \sqrt{\frac{\sigma_y^2 - \sigma_{(y-y_x)}^2}{\sigma_y^2}}, \quad (102)$$

где σ_y^2 — общая дисперсия;

$\sigma_{(y-y_x)}^2$ — внутригрупповая дисперсия.

В нашем примере $\sigma^2 = 5,69$ (табл. 43); данные для расчета $\sigma_{(y-y_x)}$ приведены в графах 7 и 8 табл. 44.

Значит,

$$R = \sqrt{\frac{5,69 - 1,58}{5,69}} = 0,85.$$

Индекс корреляции характеризует в нашем примере тесную зависимость y от x и несколько превышает рассчитанное ранее эмпирическое корреляционное отношение ($\Sigma = 0,844$).

Индекс корреляции измеряется в пределах от 0 до 1. Если он равен нулю, то связи между вариацией признаков y и x нет. Это происходит тогда, когда $\sigma_{(y-y_x)}^2 = \sigma_y^2$, иначе говоря, когда теоретическая линия y_x совпадает со средним значением $\bar{y}$.

Если индекс корреляции равен единице, то связь между y и x функциональная, полная. Это происходит тогда, когда

$$\sigma_{(y-y_x)}^2 = 0,$$

т. е. теоретическая линия y_x полностью совпадает с эмпирической линией y . Значит, изменение y_x целиком определяется изменением x .

Таким образом $\sigma_{(y-y_x)}^2$ изменяется в пределах от 0 до σ_y . Чем меньше значение $\sigma_{(y-y_x)}$, тем ближе связь приближается к функциональной. Индекс корреляции пригоден для измерения тесноты связи при любой ее форме. Более того, выравнивая значения y по разным функциям, мы можем по величине дисперсии, характеризующей остаточную вариацию $\sigma_{(y-y_x)}^2$, судить о том, какая функция в наилучшей степени выравнивает нашу эмпирическую линию связи. Этот индекс, так же как и корреляционное отношение, не показывает направление связи, измеряя только ее тесноту.

Частным случаем общего индекса корреляции является линейный коэффициент корреляции, применение которого ограничено только линейной формой связи ($y_x = a + bx$).

Линейный коэффициент корреляции r построен на сопоставлении стандартизированных отклонений варьирующих признаков от их среднего значения

$$r = \sum \left(\frac{x - \bar{x}}{\sigma_x} \right) \left(\frac{y - \bar{y}}{\sigma_y} \right) : n,$$

где σ_x и σ_y — средние квадратические отклонения.

После ряда преобразований и замены обозначения $(x - \bar{x}) = dx$ и $(y - \bar{y}) = dy$ эту формулу можно записать

$$r = \frac{\sum dx dy}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{dx dy}{\sigma_x \sigma_y},$$

т. е. коэффициент корреляции представляет собой частное от деления среднего значения произведений признаков на произведение их средних квадратических отклонений.

Дальнейшее преобразование формулы приводит ее к виду, наиболее удобному для вычислений,

$$r = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \cdot \sum y}{n}}{\sqrt{\left[\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \right] \left[\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \right]}}. \quad (103)$$

Все данные для расчета коэффициента корреляции для нашего примера по этой формуле приведены в табл. 44.

$$r = \frac{1753,1 - \frac{253,7 \cdot 161}{25}}{\sqrt{\left[2713,25 - \frac{(253,7)^2}{25} \right] \left[1179 - \frac{(161)^2}{25} \right]}} = 0,85.$$

В отличие от корреляционного отношения и индекса корреляции, коэффициент корреляции показывает не только тесноту, но и направление связи. Его значение изменяется от -1 до $+1$. Если коэффициент корреляции имеет знак минус, значит связь обратная, если знак плюс, то связь прямая. Близость к единице в том и в другом случае характеризует близость к функциональной зависимости.

Из приведенной формулы (103) для коэффициента корреляции можно определить коэффициент регрессии

$$b = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}$$

Свободный член корреляционного уравнения определяется по формуле

$$a = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum y^2}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}$$

Корреляционная связь между тремя и более признаками

Измерение корреляционной связи одновременно между тремя и более признаками рассматривается методами множественной корреляции. Эти методы значительно расширяют возможности более глубокого анализа взаимосвязей изучаемых статистических явлений.

Рассмотрим приемы исследования множественной корреляции при взаимосвязи трех признаков, т. е. когда требуется измерить связь результативного признака y с двумя факторными признаками x и z .

При предположении наличия прямолинейной связи корреляционное уравнение, характеризующее изменение величины результативного признака y в зависимости от изменения двух факторных признаков (x и z), может быть представлено в следующем виде:

$$y_{xz} = a + bx + cz. \quad (104)$$

Параметры приведенного уравнения множественной корреляции (a , b , c) определяются по способу наименьших квадратов путем решения системы нормальных уравнений

$$\begin{aligned} na + b \sum x + c \sum z &= \sum y; \\ a \sum x + b \sum x^2 + c \sum xz &= \sum xy; \\ a \sum z + b \sum xz + c \sum z^2 &= \sum yz. \end{aligned}$$

Уравнение множественной корреляции показывает, как изменяются в среднем значения результативного признака y под совместным влиянием изменений величин нескольких (двух и более) факторных признаков при предположении, что величины всех других факторов остаются на одном и том же уровне.

Для измерения степени тесноты связи между изменениями величин результативного признака y и изменениями значений факторных признаков x и z рассчитывается коэффициент множественной корреляции R_{xzy} по формуле

$$R_{xzy} = \sqrt{\frac{r_{yx}^2 + z_{zy}^2 + 2r_{yx} \cdot r_{zy} \cdot r_{xz}}{1 - r_{yx}^2}}, \quad (105)$$

где r_{yx} ; r_{zy} и r_{xz} — коэффициенты парной корреляции.

В качестве примера составим уравнение множественной корреляции на основании данных (табл. 45) по отдельным рабочим о количестве изготовленных за смену изделий (результативный признак y), продолжительности внутрисменных простоев (факторный признак x) и длительности производственного стажа (факторный признак z). По фактическим (эмпирическим) данным об индивидуальных значениях результативного признака y и факторных признаков x и z определяем расчетные данные (табл. 45), необходимые для составления уравнения множественной корреляции. Используя приведенные в табл. 45 расчетные данные, составляем систему нормальных уравнений способа наименьших квадратов:

$$10a + 140b + 40c = 3940;$$

$$140a + 2030b + 536c = 55\,061;$$

$$40a + 536b + 174c = 15\,806.$$

Решая эту систему нормальных уравнений, получаем следующие величины параметров уравнения множественной корреляции $a = 395,4$, $b = 0,7$, $c = 2,09$. Таким образом, уравнение множественной корреляции, характеризующее в нашем примере зависимость сменной выработки рабочих одновременно от продолжительности внутрисменных простоев и от длительности производственного стажа, имеет следующий вид:

$$y_{xz} = 395,4 - 0,7x + 2,097z.$$

Расчет исходных данных для определения парных коэффициентов корреляции (r_{yx} ; r_{zy} и r_{yx}) и коэффициента множественной корреляции (r_{xzy}) представим в табл. 46.

Средние величины сменной выработки изделий $\bar{y}$, продолжительности внутрисменных простоев $\bar{x}$ и длительности производственного стажа $\bar{z}$ по данной группе рабочих составляют: $\bar{y} = 394$ шт.; $\bar{x} = 14$ мин; $\bar{z} = 4$ года.

Исходные данные о выработке наделов за смену, продолжительности внутрисменных простоев и производственного стажа рабочих

Табельные номера рабочих	Выработка наделов за смену, шт y	Продолжительность внутрисменных простоев, мин x	Длительность производственного стажа, лет z	xy	xz	x^2	z^2	$\bar{y}xz$
101	300	19	3	7410	57	361	9	388
102	387	15	2	5805	30	225	4	389
103	389	17	3	6613	51	289	9	390
104	401	11	5	4411	55	121	25	398
105	394	14	5	5516	70	196	25	394
106	394	12	4	4728	48	144	16	393
107	395	16	3	6320	48	256	9	391
108	391	13	5	5083	65	169	25	397
109	404	10	6	4040	60	100	36	400
110	395	13	4	5135	52	169	16	395

$n=10$; $\Sigma y=3940$; $\Sigma x=140$; $\Sigma z=40$; $\Sigma xy=5504$; $\Sigma xz=536$; $\Sigma x^2=2030$; $\Sigma z^2=174$; $\Sigma \bar{y}xz=3939$

Таблица 46

Расчетные данные для определения парных коэффициентов корреляции

Табельные номера рабочих	y	x	z	$d y$	$d x$	$d z$	$d x d y$	$d z d y$	$d x d z$	$d^2 y$	$d^2 x$	$d^2 z$
101	300	19	3	-4	+5	-2	-20	+4	-5	16	25	1
102	387	15	2	-7	+3	-2	-15	+14	-2	49	1	4
103	389	17	3	-5	+3	-1	-15	+5	-3	25	9	1
104	401	11	5	+7	-3	+1	-21	+7	-3	49	9	1
105	394	14	5	0	0	+1	0	0	0	0	0	1
106	394	12	4	0	-2	0	0	0	0	0	4	0
107	395	16	3	+1	+2	-1	+2	-1	-1	1	4	1
108	391	13	5	-3	-4	+2	-12	+20	-8	9	16	4
109	404	10	6	+10	-4	+2	-40	0	0	100	16	4
110	395	13	4	+1	-1	0	-1	0	0	1	1	0

$n=10$; $\Sigma y=3940$; $\Sigma x=140$; $\Sigma z=40$; $\Sigma d x d y=-99$; $\Sigma d x d z=+40$; $\Sigma d z d y=-24$; $\Sigma d^2 y=250$; $\Sigma d^2 x=70$; $\Sigma d^2 z=14$

Величины парных коэффициентов корреляции, характеризующих степень тесноты связи между соответствующими двумя признаками, рассчитываются по формулам

$$r_{yx} = \frac{\sum dx dy}{\sqrt{\sum d^2x \sum d^2y}}; \quad (106)$$

$$r_{zy} = \frac{\sum dz dy}{\sqrt{\sum d^2z \sum d^2y}}; \quad (107)$$

$$r_{xy} = \frac{\sum dx dz}{\sqrt{\sum d^2x \sum d^2z}}. \quad (108)$$

Величины dx , dy и dz определяются как разность между эмпирическим значением величины и ее средним значением по формулам

$$dy = (y - \bar{y});$$

$$dx = (x - \bar{x});$$

$$dz = (z - \bar{z}).$$

Подставив данные табл. 46 в формулы (106), (107) и (108), получим

$$r_{xy} = \frac{-99}{\sqrt{70 \cdot 250}} = -0,748;$$

$$r_{yz} = \frac{46}{\sqrt{14 \cdot 250}} = 0,777;$$

$$r_{xz} = \frac{-24}{\sqrt{70 \cdot 14}} = -0,767.$$

Величину коэффициента множественной корреляции определяем по формуле (105)

$$R_{xzy} = \frac{(-0,748)^2 + 0,777^2 - 2(-0,748)(0,777)(-0,767)}{1 - (-0,767)^2} = 0,816.$$

Как показывают расчеты, связь результативного признака y с двумя факторными признаками (x и z) является более тесной, чем с каждым из факторных признаков в отдельности. R_{xzy} по абсолютной величине (0,816) больше, чем соответственно r_{xy} (-0,748) и r_{zy} (0,777).

При осуществлении различного рода расчетов, связанных, в частности, с планированием качества продукции, пользуются корреляционными уравнениями, в которые вводится большое количество факторов. Связанные с определением этих уравнений трудности счетного порядка преодолеваются применением средств новейшей вычислительной техники.

Как и при изучении зависимости результативного признака от одного фактора, определение параметров уравнения множественной корреляции производят по формулам, в которых используются уже вычисленные значения коэффициентов корреляции и средних квадратических отклонений.

Так, например, при определении уравнения множественной корреляционной связи с тремя признаками, параметры уравнения b и c рассчитываются по формулам

$$b = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \frac{r_{xy} - r_{zy}r_{xz}}{1 - r_{xz}^2}; \quad (109)$$

$$c = \frac{\sigma_y}{\sigma_z} \frac{r_{zy} - r_{xy}r_{xz}}{1 - r_{xz}^2}, \quad (110)$$

где σ_y ; σ_x ; σ_z — средние квадратические отклонения;
 r_{xy} ; r_{zy} ; r_{xz} — парные коэффициенты корреляции.

Исходные величины для определения значений средних квадратических отклонений приведены в табл. 46 и составляют:
 $n = 10$; $\sum d^2y = 250$; $\sum d^2x = 70$; $\sum d^2z = 14$.
 Отсюда:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum d^2y}{n}} = \sqrt{\frac{250}{10}} = 5;$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum d^2x}{n}} = \sqrt{\frac{70}{10}} = 2,65;$$

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{\sum d^2z}{n}} = \sqrt{\frac{14}{10}} = 1,18.$$

Величины же соответствующих парных коэффициентов корреляции в нашем примере равны: $r_{xy} = -0,748$; $r_{zy} = 0,777$; $r_{xz} = 0,767$. Следовательно, параметры уравнения множественной корреляции в данном случае (формулы 109 и 110) составляют:

$$b = \frac{5}{2,65} \frac{(-0,748) - (0,777)(-0,767)}{1 - (-0,767)^2} = 0,7;$$

$$c = \frac{5}{1,18} \frac{(0,777) - (-0,748)(-0,767)}{1 - (-0,767)^2} = 2,09.$$

Для объяснения статистической связи между явлениями необходимо выявить «чистую» зависимость результативного признака y от каждого из взаимосвязанных факторных признаков x и z . При изучении «чистой» зависимости выявляется, каково было бы влияние данного факторного признака (например, x) на величину результативного признака y в условиях, когда другой факторный признак z оставался бы постоянным. Для этого используются методы частной (парциальной) корреляции. Применение этих

методов основывается на исчислении уравнения регрессии и показателей степени тесноты связи при предположении, что фактор, искажающее влияние изменений которого на результативный признак желательно исключить, имеет определенную величину.

При наличии трех изучаемых признаков вычисляются коэффициенты корреляции, которые характеризуют степень тесноты связи результативного признака y при исключении искажающего влияния одного из факторных признаков (x или z).

Частные коэффициенты корреляции между факторными признаками x и z и результативным признаком y определяются по формулам

$$\begin{aligned} r_{xy(z)} &= \frac{r_{xy} - r_{zy}r_{xz}}{\sqrt{(1-r_{xy}^2)(1-r_{xz}^2)}}; \\ r_{xy(x)} &= \frac{r_{zy} - r_{xy}r_{xz}}{\sqrt{(1-r_{xy}^2)(1-r_{xz}^2)}}, \end{aligned} \quad (111)$$

где $r_{xy(z)}$ — частный коэффициент корреляции между факторным признаком x и результативным признаком y , т. е. при исключении влияния признака z ;

$r_{zy(x)}$ — частный коэффициент корреляции между факторным признаком z и результативным признаком y , т. е. при исключении влияния признака x ;

r_{xy} , r_{zy} , r_{xz} — парные коэффициенты корреляции.

Рассчитывая величины частных коэффициентов корреляции, следует иметь в виду, что каждый из них по своей абсолютной величине не может быть больше величины коэффициента множественной корреляции R_{xzy} .

Рассчитаем величины частных коэффициентов корреляции по приведенным выше данным о взаимосвязи сменной выработки (результативный признак y), продолжительности внутрисменных простоев (факторный признак x) и длительности производственного стажа (факторный признак z).

Рассчитанные нами парные коэффициенты корреляции, характеризующие степень тесноты связи между соответствующими двумя признаками без исключения влияния третьего признака, составляют: $r_{xy} = -0,748$; $r_{zy} = 0,777$; $r_{xz} = -0,767$.

Величины частных коэффициентов корреляции, показывающие степень тесноты связи между результативным признаком и одним из факторных признаков при исключении влияния другого факторного признака, в нашем примере равны:

$$\begin{aligned} r_{xy(z)} &= \frac{(-0,748) - (0,777)(-0,767)}{\sqrt{[1 - (0,777)^2][1 - (-0,767)^2]}} = -0,32; \\ r_{zy(x)} &= \frac{(0,777) - (-0,748)(-0,767)}{\sqrt{[1 - (-0,748)^2][1 - (-0,767)^2]}} = 0,48. \end{aligned}$$

Сопоставляя полученные частные коэффициенты корреляции с вычисленными ранее парными коэффициентами корреляции, мы

видим, что обнаруженная ранее заметная связь между длительностью производственного стажа и уровнем производительности труда рабочих объясняется главным образом тем, что более опытные рабочие имели в среднем меньше внутрисменных простоев, чем менее опытные рабочие; «чистое» же влияние длительности производственного стажа на уровень производительности труда характеризуется в данных условиях относительно небольшим показателем: $r_{zy} = 0,48$.

Это же обстоятельство (зависимость продолжительности внутрисменных простоев от длительности производственного стажа, т. е. от опытности и квалификации рабочих) создает несколько преувеличенное представление о степени тесноты связи между уровнем производительности труда и продолжительностью внутрисменных простоев: $r_{xy(z)} = -0,32$.

§ 3. Исследование влияния основных свойств среды на износность оборудования

На износ деталей (узлов) оборудования флото-фильтровальных отделений, в условиях их работы на различных фабриках, оказывает влияние значительное число параметров среды. Поэтому рассчитать заранее количественное влияние каждого фактора в отдельности практически невозможно. Для оценки влияния всех параметров среды на измерение коэффициента износа в условиях различных обогатительных фабрик проводились исследования на образцах, изготовленных из стали Ст.3. Пластины размером $100 \times 50 \times 6$ мм устанавливались в 1-й и 6-й камерах флотационных машин на расстоянии 10 мм от стенки камеры в области интенсивного перемешивания (на уровне импеллера). Образец взвешивали на аналитических весах.

Коэффициент $\bar{K}$ рассчитывали по формуле (90).

Анализируя результаты проведенных исследований, можно убедиться в том, что в условиях одной фабрики коэффициент износа образцов различен и зависит от того, в какой камере он был установлен, т. е. величина износа образцов различна для одной и той же среды. Так, в условиях ЦОФ «Дуванская», коэффициент износа образца в первой камере флотационной машины ФМ-2,5 составляет 3, а в 6-й камере — 1,24, т. е. более чем в два раза меньше. Это объясняется тем, что содержание твердого в пульпе флотационной машины уменьшается от первой камеры к последней. Коэффициент износа образцов, установленных в машинах различного типа, имеет различное значение. Так, в первых камерах флотационных машин типа ФМУ-50 он составляет 0,4—0,53, а в первых камерах флотационных машин ФМ-2,5, 2,92—3,43, т. е. больше в 6 раз. Такая разница в значениях коэффициентов износа объясняется тем, что скорость движения пульпы у стенок камеры флотационной машины ФМ-2,5 больше, чем у стенок флотационной машины ФМУ-50.

Для количественной оценки влияния основных параметров среды флото-фильтровального отделения на изменение коэффициента износа используем методы множественной корреляции. В качестве основных параметров среды, оказывающих влияние на коэффициент износа k , принимаем следующие показатели:

γ — содержание твердого в питании флотационной машины, г/л; f_n — показатель абразивности органического вещества; f_n — показатель абразивности сопутствующих пород; x — водородный показатель среды; z — содержание класса $+0,2$ мм в питании флотационных машин; m — полный состав среды, г/л.

Скорость движения пульпы для однотипных машин принимаем постоянной.

Рассмотрим влияние перечисленных параметров среды на изменение коэффициента износа для флотационных машин ФМ-2,5.

С этой целью находим парную зависимость между коэффициентом износа k и перечисленными параметрами среды. Принимаем, что случайные величины распределены по нормальному закону. В этом случае теоретическая линия регрессии выражается прямой.

Найти уравнение регрессии значит выразить связь между средним значением $\bar{y}$ и соответствующими значениями x , т. е. из множества прямых линий, которые можно провести на плоскости, следует выбрать одну, наилучшим образом соответствующую экспериментальным данным. Для этого требуется, чтобы сумма квадратов расстояний всех экспериментальных точек от ординат, вычисленных по уравнению прямой, была минимальной.

Для решения уравнения (99) используем метод наименьших квадратов, для чего составляем систему нормальных уравнений

$$na + b \sum x = \sum y;$$

$$a \sum x + b \sum x^2 = \sum xy,$$

где n — число одновременных наблюдений по всем признакам.

Для решения системы нормальных уравнений составлена табл. 47.

Подставляя поочередно данные из этой таблицы в систему уравнений и решая их, найдем уравнения регрессии между k и выбранными нами параметрами среды. Для оценки корреляционной связи между коэффициентом износа и выбранными параметрами среды рассчитаем коэффициент парной корреляции r_{yx} по формуле (103) и надежность коэффициента корреляции

$$\mu = \frac{r_{yx} \sqrt{n}}{1 - r_{yx}^2}.$$

Результаты расчетов приведены в табл. 48.

Результаты расчета отдельных факторов, влияющих

Обогатительная фабрика	k	γ	f_y	f_n	x	z	m
Дуванская	3,0	160	2917	7 058	7,6	36,2	2438
Брянковская	3,01	160	2909	8 612	7,6	39,7	4749
Узловская	2,92	150	2989	6 799	7,5	38,6	3965
Пикитовская	2,80	140	2648	6 151	7,5	36,4	4226
Михайловская	3,49	160	2506	10 968	7,3	37,7	3338

$$\sum k = 15,22; \sum \gamma = 770; \sum f_y = 13\,969; \sum f_n = 39\,588; \sum x = 37,7; \sum z = 191,2; \sum m = 18\,716;$$

$$\sum f_y^2 = 328\,340\,134; \sum x^2 = 281,31;$$

Обогатительная фабрика	$k\gamma$	kf_y	kf_n	kx
Дуванская	480,0	8751	21 174	22,80
Брянковская	481,6	8756	25 922	22,88
Узловская	433,0	8728	19 853	21,90
Пикитовская	392,0	7414	17 223	21,00
Михайловская	558,4	8746	38 278	25,48

$$\sum k\gamma = 2345; \sum kf_y = 42\,395; \sum kf_n = 122\,450; \sum kx = 114,06; \sum kz = 574,3;$$

$$\sum \bar{k}_{\gamma f_n f_y}$$

Т а б л и ц а 48

**Результаты расчета коэффициента парной корреляции
и коэффициента надежности**

Показатели	Уравнение регрессии	r_{xy}	μ
Содержание твердого в питании флотации γ	$\bar{k}_{\gamma} = 0,67\gamma - 100,14$	0,71	3,2
Показатель абразивности органического вещества f_y	$\bar{k}_{f_y} = -0,001f_y + 5,83$	-0,66	2,8
Показатель абразивности сопутствующих пород f_n	$\bar{k}_{f_n} = 0,0001f_n + 2,25$	0,95	21,0
Водородный показатель среды x	$\bar{k}_x = -0,125x + 3,98$	0,03	0,1
Содержание класса +0,2 мм в питании флотации z	$\bar{k}_z = 0,125z - 1,67$	0,13	0,35
Полный состав среды m	$\bar{k}_m = 0,00006m + 3,26$	-0,21	0,5

Таблица 47

на надежность оборудования флото-фильтровальных отделений

k^2	γ^2	f_y^2	f_n^2	x^2	z^2	m^2
9,0	25 600	8 508 889	49 815 364	57,76	1310	5 943 844
9,06	25 600	8 462 281	74 160 544	57,76	1576	22 553 001
8,53	22 500	8 934 121	46 226 401	56,25	1490	15 771 225
7,84	19 600	7 011 904	37 834 801	56,25	1325	17 859 076
12,18	25 600	6 280 036	120 297 024	53,29	1421	11 142 224

$$188,6; \sum m = 18\,716; \sum k^2 = 46,61; \sum \gamma^2 = 118\,900; \sum f_y^2 = 39\,197\,231;$$

$$\sum z^2 = 7122; \sum m^2 = 73\,269\,370;$$

Продолжение табл. 47

kz	km	γf_n	γf_y	$f_n f_y$	$\bar{k} \gamma f_n f_y$
108,6	7 314	1 129 280	466 720	20 588 186	2,97
119,5	14 294	1 377 920	465 440	25 052 308	3,08
112,7	11 578	1 019 850	448 350	20 322 111	2,93
101,9	11 831	861 140	370 720	16 287 848	2,89
131,6	11 649	1 754 880	400 960	27 485 808	3,40

$$\sum km = 56\,668; \sum \gamma f_n = 6\,143\,070; \sum \gamma f_y^2 = 2\,152\,190; \sum f_n f_y = 109\,716\,261;$$

$$= 15,27.$$

При $r_{yx} < 0,3$ связь между функцией и аргументом слабая, при $\mu \geq 2,6$ можно утверждать, что связь между показателями надежная, и зависимость считается объективной.

Из расчетов, приведенных в табл. 48, видно, что для зависимости между коэффициентом износа $\bar{k}$ и такими показателями, как водородный показатель среды x , содержанием класса + 0,2 мм в питании флотации z и полным составом среды m , надежность коэффициента корреляции $\mu < 2,6$.

Следовательно, можно считать, что зависимость случайная и в дальнейших исследованиях коэффициента износа $\bar{k}$ эти показатели не должны приниматься во внимание.

Высокие значения коэффициентов надежности и корреляции для зависимости между коэффициентом износа $\bar{k}$ и такими параметрами среды флото-фильтровального отделения, как показатель абразивности сопутствующих пород f_n , органического вещества f_y и содержанием твердого в питании флотационных машин γ , свидетельствуют о том, что эти зависимости закономерные

и указанные параметры среды определяют количественно износ деталей, имеющих непосредственный контакт со средой.

Для выявления количественного влияния на коэффициент износа выбранных параметров используем множественную корреляцию. Уравнение множественной регрессии при прямолинейной зависимости имеет вид

$$\bar{y} = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + a,$$

где $b_1; b_2; b_3$ — коэффициенты регрессии;

$x_1; x_2; x_3$ — значение аргумента в натуральном масштабе (в единицах своего измерения).

Для определения коэффициентов регрессии необходимо рассчитать взаимное влияние переменных величин друг на друга, т. е. вычислить внутренние коэффициенты корреляции, характеризующие тесноту связи между двумя переменными.

В табл. 49 приведены зависимости между коэффициентом износа ($\bar{k}$) и параметрами среды флото-фильтровального отделения.

Таблица 49

Результаты расчета зависимости коэффициента износа от параметров среды

Показатели	Уравнение регрессии	r_{yx}	"
$\bar{k}$ от γ	$\bar{k}_\gamma = 0,67\gamma - 100,4$	0,71	3,2
$\bar{k}$ от f_y	$\bar{k}_{f_y} = -0,001f_y + 5,83$	-0,66	2,8
$\bar{k}$ от f_n	$\bar{k}_{f_n} = 0,0001f_n + 2,25$	0,95	21,0
$\bar{\gamma}$ от f_y	$\bar{\gamma}_{f_y} = 0,05f_y + 14,2$	-0,04	0,10
$\bar{\gamma}$ от f_n	$\bar{\gamma}_{f_n} = 0,003f_n + 130,3$	0,67	2,7
$\bar{f}_y$ от f_n	$\bar{f}_{y f_n} = -0,06f_y + 3270,2$	-0,69	3,0

Степень влияния отдельных переменных на изменение функции характеризуется уравнением множественной регрессии в стандартизованном масштабе

$$\bar{k}_0 = \beta_1t_1 + \beta_2t_2 + \beta_3t_3,$$

где $\beta_1; \beta_2; \beta_3$ — стандартизованные коэффициенты множественной регрессии.

$t_1; t_2; t_3$ — стандартизованные значения переменных γ, f_n, f_y .

Используя метод наименьших квадратов для определения коэффициентов, получим систему нормальных уравнений

$$\beta_1 + r_{\gamma f_y}\beta_2 + r_{\gamma f_n}\beta_3 = r_{k\gamma};$$

$$r_{f_y\gamma}\beta_1 + \beta_2 + r_{f_y f_n}\beta_3 = r_{k f_y};$$

$$r_{\gamma f_n}\beta_1 + r_{f_n f_y}\beta_2 + \beta_3 = r_{k f_n}.$$

Эта система составлена таким образом, что в качестве коэффициентов при неизвестных стоят значения внутренних коэффициентов корреляции между параметрами среды, а в качестве свободных членов — коэффициенты корреляции между этими параметрами и коэффициенты износа. Подставив в систему значения коэффициентов корреляции (табл. 49), получим систему уравнений

$$\begin{aligned} \beta_1 - 0,04\beta_2 + 0,67\beta_3 &= 0,71; \\ -0,04\beta_1 + \beta_2 - 0,69\beta_3 &= 0,66; \\ 0,67\beta_1 - 0,69\beta_2 + \beta_3 &= 0,96. \end{aligned}$$

Решая ее, находим $\beta_1 = 0,092$; $\beta_2 = -0,022$; $\beta_3 = 0,921$.

Таким образом, уравнение множественной регрессии в стандартизированном масштабе будет иметь вид

$$\bar{k}_0 = 0,097\gamma - 0,022f_y + 0,921f_n. \quad (112)$$

Как видно из полученной зависимости, наибольшее влияние на коэффициент износа $\bar{k}$ оказывает показатель абразивности сопутствующих пород f_n ; с ростом содержания твердого в питании флотации γ коэффициент износа $\bar{k}$ также будет возрастать, однако содержание твердого в пульпе оказывает значительно меньшее влияние на коэффициент износа, чем абразивная способность сопутствующих пород. Отрицательный знак при показателе абразивности органического вещества f_y означает, что с ростом f_y коэффициент износа $\bar{k}$ будет уменьшаться. Последнее обстоятельство необходимо, очевидно, понимать в таком смысле: f_y может возрастать только за счет увеличения содержания органического вещества в исходной пульпе флотационных машин, в этом случае должно уменьшаться содержание сопутствующих пород, а следовательно, и f_n , поэтому коэффициент износа $\bar{k}$ в этом случае будет стремиться к минимуму. Однако это нельзя понимать так, что при $f_n = 0$, коэффициент износа $\bar{k}$ будет равен 0. В этом случае необходимо будет найти уравнение регрессии, в котором в качестве переменных факторов, влияющих на изменение $\bar{k}$, будут только γ и f_y .

Для практического использования уравнения множественной регрессии (112) выразим его в натуральном масштабе. Для этого определяем коэффициенты при переменных по формуле

$$b_k = \frac{\sigma_k}{\sigma_x} \beta_k,$$

где b_k — коэффициенты при неизвестных в уравнении регрессии;
 σ_k — среднее квадратическое отклонение изучаемого параметра;
 σ_x — среднее квадратическое отклонение факторов γ , f_y и f_n .

Для определения коэффициентов необходимо рассчитать их средние значения и средние квадратические отклонения, которые имеют следующие значения:

$$\sigma_k = 0,151; \quad \sigma_\gamma = 154; \quad \sigma_{f_y} = 453,2 \quad \sigma_{f_n} = 1612,4.$$

Используя их, получим коэффициенты

$$b_1 = 0,9 \cdot 10^{-4}; \quad b_2 = 0,75 \cdot 10^{-5}; \quad b_3 = 0,86 \cdot 10^{-4}.$$

Подставив значения b_k в выражение (112), получим уравнение множественной регрессии в натуральном виде

$$\bar{k} = 0,9 \cdot 10^{-4} \gamma - 0,75 \cdot 10^{-5} f_y + 0,86 \cdot 10^{-4} f_n + a. \quad (113)$$

Введя в последнее уравнение средние значения показателей, определим свободный член уравнения множественной корреляции $a = 2,386$.

Окончательное уравнение множественной корреляции в натуральном виде будет иметь вид

$$\bar{k} = 0,9 \cdot 10^{-4} \gamma - 0,75 \cdot 10^{-5} f_y + 0,86 \cdot 10^{-4} f_n + 2,386. \quad (114)$$

Рассчитав по этому уравнению при соответствующих γ , f_y и f_n величины $\bar{k}_y f_n f_y$, увидим, что суммы опытных k и расчетных данных $\bar{k}$ (табл. 47) совпадают, а отдельные значения их мало отличаются друг от друга.

Теснота связи между коэффициентом износа $\bar{k}$ и выбранными показателями среды флото-фильтровального отделения измеряется совокупным коэффициентом корреляции по формуле

$$R = \sqrt{r_{k\gamma}^2 \beta_1 + r_{kf_y}^2 \beta_2 + r_{kf_n}^2 \beta_3} = 0,97 \text{ или } 97\%.$$

Высокое значение коэффициента множественной корреляции свидетельствует о том, что учтена основная масса показателей (97%), характеризующих изменение величины коэффициента износа и выбранные показатели объективно отражают взаимосвязь коэффициента $\bar{k}$ с содержанием твердого в питании флотации γ , показателем абразивности сопутствующих пород f_n и показателем абразивности органического вещества f_y . О достоверности проведенных вычислений свидетельствует то, что по абсолютной величине коэффициент множественной корреляции превышает значения коэффициентов парной корреляции.

Надежность найденного коэффициента корреляции $\mu = 53,8$ также подтверждает объективность полученной зависимости. Полученная зависимость (114) показывает, что на величину износа

детали оказывают влияние такие факторы, как показатель абразивности сопутствующих пород f_n , показатель абразивности органического вещества f_o и содержание твердого в питании флотации γ .

Показатель абразивности сопутствующих пород и органического вещества характеризуется маркой обогащаемого угля. Следовательно, при определении надежности оборудования флото-фильтровальных отделений сбор исходной информации по однотипному оборудованию необходимо производить на фабриках-представителях. Для получения объективных сведений о надежности оборудования флото-фильтровальных отделений сбор исходной информации производится на углеобогащательных фабриках, обогащающих различные марки угля.

Глава VIII

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ УГЛЕБОГАТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

§ 1. Сбор данных для оценки эксплуатационной надежности

Теория надежности, как и всякая другая наука, может развиваться лишь на соответствующей базе. В настоящий период теория надежности более всего нуждается в опытных данных по отказам установок и их узлов, зарегистрированных в период испытаний и эксплуатации.

Особую ценность представляют собой материалы, характеризующие надежность технологического оборудования в реальных условиях эксплуатации. При наличии таких данных можно установить наиболее распространенные в реальных условиях виды функций плотности вероятности отказов различных узлов, что позволяет обосновать математические модели, отражающие в достаточной степени ход изменения надежности различных видов оборудования, а также отдельных узлов. Поэтому вопрос о сборе и систематизации этих материалов является одним из важнейших.

Основные затруднения, встречающиеся при исследовании надежности углебогатительного оборудования, вытекают из ограниченности первичных исходных данных в результате отсутствия должного внимания и неупорядоченности организации сбора статистических материалов. Трудности, возникающие в процессе выполнения этой работы, связаны со сложностью организации сбора и обработки информации, трудоемкостью исследований, необходимостью осуществления наблюдений в реальных условиях, например, в производственных цехах, на действующих установках.

Поскольку конструкция и технология изготовления современных технических средств изменяются довольно быстро, то имеют место случаи, когда полученные результаты анализа их эксплуатационной надежности в значительной мере устаревают. В этих условиях организация трудоемкого эксперимента по сбору и систематизации статистических данных, характеризующих эксплуатационную надежность, не всегда оправдывается, так как ожида-

емые результаты, полученные с опозданием, не могут быть использованы при разработке новых видов оборудования.

В этой связи появляется необходимость улучшения организации и ускорения сбора и обработки статистических материалов в процессе эксплуатации технических средств, с одной стороны, и потребность в разработке способов проведения ускоренных испытаний на надежность — с другой. Несмотря на большие преимущества ускоренных испытаний, они еще не получили достаточного распространения, что объясняется главным образом трудностями обоснования зависимостей между результатами таких исследований и данными реальной эксплуатации.

Правильная организация сбора первичных материалов по отказам имеет большое значение. Первым и необходимым условием является четкое разграничение видов отказов с установлением их характера и причин в целях получения однородных исходных данных. Лишь при соблюдении этого условия становится возможным получение правильных статистических характеристик надежности. Одновременно целесообразно зафиксировать данные, характеризующие восстановление рассматриваемых технических средств после отказов, для получения параметров их ремонтной пригодности.

Таким образом, сбору статистических материалов должно предшествовать изучение технических причин и обстоятельств, приводящих к отказам узлов и агрегатов, надежность которых исследуется.

Характер и содержание организационно-технических мероприятий по сбору данных об отказах должны содержать основные сведения: о типе установки (оборудования); о длительности исправной работы до появления повреждения; о режиме работы, при котором произошел отказ; о причинах появления отказа (износе, поломке деталей и др.); о необходимом ремонте с указанием его объема и трудоемкости.

§ 2. Статистическая обработка результатов эксплуатационных наблюдений на надежность

Полученные в результате систематизации материалы по отказам узлов и деталей оборудования и систем подлежат дальнейшей обработке.

Задачи этой обработки следующие:

определение вида функции плотности вероятности отказов рассматриваемого оборудования;

определение параметров полученного распределения;

установление степени близости эмпирического распределения к предполагаемому теоретическому распределению;

определение необходимых параметров надежности рассматриваемых узлов и деталей.

Наибольший объем расчетных работ соответствует случаю, когда можно предположить распределение нормальное,

логарифмически нормальное, Вейбулла, а наименьший — случай экспоненциального распределения.

В случае, когда полученное эмпирическое распределение представляется сложным и может рассматриваться в виде композиции двух или более простых распределений, требуется представить данную композицию в виде суммы составляющих распределений и выполнить статистические исследования каждого из них в отдельности.

Если эмпирическое распределение сроков безотказной работы рассматриваемого оборудования не может быть отнесено к какому-либо из теоретических распределений или к композиции из них (которые мы рассмотрим несколько позже), то определение характеристик надежности такого оборудования производится методом численного интегрирования.

Для подбора вида теоретического распределения, достаточно близко подходящего к заданному эмпирическому, в настоящее время применяются методы максимума правдоподобия и наименьших квадратов.

Сущность метода максимума правдоподобия заключается в подборе функции распределения заданного вида, при которой максимизируется величина

$$L = \sum_{i=1}^k l_n \varphi(t_i; \bar{t}; \sigma_i).$$

где k — число групп измеряемой величины;
 $\varphi(t_i; \bar{t}; \sigma_i)$ — искомая функция плотности вероятности, подлежащая определению, зависящая от $\bar{t}$ и σ_i ;
 $\bar{t}$ — математическое ожидание;
 σ_i — среднее квадратическое отклонение.

Сущность метода наименьших квадратов, пригодного для определения параметров распределения при полных выборках, заключается в подборе такой функции распределения заданного вида, при которой минимизируется величина

$$S = \sum_{i=1}^k [a_s(t_i) - a_r(t_i; \bar{t}; \sigma_i)]^2,$$

где a_s — экспериментальное значение параметра, выбранного в качестве критерия приближения;
 a_r — теоретическое значение этого параметра при принятом виде распределения.

В практических условиях при использовании любого из указанных методов для определения параметров надежности исследуемого оборудования оказывается более удобным определять не параметры $\bar{t}$ и σ_i , а параметры, характеризующие вид распределения. При этом следует иметь в виду, что как бы ни хорошо была подобрана теоретическая кривая, между теоретическим и эмпирическим распределением существуют некоторые расхождения.

В практических условиях необходимо установить, являются ли эти расхождения случайными или существенными. Для оценки степени качества этого совпадения применяются так называемые критерии согласия — критерий χ^2 или критерий Колмогорова.

Оценка по критерию χ^2 производится в следующем порядке.

1. Определяется мера расхождения χ^2 по формуле

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(m_i - m'_i)^2}{m'_i}, \quad (115)$$

где n — число интервалов;

m_i — экспериментальные частоты;

m'_i — теоретические частоты.

Теоретическая частота определяется для каждого интервала

$$m'_i = P(t_i) \sum m_i; \quad (116)$$

$$P(t_i) = \frac{\Delta t}{\sigma} \varphi(x), \quad (117)$$

где $P(t_i)$ — вероятность интервала;

Δt — величина интервала.

2. Определяется число степеней свободы K по формуле

$$K = n - r - 1,$$

где r — число параметров теоретической функции.

3. По найденным величинам r и χ^2 определяется вероятность того, что величина, имеющая распределение χ^2 с r степенями свободы, превзойдет полученное значение χ^2 . Если эта вероятность мала, то принятое теоретическое распределение должно быть отвергнуто как неправдоподобное, а если она относительно велика, теоретическое распределение можно признать не противоречащим опытным данным. Обычно, если $P(\chi^2)$ оказывается меньше 0,1—0,2, принятое теоретическое распределение может считаться неправдоподобным.

Экспериментальный статистический материал для придания ему наглядности и компактности формируется обычно в виде статистического ряда. Для этого весь диапазон значений случайной величины разбивается на интервалы (группы).

В теории надежности группировка статистического материала имеет важное значение, так как простой подсчет итогов без распределения единиц совокупности по группам не дает полной характеристики объекта изучения. Распределение единиц изучаемого объекта на однородные группы по существенным для них признакам называется статистической группировкой. Для научно обоснованного построения статистических группировок важное значение имеет правильный выбор группировочных признаков. Это важно потому, что от его правильности зависят выводы, полученные в результате исследования.

В теории надежности в основном приходится иметь дело с взаимосвязью варьирующих признаков в пределах однокачественной совокупности, которые подразделяются на факторные и результативные.

Факторным называется признак, под воздействием которого изменяется другой зависящий от него признак, называемый результативным. Взаимосвязь заключается в том, что с изменением значения факторного признака возрастает или убывает значение результативного признака.

При проведении группировок возникают вопросы о числе групп и величине интервалов. В том случае, когда мы имеем дело с группировками по количественным признакам, варианты которых выражаются числами, необходимое число групп должно быть не слишком большим и не слишком малым (принято считать, что число групп не должно быть меньше пяти и больше двадцати), при этом в каждую группу должно попасть достаточное число единиц совокупности.

Для определения величины интервала следует пользоваться формулой

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{n},$$

где h — величина интервала;

$x_{\max} - x_{\min}$ — максимальная и минимальная величины признака;
 n — число групп.

Порядок действий при выполнении статистического исследования надежности оборудования показан на примере оборудования флото-фильтровального отделения.

Объем статистических данных, использованный для оценки надежности оборудования, приведен в табл. 50.

Таблица 50

Объем статистических данных, используемых для оценки надежности оборудования

Оборудование	Суммарное время работы, Σt_p , ч	Суммарное время восстановления, $\Sigma t_{в}$, ч	Суммарное количество отказов, m_i
Флотационные машины ФМУ-50	109 · 10 ³	1300	239
Дисковые вакуум-фильтры . . .	32,8 · 10 ³	1300	330
Вакуум-насосы КВН-50	149 · 10 ³	1140	160
Шламовые насосы ШН-240 (для перекачки фильтрата и переливов)	55,3 · 10 ³	514	158

Расчет показателей надежности флотационных машин

Статистические данные для количественной оценки надежности флотационных машин ФМУ-50 получены (табл. 51) в результате проведения специальных исследований, а также

сбора данных о их работе за длительный промежуток времени (13 625 смен).

По данным табл. 51 построена гистограмма наработок на отказ (рис. 54), по виду которой можно сделать предположение, что исследуемая случайная величина подчинена нормальному закону распределения. Кроме того, принято считать [32], что если детали оборудования подвергнуты постепенному износу, то наработка на отказ этого оборудования будет распределена по нормальному закону.

Плотность распределения при нормальном законе распределения рассчитывается по формуле (9).

Для построения теоретической кривой по формуле (9) необходимо рассчитать по экспериментальным данным среднее значение случайной величины $\bar{t}$.

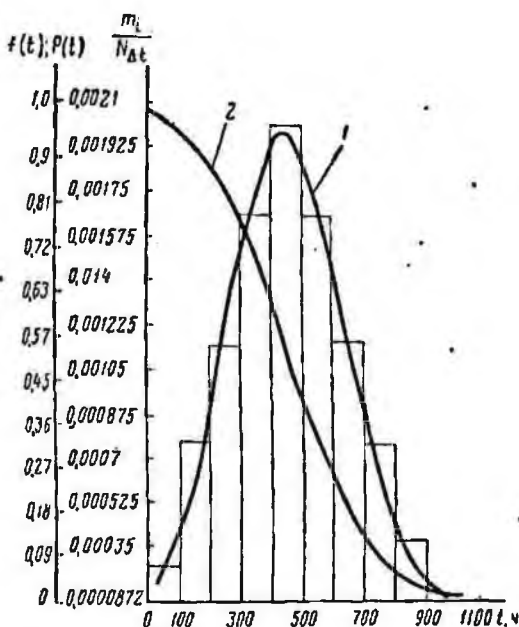


Рис. 54. Плотность распределения (1) и вероятность безотказной работы (2) флотационных машин ФМУ-50

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i t_i}{N}$$

Таблица 51

Исходные данные для расчета эксплуатационной надежности флотационных машин

Интервал	Середина интервала t_i	Количество наработок, попавших в интервал m_i	Частота $\frac{m_i}{N}$	Частность $\frac{m_i}{N \Delta t}$
0—100	50	6	0,0251	$0,251 \cdot 10^{-3}$
101—200	150	18	0,0753	$0,753 \cdot 10^{-3}$
201—300	250	28	0,1170	$0,117 \cdot 10^{-2}$
301—400	350	39	0,1643	$0,164 \cdot 10^{-2}$
401—500	450	51	0,2130	$0,213 \cdot 10^{-2}$
501—600	550	38	0,1590	$0,159 \cdot 10^{-2}$
601—700	650	29	0,1210	$0,121 \cdot 10^{-2}$
701—800	750	17	0,0710	$0,71 \cdot 10^{-3}$
801—900	850	9	0,0376	$0,376 \cdot 10^{-3}$
901—1000	950	4	0,0167	$0,167 \cdot 10^{-3}$

$$N = 239 \quad \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{N} = 1,0.$$

где e — число интервалов статистического ряда случайной величины;

t_i — середина интервала;

m_i — количество наработок, попавших в данный интервал;

N — общее количество наработок, полученных за период испытаний;

и среднее квадратическое отклонение σ :

$$\sigma = \sqrt{a - (\bar{t})^2},$$

где

$$a = \frac{\sum_{i=1}^e m_i t_i^2}{N}.$$

Расчет статистической оценки математического ожидания $\bar{t}$ и среднего квадратического отклонения σ значительно упрощается при использовании способа моментов.

Если все значения варианта сначала уменьшить на одно и то же число t_0 , а затем уменьшить в h раз, тогда новые варианты будут выражены в виде

$$t'_i = \frac{t_i - t_0}{h},$$

их средняя величина будет

$$\bar{t}' = \frac{\sum t'_i m_i}{\sum m_i}.$$

Подставив вместо t'_i его значение, получим

$$\bar{t} = \frac{\sum \left(\frac{t_i - t_0}{h} \right) m_i}{\sum m_i}.$$

В то же время, согласно рассмотренному свойству, средняя из новых вариантов $\left(\frac{t_i - t_0}{h} \right)$ будет равна средней из первоначальных вариантов уменьшенной соответственно сначала на t_0 , а затем в h раз

$$\bar{t}' = \frac{\bar{t} - t_0}{h} \quad \text{или} \quad \bar{t} = t_0 + h \bar{t}'.$$

Последние две формулы в ряде случаев позволяют значительно сократить расчет средних. Величины t_0 и h являются произвольными, однако наибольшее упрощение расчетов достигается в тех случаях, когда в качестве t_0 принимается одна из центральных вариантов ряда, а в качестве h — общий наибольший делитель величин $(t_i - t_0)$. При равных интервалах в качестве h лучше всего принимать величину интервала. Величина t_0 называется началом отсчета.

Используя рассмотренный выше способ расчета средней, определим наработку на отказ флотационных машин ФМУ-50. Сгруппировав исходные данные в виде вариационного ряда (табл. 52) и приняв за начало отсчета $t_0 = 450$, а $h = 100$, находим значения $(t_1 - t_0)$

$$\bar{t}' = \frac{\sum \left(\frac{t_i - t_0}{h} \right) m_i}{\sum m_i} = \frac{30}{239};$$

$$\bar{t} = t_0 + h\bar{t}' = 450 + \frac{30}{239} \cdot 100 = 462 \text{ ч.}$$

Упрощенный способ расчета среднего квадратического отклонения основан на отсчете от условного нуля.

Таблица 52

Результаты расчета по способу моментов наработки на отказ флотационных машин ФМУ-50

Середина интервала t_i	Количество наработок в интервале m_i	$t_i - t_0$	$t' = \frac{t_i - t_0}{h}$	$t' m_i = \frac{t_i - t_0}{h} m_i$
50	6	-400	-4	-24
150	18	-300	-3	-54
250	28	-200	-2	-56
350	39	-100	-1	-39
450	51	0	0	0
550	38	100	1	38
650	29	200	2	58
750	17	300	3	51
850	9	400	4	36
950	4	500	5	20

$$\sum m_i = 239$$

$$\begin{array}{r} -173 \\ +203 \\ \hline 30 \end{array}$$

В этом случае среднее квадратическое отклонение рассчитывается по формуле

$$\sigma = h \sqrt{(\bar{t}'^2) - (\bar{t}')^2},$$

где $(\bar{t}')^2 = \left[\frac{\sum \left(\frac{t_i - t_0}{h} \right) m_i}{\sum m_i} \right]^2$ — средняя квадратов;

$$(\bar{t}'^2) = \frac{\sum (t')^2 m_i}{\sum m_i} = \frac{\sum \left(\frac{t_i - t_0}{h} \right)^2 m_i}{\sum m_i} \text{ — квадрат средней.}$$

Результаты расчета среднего квадратического отклонения наработки на отказ флотационных машин приведены в табл. 53. Отсюда

$$\bar{t}' = \frac{\sum t' m_i}{\sum m_i} = \frac{30}{239} = 0,125;$$

$$(\bar{t}')^2 = (0,125)^2 = 0,0156;$$

$$(\bar{t'^2}) = \frac{\sum (t'^2) m_i}{\sum m_i} = \frac{960}{239} = 4,0169;$$

$$\sigma = h \sqrt{(\bar{t'^2}) - (\bar{t}')^2} = 100 \sqrt{4,0169 - 0,0156} = 100 \sqrt{4,0013} = 201 \text{ ч.}$$

Т а б л и ц а 53

Результаты расчета по способу моментов среднего квадратического отклонения флотационных машин ФМУ-50

Середина интервала t_i	Количество наработки в интервале m_i	$t' = \frac{t_i - t_0}{h}$	$(t'_i)^2$	$(t')^2 m = \left(\frac{t_i - t_0}{h}\right)^2 m$
50	6	-4	16	96
150	18	-3	9	162
250	28	-2	4	112
350	39	-1	1	39
450	51	0	0	0
550	38	1	1	38
650	29	2	4	116
750	17	3	9	153
850	9	4	16	144
950	4	5	25	100

$$\sum m_i = 239$$

$$\sum (t')^2 = 960$$

Результаты расчета значений плотности распределения $f(t)$ приведены в табл. 54.

$$f(t) = \frac{1}{\sigma} \varphi(x); \quad \varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{x^2}{2}\right] \text{ при } x = \frac{t_i - \bar{t}}{\sigma}.$$

Проверка правильности принятой гипотезы о распределении наработки на отказ флотационных машин ФМУ-50 по нормальному закону произведена по критерию согласия χ^2 [формулы (115), (116), (117)].

Для определения вероятности согласия $P(\chi^2)$ определяем число степеней свободы $K = 7$ (в нашем случае $r = 2$; так как нормальный закон двухпараметрический).

По табл. [56] при $\chi^2 = 3,015$ и $K = 7$; $P(x)^2 = 0,885$, что подтверждает принятую гипотезу о распределении наработки на отказ флотационных машин по нормальному закону.

Результаты расчета плотности распределения флотационных машин ФМУ-50

Время работы t_i , ч	$t_i - \bar{t}$	$x = \frac{t_i - \bar{t}}{\sigma}$	$\varphi(x)$	$f(t)$
50	-412	-2,05	0,0488	0,000243
150	-312	-1,55	0,1200	0,000597
250	-212	-1,05	0,2299	0,001144
350	-112	-0,06	0,3982	0,001981
450	+88	-0,06	0,3982	0,001981
550	188	0,44	0,3621	0,001801
650	288	0,94	0,2565	0,001276
750	388	1,43	0,1435	0,000714
850	488	1,93	0,0620	0,000308
950	488	2,43	0,0208	0,001030

На рис. 54 построена кривая плотности распределения $f(t)$ флотационных машин ФМУ-50.

Доверительные интервалы среднего времени безотказной работы ($\bar{t} = 462$ ч) флотационных машин ФМУ-50 при нормальном законе распределения рассчитывается по формулам

$$\begin{aligned} t_n &= \bar{t} - \varepsilon; \\ t_b &= \bar{t} + \varepsilon, \end{aligned} \quad (118)$$

где $\varepsilon = t_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$;

t_α — коэффициент, который находится из таблиц распределения Стьюдента; входами в эту таблицу являются число $\sum m_i$ и доверительная вероятность α .

Задавшись $\alpha = 0,9$, получим $t_n = 441$ ч; $t_b = 483$ ч. Вероятность безотказной работы флотационных машин $P(t)$ определяем по формуле (10). Для чего подставив значения $\bar{t}$ и σ , получим зависимость вероятности безотказной работы флотационных машин ФМУ-50 [57]

$$P(t) = 0,505 [1 + \Phi(2,3 - 0,00497t)]. \quad (119)$$

На рис. 54 по формуле (119) построена кривая вероятности безотказной работы флотационных машин ФМУ-50.

В процессе длительных наблюдений за работой флотационных машин ФМУ-50 фиксировалось также их время восстановления после каждого отказа, которое включает в себя время обнаружения отказа, время ожидания ремонта и собственно время устранения отказа.

Значения времени восстановления сложной аппаратуры могут быть распределены по логарифмически нормальному закону, для которого плотность вероятности случайной величины выражается формулой

$$\varphi(t) = \frac{M}{\sigma t_b \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\lg t_b - \lg \bar{t}_b)^2}{2\sigma^2} \right], \quad (120)$$

где σ — среднее квадратическое отклонение случайной величины;
 $M = 0,4343$ — коэффициент перехода от натуральных к десятичным логарифмам;

$\lg \bar{t}_b$ — математическое ожидание логарифма случайной величины.

Обозначив

$$Y_0' = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\lg t_b - \lg \bar{t}_b)^2}{2\sigma^2} \right],$$

получим

$$\varphi(t) = \frac{M}{\sigma t_b} Y_0'.$$

Исходя из этого, была принята гипотеза о возможности распределения времени восстановления флотационных машин ФМУ-50 по логарифмически нормальному закону. Расчет математического ожидания логарифма случайной величины и среднего квадратического отклонения производим по формулам

$$\lg(\bar{t}_b) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \lg t_{bi}}{\sum_{i=1}^n m_i}; \quad (121)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\lg t_{bi} - \lg \bar{t}_b)^2 m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (122)$$

для чего величины времени восстановления, полученные в результате исследований, сгруппированы в виде вариационного ряда, на основании которого рассчитана табл. 55. Подставив значения $\sum_{i=1}^n \lg t_{bi} m_i$ в формулу (121), получим $\lg \bar{t}_b = 0,68$.

Среднее квадратическое отклонение логарифма случайной величины определяем из выражения

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lg t_{bi} - \lg \bar{t}_b)^2 m_i}{N-1}} = 0,21.$$

Таблица 55
Результаты расчета среднего времени восстановления флотационных машин ФМУ-50

Продолжительность восстановления $t_{в.л}$, ч	$\lg t_{в.л}$	m_l	$m_l \lg t_{в.л}$	$\lg t_{в.л} \lg \bar{t}_{в.л}$	$(\lg t_{в.л} - \lg \bar{t}_{в.л})^2$	$(\lg t_{в.л} - \lg \bar{t}_{в.л})^2 m_l$
1,5	0,4761	6	1,057	-0,504	0,8540	1,470
2	0,3010	12	3,612	-0,379	0,1436	1,723
3	0,4771	36	17,1760	-0,203	0,0412	1,483
4	0,6021	56	33,415	-0,078	0,0061	0,336
5	0,6990	45	31,455	0,019	0,0004	0,018
6	0,7782	28	21,690	0,098	0,0096	0,269
7	0,8451	16	13,522	0,165	0,0272	0,435
8	0,9031	10	9,031	0,223	0,0497	0,497
9	0,9542	8	7,634	0,274	0,0751	0,601
10	1,0	5	5,0	0,320	0,1024	0,512
11	1,0414	4	4,1660	0,361	0,1303	0,521
12	1,0792	3	3,238	0,399	0,1592	0,478
13	1,1139	2	2,270	0,434	0,1884	0,377
14	1,1461	2	2,290	0,466	0,2172	0,434
15	1,1761	2	2,3520	0,496	0,2460	0,492
16	1,2041	1	1,204	0,524	0,2746	0,275
17	1,2304	1	1,2304	0,550	0,3025	0,302
18	1,2553	1	1,2553	0,575	0,3306	0,3306
19	1,2788	1	1,2788	0,599	0,3589	0,3589

$$\sum_{l=1}^n m_l = 239; \quad \sum_{l=1}^n m_l \lg t_{в.л} = 162,635; \quad \sum_{l=1}^n (\lg t_{в.л} - \lg \bar{t}_{в.л})^2 m_l = 10,913$$

$$\lg \bar{t}_{в.л} = \frac{\sum_{l=1}^n m_l \lg t_{в.л}}{\sum_{l=1}^n m_l} = \frac{162,635}{239} = 0,68;$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{l=1}^n (\lg t_{в.л} - \lg \bar{t}_{в.л})^2 m_l}{\sum_{l=1}^n m_l} = \frac{10,913}{239} = 0,0457$$

Для построения кривой плотности распределения времени восстановления по формуле (120) находим ее экстремум, определяемый из условия

$$\frac{d\varphi(t_n)}{dt_n} = 0.$$

Дифференцируя функцию $\varphi(t_n)$ по t_n получим:

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi(t_n)}{dt_n} &= -\frac{\sigma \sqrt{2\pi} M}{\sigma^2 t_n^2 2\pi} \exp\left[-\frac{(\lg t_n - \lg \bar{t}_n)^2}{2\sigma^2}\right] - \\ &- \frac{M}{\sigma \sqrt{2\pi}} \frac{1}{t_n} \exp\left[-\frac{(\lg t_n - \lg \bar{t}_n)^2}{2\sigma^2}\right] \frac{M}{t_n} \frac{2(\lg t_n - \lg \bar{t}_n)}{2\sigma^2} = \\ &= -\frac{M}{\sigma \sqrt{2\pi}} \frac{1}{t_n^2} \exp\left[-\frac{(\lg t_n - \lg \bar{t}_n)^2}{2\sigma^2}\right] - \\ &- \frac{M}{\sigma \sqrt{2\pi}} \frac{1}{t_n^2} \exp\left[-\frac{(\lg t_n - \lg \bar{t}_n)^2}{2\sigma^2}\right] \frac{M(\lg t_n - \lg \bar{t}_n)}{\sigma^2}. \end{aligned}$$

После преобразования полученного выражения получим следующее уравнение:

$$\frac{d\varphi(t_n)}{dt_n} = \frac{M}{\sigma \sqrt{2\pi}} \frac{1}{t_n^2} \exp\left[-\frac{(\lg t_n - \lg \bar{t}_n)^2}{2\sigma^2}\right] \left[-1 - \frac{M(\lg t_n - \lg \bar{t}_n)}{\sigma^2}\right].$$

Приравнявая это уравнение нулю, получим

$$1 + \frac{M(\lg t_n - \lg \bar{t}_n)}{\sigma^2} = 0,$$

откуда

$$\lg t_n = \lg \bar{t}_n - \frac{\sigma^2}{M}.$$

При

$$\sigma^2 = 0,0457; \lg \bar{t}_n = 0,680; M = 0,4343$$

$$\lg t_n = 0,575; t_n = 3,77 \approx 3,8 \text{ ч.}$$

Максимум на кривой плотности распределения, соответствующий $t_n = 3,8$ ч, рассчитан по формуле (120) и соответствует $\varphi(t_n) = 0,191$. Кривая плотности распределения времени восстановления флотационных машин ФМУ-50 по логарифмически нормальному закону приведена на рис. 55.

Проверка правомерности принятой гипотезы о распределении времени восстановления флотационных машин ФМУ-50 по логарифмически нормальному закону произведена по критерию согласия χ^2 .

Математическое ожидание времени восстановления при логарифмическом нормальном законе распределения описывается выражением:

$$M[T_n] = \lg t_n + 1,1513\sigma^2. \quad (123)$$

В нашем случае, решая выражение (123), получим

$$M[T_n] = 5,4 \text{ ч.}$$

Доверительные интервалы полученного значения $M [T_b]$ определим по формуле

$$\lg t_{b_l} + 1,1513\sigma^2 + U_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + 2,66\sigma^3} \geq T_b \geq \lg \bar{t}_{b_l} + \\ + 1,1513\sigma^2 - U_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + 2,66\sigma^3}, \quad (124)$$

где U_p — квантиль нормального распределения.

Задавшись доверительной вероятностью α ($\alpha = 0,95$), находим квантиль $U_p = 1,645$. Подставив наши значения в формулу (124), получим $5,7 \geq \geq 5,4 \geq 5,1$.

Вероятность времени восстановления флотационных машин ФМУ-50 можно записать в виде

$$F(t) = \frac{M}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \int_0^t \exp \times \\ \times \left[-\frac{(\lg t_R - \lg \bar{t}_b)^2}{2\sigma^2} \right] dt. \quad (125)$$

На рис. 55 построена кривая вероятности восстановления флотационных машин ФМУ-50.

Коэффициент готовности флотационных машин ФМУ-50 рассчитан по формуле (79) $K_r = 0,988$.

Показатели эксплуатационной надежности флотационных машин ФМ-2,5 определены аналогично флотационным машинам ФМУ-50.

В качестве теоретического распределения наработок на отказ принят нормальный закон.

В табл. 56 приведены основные показатели надежности флотационных машин ФМ-2,5 и определены доверительные интервалы (при $\alpha = 0,9$).

На рис. 56 построена теоретическая кривая плотности распределения $f(t)$ и вероятности безотказной работы $P(t)$.

Уравнение вероятности безотказной работы флотационных машин ФМ-2,5 имеет следующий вид:

$$P(t) = 0,509 [1 + \Phi(2,11 - 0,00387t)]. \quad (126)$$

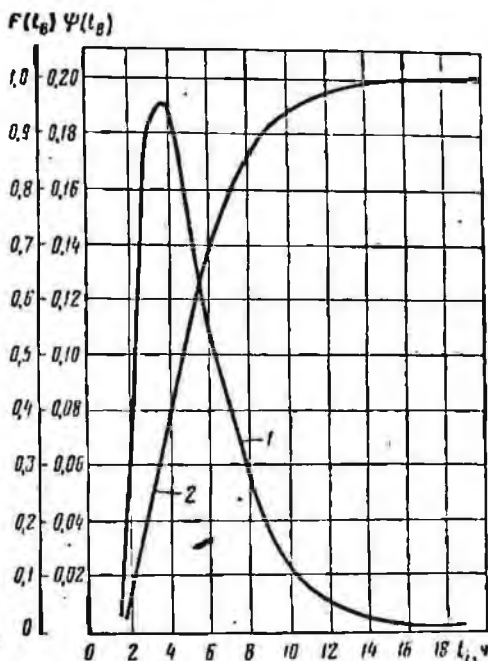


Рис. 55. Плотность распределения (1) и вероятность восстановления (2) флотационных машин ФМУ-50

Основные показатели эксплуатационной надежности
флотационных машин ФМ-2,5

Наработка на отказ t , ч	Доверительные интервалы на отказ, ч		Среднее время восстановления, ч T_v	Доверительные интервалы времени восстановления, ч		Коэффициент готовности K_r
	$\bar{t}_n$	$\bar{t}_в$		$T_{в.н}$	$T_{в.в}$	
547	525	571	7	6,7	7,3	0,987

Закон распределения времени восстановления флотационных машин ФМ-2,5 принят нормально логарифмический (рис. 57), для построения которого рассчитано математическое ожидание логарифма случайной величины $\lg t_v$ и среднее квадратическое отклонение σ .

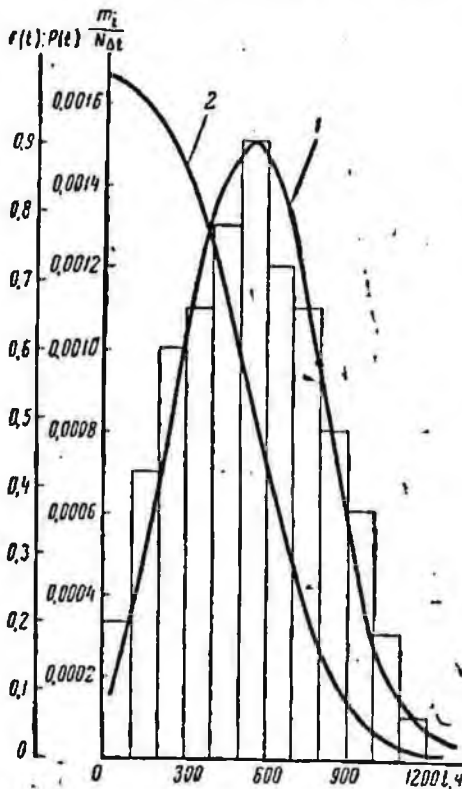


Рис. 56. Плотность распределения (1) и вероятность безотказной работы (2) флотационных машин ФМ-2,5

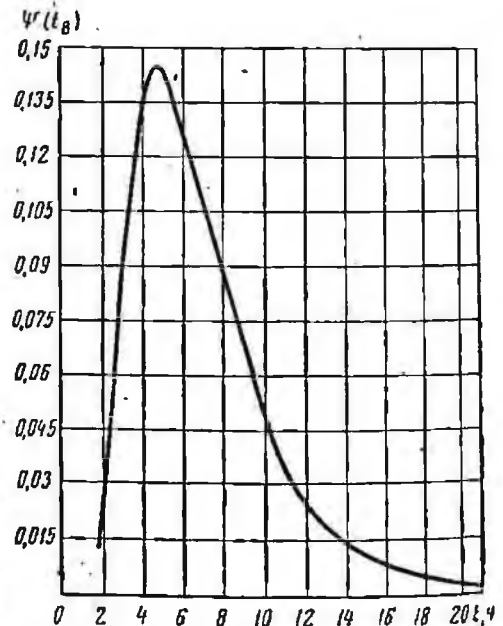


Рис. 57. Кривая распределения случайных величин времени восстановления флотационных машин ФМ-2,5

Расчет показателей надежности дисковых вакуум-фильтров

В ряде исследований показано, что если отказы оборудования происходят не в результате постепенного износа, а вследствие проявления случайных факторов, то распределение нара-

ботки на отказ этого оборудования будет близко к экспоненциальному.

В связи с этим принимаем гипотезу, что наработка на отказ дисковых вакуум-фильтров подчинена экспоненциальному закону распределения.

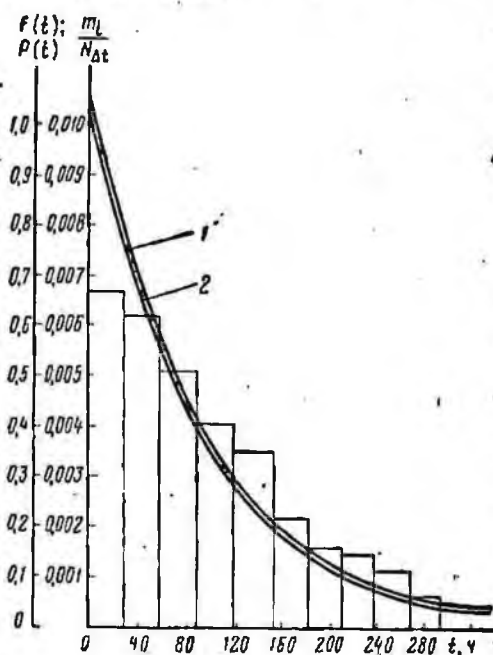


Рис. 58. Плотность распределения (1) и вероятность безотказной работы (2) дисковых вакуум-фильтров

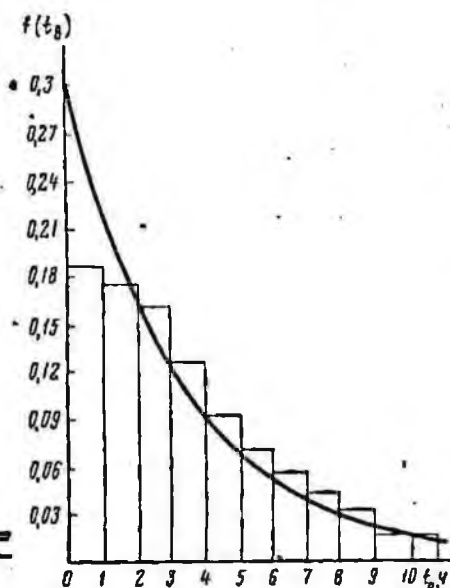


Рис. 59. Кривая распределения случайных величин времени восстановления дисковых вакуум-фильтров

На рис. 58 построена гистограмма среднего времени безотказной работы дисковых вакуум-фильтров, из характера которой можно предположить, что исследуемая случайная величина подчинена экспоненциальному закону распределения.

Плотность вероятности при экспоненциальном законе распределения может быть рассчитана по формуле (16).

Оценка математического ожидания среднего времени безотказной работы, рассчитанная по экспериментальным данным характеризуется $\bar{t} = 95$ ч и $\lambda = 0,0105$ 1/ч. Подставив эти значения в формулу (9), получим

$$f(t) = 0,015 \exp[-0,0105t]. \quad (127)$$

Проверка принятой гипотезы о распределении наработки на отказ вакуум-фильтров по экспоненциальному закону распределения произведена вычислением коэффициента вариации V (который для экспоненциального закона распределения стремится к единице) и критерия согласия χ^2 .

Коэффициент вариации V определяем из выражения

$$V = \frac{\sigma}{\bar{t}}.$$

Для условий нашего примера V равен 0,8.

Проверка принятой гипотезы о распределении наработки на отказ вакуум-фильтров по экспоненциальному закону распределения произведена по критерию согласия χ^2 , при этом $P(\chi^2) = 0,82$, что подтверждает принятую гипотезу.

На рис. 58 построены кривые плотности распределения и вероятности безотказной работы дисковых вакуум-фильтров.

В процессе наблюдений за работой вакуум-фильтров фиксировалось их время восстановления после каждого отказа. На основании этих наблюдений был составлен статистический ряд и построена гистограмма, из характера которой принята гипотеза о распределении времени восстановления вакуум-фильтров по экспоненциальному закону (рис. 59).

Кривая плотности времени восстановления построена по формуле

$$f(t) = \mu e^{-\mu t}, \quad (128)$$

где

$$\mu = \frac{1}{M[t_в]} = \text{const}; \quad M[t_в] = \sum_{i=1}^n t_{вi} \frac{m_i}{N} = 3,36;$$

$$\mu = \frac{1}{3,36} = 0,298 \text{ 1/ч.}$$

Вероятность времени восстановления описывается следующей зависимостью:

$$F(t_в) = 1 - e^{-\mu t}. \quad (129)$$

Коэффициент готовности вакуум-фильтров рассчитан для случая устранения отказа в ремонтную смену ($K = 0,862$) по формуле

$$K_r = \frac{1}{\tau} \frac{1}{\lambda} (1 - e^{-\lambda \tau}), \quad (130)$$

где τ — длительность цикла работы (в нашем случае $\tau = 20$ ч).

Определив среднее значение наработки на отказ и закон ее распределения, рассчитываем доверительные интервалы исследуемой случайной величины

$$M[t_в]_в = r_1 M[t]; \quad M[t]_н = r_2 M[t], \quad (130a)$$

где r_1 и r_2 определяются по числу опытов N в выборке и доверительной вероятности α .

В нашем случае для оценки полученного значения наработки на отказ $M[t]$ при $N = 165$ и заданном $\alpha = 0,9$, получим $r_1 = 0,114$; $r_2 = 0,903$. Используя последнее выражение, получим верхний и нижний пределы для наработки на отказ

$$M[t]_в = 107; \quad M[t]_н = 85.$$

Следовательно, полученное значение наработки на отказ дисковых вакуум-фильтров при доверительной вероятности $\alpha = 0,9$ будет изменяться в пределах $107 \geq 95 \geq 85$.

Аналогичным образом находим доверительные интервалы среднего времени восстановления

$$M[T_{в}]_{0,9} = 3,83; \quad M[T_{в}]_{0,1} = 3,0$$

$$3,83 \geq 3,36 \geq 3,0.$$

Расчет показателей надежности шламовых насосов

В результате наблюдения за работой шламовых насосов в условиях эксплуатации и обработки статистических материалов по их отказам построена гистограмма среднего времени безотказной работы шламовых насосов (рис. 60), из характера которой можно предположить, что исследуемая случайная величина подчинена распределению Вейбулла, функция распределения при которой рассчитываются по формуле (13).

Из формулы (13) следует, что при $m = 1$ распределение Вейбулла совпадает с экспоненциальным распределением.

Математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение определяем по формулам

$$a = b_m t_0^{1/m}; \quad \sigma = C_m t_0^{1/m};$$

$$b_m = \Gamma\left(\frac{1}{m} + 1\right);$$

$$C_m = \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{m}\right) - b_m^2}.$$

где Γ — гамма функция от аргумента n .

Для построения теоретической кривой по формуле (13) находим оценку математического ожидания $\bar{t} = 351$.

и среднее квадратическое отклонение $\sigma = 161$. Определив $\bar{t}$ и σ , рассчитываем параметры распределения Вейбулла. Так как $\frac{\sigma}{\bar{t}}$ зависит только от m и не зависит от t_0 , то

$$\frac{\sigma}{\bar{t}} = \frac{C_m}{b_m} = V.$$

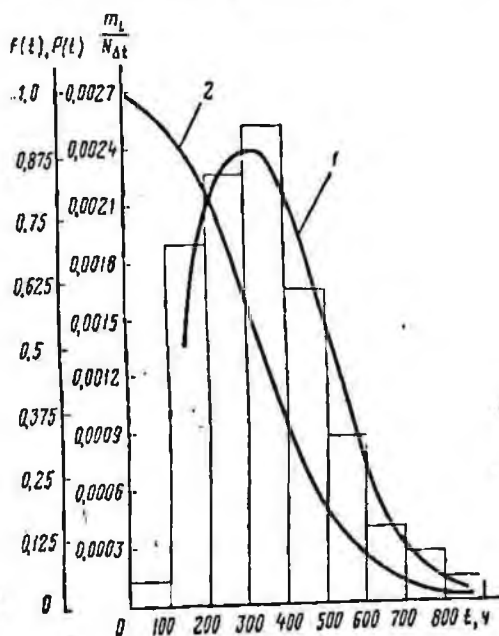


Рис. 60. Плотность распределения (1) и вероятность безотказной работы (2) шламовых насосов типа ШН-240

В нашем случае значению $V = \sigma/\bar{t} = 0,46$ отвечают $m = 2,3$ и $b_m = 0,886$, после чего из равенства

$$t_0 = \left(\frac{\bar{t}}{b_m} \right)^m$$

определяем $t_0 = 943\ 406$.

Значения плотности распределения $f(t)$ приведены в табл. 57.

Таблица 57

Результаты расчета плотности распределения шламовых насосов

Время работы t_i	t_i^{m-1}	$\frac{m}{t_0} t_i^{m-1}$	$\frac{t_i^m}{t_0}$	$\exp \left(-\frac{t_i}{t_0} \right)^m$	$f(t_i)$
150	674,40	0,001686	0,107	0,899	0,00151
250	1310,15	0,003275	0,347	0,707	0,00231
350	2029,03	0,005073	0,752	0,471	0,00239
450	2813,04	0,007033	1,341	0,262	0,00184
550	3651,50	0,009129	2,128	0,119	0,00108
650	4537,19	0,011343	3,128	0,044	0,00049
750	5464,87	0,013662	4,344	0,013	0,00018
850	6430,50	0,016076	5,793	0,003	0,00005

Проверка гипотезы о распределении наработки на отказ шламовых насосов по закону Вейбулла дала положительные результаты.

Вероятность безотказной работы насосов при распределении наработки на отказ по закону Вейбулла рассчитывается по формуле

$$P(t) = \exp \left(-\frac{t^{2,3}}{943\ 406} \right). \quad (131)$$

Кривые плотности распределения и вероятности безотказной работы шламовых насосов ШН-240 построены на рис. 60.

Принимая, что среднее время восстановления насосов ШН-240 распределено по экспоненциальному закону, получаем $T_{в.н} = 3,1$ ч; $\mu = 0,325$ 1/ч. Кривые плотности и вероятности времени восстановления построены на рис. 61 [по формуле (128) и (129)].

Доверительные интервалы среднего времени восстановления насосов ШН-240 определены по формуле (130 а) $T_{в.н} = 3,5$; $T_{в.н} = 2,8$; $3,5 \geq 3,1 \geq 2,8$.

Коэффициент готовности шламовых насосов для перекачки флльтрата $K_r = 0,99$.

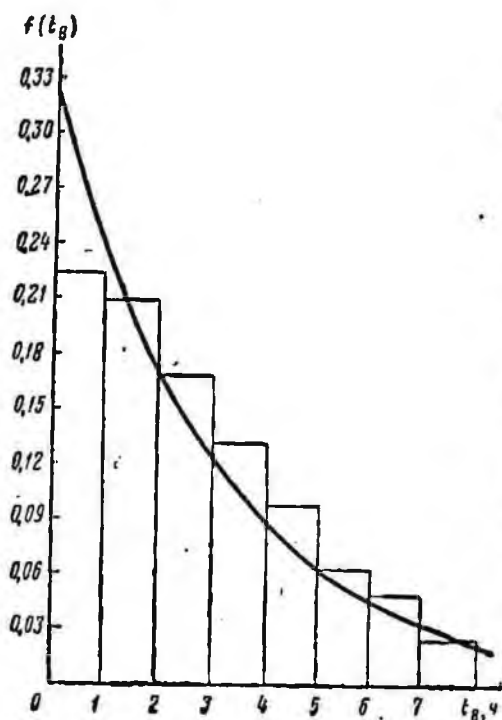


Рис. 61. Кривая распределения случайных величин времени восстановления шламовых насосов типа ШН-240

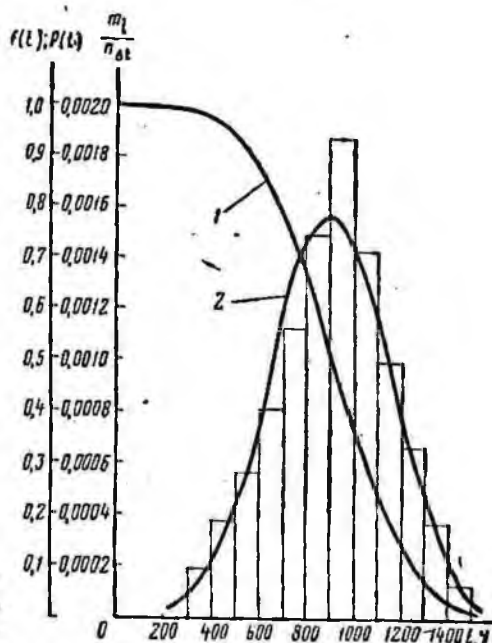


Рис. 62. Вероятность безотказной работы (1) и плотность распределения (2) вакуум-насосов типа KBH-50

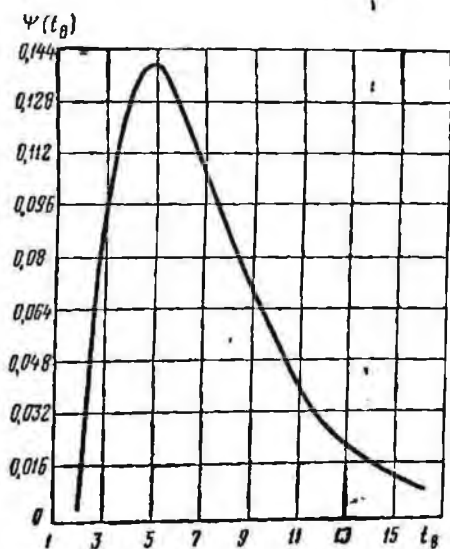


Рис. 63. Кривая распределения случайных величин времени восстановления вакуум-насосов типа KBH-50

Расчет показателей надежности вакуум-насосов КВН-50

Полученные данные по отказам насосов обработаны при помощи аппарата математической статистики. В результате чего построена гистограмма, на основании которой сделано предположение о распределении наработки на отказ насосов по нормальному закону. Найдены параметры этого закона $\bar{t} = 908$ ч; $\sigma = 254$.

На рис. 62 построены кривые плотности распределения наработки на отказ и вероятности безотказной работы вакуум-насосов КВН-50 по следующей зависимости:

$$P(t) = 0,5 [1 + \Phi(3,57 - 0,0039t)]. \quad (132)$$

Среднее время восстановления вакуум-насосов распределено по нормальному логарифмическому закону (рис. 63). Максимум на кривой плотности распределения, соответствующий $t_n = 4,8$, рассчитан по формуле (120) и составляет $\psi(t) = 0,14$.

Математическое ожидание времени восстановления вакуум-насосов рассчитано по формуле (123) и составляет $M[T_n] = 6,4$ ч. Доверительные интервалы для $M[T_n]$ определены из выражения (124) $M[T_n]_H = 5,9$; $M[T_n]_B = 6,9$. $6,9 \geq 6,4 \geq 5,9$.

§ 3. Определение объема испытаний

При планировании испытаний с целью определения показателей эксплуатационной надежности одним из основных вопросов является определение объема испытаний.

Расчет объема испытаний возможен только в том случае, если известен закон распределения вероятностей случайного времени безотказной работы и требования к точности определения параметров этих законов.

На основании проведенных исследований были рассчитаны показатели эксплуатационной надежности оборудования флото-фильтровального отделения ($\bar{t}$ — наработка на отказ, σ — среднее квадратическое отклонение и законы их распределения). Задача состоит в том, чтобы определить достоверность полученных сведений и найти наименьшее число реализаций (определенного типа), подлежащее наблюдению, обеспечивающее определение $\bar{t}$ с абсолютной погрешностью не более ε при доверительной вероятности α .

Для получения достоверных сведений о количественных показателях эксплуатационной надежности оборудования флото-фильтровальных отделений необходимо уточнить полученное число реализаций. Факторами, которые оказывают влияние на выбор числа реализаций, является средняя наработка на отказ $\bar{t}$; среднее квадратическое отклонение σ ; коэффициент вариации V ;

общее количество объектов (данного типа), эксплуатируемого на углеобогащительных фабриках Мпнуглепрома УССР, n ; точность эксперимента ε ; доверительная вероятность α ; закон распределения исследуемой величины.

Число реализаций в случае нормального закона распределения определяем по формуле

$$N^* = \frac{t_{\alpha}^2 V}{\varepsilon^2}, \quad (133)$$

где t_{α} — нормированное отклонение, зависящее от доверительной вероятности;

V — коэффициент вариации;

ε — относительная точность.

В случае распределения параболы на отказ $\bar{t}$ по экспоненциальному закону распределения для расчета объема реализаций используем выражение связи экспоненциального распределения с распределением ХИ-квадрат

$$\varepsilon + 1 = \frac{2n}{\chi_{2n}^2 (1-\alpha)}, \quad (134)$$

где $\chi_{2n}^2 (1-\alpha)$ — квантиль распределения ХИ-квадрат с $2n$ степенями свободы и доверительной вероятности $(1-\alpha)$;

α — доверительная вероятность.

Задавшись доверительной вероятностью α и относительной точностью ε по табл. [58], входящим в которую служат $\varepsilon + 1$ и α , находим необходимое число реализаций N^* .

При распределении параболы на отказ по закону Вейбулла число реализаций находим с помощью выражения связи параметров этого распределения с распределением ХИ-квадрат

$$(\varepsilon_a + 1)^m = \frac{2n}{\chi_{2n}^2 (1-\alpha)}, \quad (135)$$

где ε_a — относительная точность;

m — параметр распределения Вейбулла (в нашем случае $m = 1,65$).

Задавшись относительной точностью ε_a , возводим выражение $(\varepsilon_a + 1)$ в степень m . Полученный результат используем в качестве входной величины таблицы значений [59]

$$\frac{2n}{\chi_{2n}^2 (1-\alpha)}$$

для определения минимально необходимого числа реализаций N .

Результаты расчета минимально необходимого числа реализаций, в зависимости от закона распределения параболы на отказ, принятой доверительной вероятности α , относительной точности

Результаты расчета минимально необходимого числа реализаций при определении показателей эксплуатационной надежности оборудования флотов-фильтральных отделений

Оборудование	Закон распределения вероятности на отказ	Среднее квадратическое отклонение σ	Наработка на отказ t	Коэффициент вариации V	Доверительная вероятность α	Относительная точность ε	Общее количество эксплуатируемого оборудования данного типа n	Предварительно полученное количество реализаций N	Минимально допустимое количество реализаций N'
Флотационные машины:	Нормальный								
ФМУ-50		201	462	0,437	0,9	0,1	63	239	52
ФМ-2,5		256	547	0,480	0,9	0,1	52	314	62
Вакуум-фильтры	Экспоненциальный	73	95	0,77	0,9	0,1	160	330	300
Вакуум-насос КВН-50	Нормальный	254	908	0,28	0,9	0,1	115	160	21
Шламовые насосы ШН-240 (для перекачки фильтра и переливов вакуум-фильтров)	Вейбулла	193	310	0,62	0,9	0,1	100	158	125

е, общего количества оборудования данного типа n , эксплуатируемого на углеобогащительных фабриках Минуглепрома СССР, имеющих флото-фильтровальные отделения, приведены в табл. 58.

Расчет минимально допустимого количества реализаций для флотационных машин и вакуум-насосов определяем по формуле (133), вакуум-фильтров по формуле (134) и шламовых насосов по формуле (135).

Из результатов табл. 58 видно, что предварительно полученное число реализаций N во всех случаях больше минимально допустимого числа реализаций N' . Это свидетельствует о том, что наша выборка взята из генеральной совокупности и полученные результаты исследуемой величины (наработка на отказ) являются достоверными и могут представлять всю генеральную совокупность.

§ 4. Связь между надежностью отдельного узла и оборудования в целом

Современные обогащительные фабрики состоят из большого количества сложного оборудования. Для установления зависимости между надежностью отдельных узлов оборудования и оборудования в целом необходимо знать связи между узлами, составляющими оборудование, т. е. должны быть известны структурные схемы систем в целом.

На основании этих схем могут быть построены математические модели систем, по которым производятся расчеты надежности.

К числу простейших схем в теории надежности можно отнести последовательные и параллельные. В качестве примера оборудования, работающего по первой схеме, можно назвать работу отсадочной машины. При отказе одного из роторных устройств необходимо останавливать отсадочную машину.

Примером оборудования, работающего по второй схеме, может служить работа флотационной машины. В случае отказа одного из блок-аэраторов работа машины осуществляется оставшимися в действии аэраторами при соответствующем снижении производительности.

Применительно к оборудованию, состоящему из n последовательно соединенных узлов, выражение вероятности безотказной работы будет иметь вид

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t). \quad (136)$$

В случае параллельного соединения

$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i(t)]. \quad (137)$$

Выражения (136) и (137) определяют вероятность безотказной работы оборудования в виде одного укрупненного узла, состоящего

соответственно из n последовательно или параллельно соединенных агрегатов. Если оборудование состоит из n одинаковых узлов, соединенных последовательно, то выражения для плотности вероятности отказов и вероятности безотказной работы имеют вид:

$$f_n(t) = n f(t) P^{n-1}(t), \quad (138)$$

где $f(t)$ — плотность вероятности отказов узла;

$P(t)$ — вероятность безотказной работы узла

$$P_n(t) = 1 - n \int_0^t f(t) P^{n-1}(t) dt. \quad (139)$$

Для современного оборудования характерны отказы узлов, обусловленные как износом и старением, так и факторами, вызывающими внезапные поломки. В этом случае функции плотности вероятности отказов представляют собой совмещение законов распределения нормального и экспоненциального.

Для определения вида функций плотности вероятности отказов оборудования каждый его узел рассматривается как состоящий из двух условных узлов [60]. Допускается, что отказы одного из них обусловлены только износом и старением, а другого — только внезапными поломками. Оба узла считаются соединенными последовательно. В данном случае оборудование, состоящее из n узлов, представляется в виде $2n$ последовательно соединенных узлов, объединенных в две группы.

Выражение для функции плотности вероятности отказов и вероятности безотказной работы узла первой группы имеет вид:

$$f_1(t) = \frac{2}{\sigma \sqrt{2\pi}} \frac{1}{\left[1 + \Phi\left(\frac{\bar{t}}{\sigma}\right)\right]} \exp\left[-\frac{(t-\bar{t})^2}{2\sigma^2}\right]; \quad (140)$$

$$P_1(t) = \frac{1 + \Phi\left(\frac{\bar{t}-t}{\sigma}\right)}{1 + \Phi\left(\frac{\bar{t}}{\sigma}\right)}, \quad (141)$$

а для узлов второй группы

$$f_2(t) = \lambda \exp[-\lambda t]; \quad (142)$$

$$P_2(t) = \exp[-\lambda t]. \quad (143)$$

При рассмотрении оборудования как системы, состоящей из двух последовательно соединенных узлов, выражение вероятности ее отказа может быть записано в виде

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - [1 - g_1(t)][1 - \Phi_2(t)]. \quad (144)$$

или

$$Q(t) = g_1(t) + g_2(t) - g_1(t)g_2(t). \quad (145)$$

Из формул (140)–(143) получим выражение плотности вероятности отказов узла, выходы из строя которого обусловлены как износом, так и внезапными отказами

$$f(t) = \frac{2}{\sigma \sqrt{2\pi}} \frac{1}{1 + \Phi\left(\frac{\bar{t}}{\sigma}\right)} \exp\left[-\frac{(t-\bar{t})^2}{2\sigma^2} - \lambda t\right] + \lambda \exp[1 - \lambda t] \frac{1 + \Phi\left(\frac{\bar{t}-t}{\sigma}\right)}{1 + \Phi\left(\frac{\bar{t}}{\sigma}\right)}, \quad (146)$$

где $\bar{t}$ и σ — параметры нормального распределения;

λ — параметр экспоненциального распределения;

$\Phi(t)$ — функция Лапласа.

Выражение для функции плотности вероятности отказов оборудования, состоящего из n последовательно соединенных узлов, которым свойственны отказы в результате износа и внезапных поломок, может быть рассчитано, исходя из того, что при достаточно большом числе узлов, для которых функция плотности вероятности отказов описывается нормальным законом, распределение отказов для оборудования в целом будет также нормальным [60]. Параметры этого распределения будут близки к параметрам самого надежного узла

$$f(t) = \frac{2}{\sigma \sqrt{2\pi}} \frac{1}{1 + \Phi\left(\frac{\bar{t}}{\sigma}\right)} \exp\left[-\frac{(t-\bar{t})^2}{2\sigma^2}\right], \quad (147)$$

где $\bar{t}$ и σ относятся к самому надежному узлу.

Функция плотности вероятности отказов оборудования по причине внезапных отказов, состоящего из n последовательно соединенных узлов, имеет вид:

$$f(t) = \lambda_c e^{-\lambda_c t}. \quad (148)$$

Таким образом, в соответствии с формулой (147) выражение плотности вероятности отказов оборудования, у которого узлы выходят из строя по причине износа и в результате внезапных поломок и повреждений, имеет вид:

$$f_c(t) = \frac{2}{\sigma \sqrt{2\pi}} \frac{1}{1 + \Phi\left(\frac{\bar{t}}{\sigma}\right)} \exp\left[-\frac{(t-\bar{t})^2}{2\sigma^2} - \lambda_c t\right] + \lambda_c \exp[-\lambda_c t] \frac{1 + \Phi\left(\frac{\bar{t}-t}{\sigma}\right)}{1 + \Phi\left(\frac{\bar{t}}{\sigma}\right)}. \quad (149)$$

Параметры данного распределения определяются из следующих соотношений:

$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ — величина интенсивности отказов оборудования под влиянием внезапных факторов;

$\bar{t}$ и σ — параметры составляющего нормального распределения тех узлов оборудования, отказ которых обусловлен износом и старением.

Для систем, где все узлы соединены последовательно, эти параметры могут быть взяты из функции плотности вероятности отказов самого надежного узла.

Вероятность безотказной работы для рассмотренного выше случая может быть определена по формуле

$$P_c(t) = e^{-\lambda_c t} \frac{1 + \Phi\left(\frac{\bar{t}-t}{\sigma_c}\right)}{1 + \Phi\left(\frac{\bar{t}}{\sigma_c}\right)}. \quad (150)$$

Наработка на отказ является важным показателем, характеризующим надежность оборудования. Этот показатель совместно со средним квадратическим отклонением характеризует надежность оборудования в период эксплуатации. Чем больше наработка на отказ и чем меньше среднее квадратическое отклонение, тем надежнее будет работать оборудование. Для рассматриваемого оборудования, состоящего из последовательно соединенных узлов, отказы которых обусловлены как износом, так и внезапными поломками, выражение наработки на отказ имеет следующий вид [60]:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_c} \left(1 - e^{-\frac{\alpha^2}{2}}\right) \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Phi \frac{T_c}{\sigma}\right],$$

где

$$\alpha^2 = 2\bar{t}\lambda_c - \lambda_c^2 \sigma^2; \quad T_c = \bar{t} - \lambda_c \sigma^2. \quad (151)$$

При известных функциях плотности вероятности отказов узлов, обусловленных износом и внезапными поломками, на основании формулы (151) может быть рассчитана наработка на отказ оборудования, состоящей из произвольного количества последовательно соединенных узлов. При этом следует иметь в виду, что параметры надежности такого оборудования всегда будут ниже, чем у самого надежного узла. При рассмотрении надежности оборудования, состоящего из параллельно соединенных узлов, следует сформулировать понятие отказа такого оборудования. Такое оборудование можно считать работоспособным в случае, если исправен по крайней мере один узел.

Для оборудования, состоящего из n параллельно соединенных узлов, выражение для вероятности выхода из строя может быть рассчитано по формуле

$$Q_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i(t)] = \prod_{i=1}^n [1 - P_i(t)]. \quad (152)$$

В случае, если оборудование состоит из n одинаковых узлов, соединенных параллельно, выражение функции плотности вероятности отказов и вероятности безотказной работы оборудования будет иметь вид

$$fn(t) = nf(t) [1 - P(t)]^{n-1}; \quad (153)$$

$$P_n(t) = 1 - n \int_0^t f(t) [1 - P(t)] [1 - P(t)]^{n-1} dt. \quad (154)$$

Определение плотности вероятности отказов для оборудования, у которого узлы отказывают как по причине износа, так и в результате внезапных поломок, может быть произведено таким же путем, как это было показано для оборудования, состоящего из n последовательно соединенных узлов.

§ 5. Расчет среднего времени безотказной работы системы оборудования

С целью оценки влияния надежности отдельных типов оборудования, входящего в состав отделения, на надежность всего отделения как системы, необходимо определить наработку на отказ $T_{\text{ср.от}}$ и вероятность безотказной работы $P(t)_{\text{от}}$ системы оборудования флото-фильтровального отделения.

Определим $T_{\text{ср.от}}$ и $P(t)_{\text{от}}$ отделения (см. рис. 53), состоящего из 8 флотационных машин ФМ-2,5, 7 вакуум-фильтров, 6 вакуум-насосов КВН-50 и двух шламовых насосов ШН-240 для перекачки фильтрата. В качестве начальных условий принимаем следующие: отделение находится в стадии отказа, если отказало более одной флотационной машины, одного вакуум-фильтра, двух вакуум-насосов и одного шламового насоса.

Интенсивность отказов агрегатов i -го типа для нерезервированной системы λ_0 определяем по формуле

$$\lambda_0 = \lambda_i K_i, \quad (155)$$

где λ_0 — интенсивность отказов нерезервированной системы агрегатов i -го типа (7 флотационных машин, 6 вакуум-фильтров, 4 вакуум-насоса и 1 шламовый насос);

λ_i — интенсивность отказов агрегатов i -го типа (см. табл. 58);

K_i — количество агрегатов i -го типа (без учета резерва).

Среднее время безотказной работы агрегатов i -го типа (без учета резерва) рассчитываем из выражения

$$T_{\text{ср.ат}} = \frac{1}{\lambda_0}. \quad (156)$$

Среднее время безотказной работы всего отделения определяем по формуле

$$T_{\text{ср. от}} = \int_0^{\infty} P(t)_{\text{от}} dt; \quad (157)$$

$$P(t)_{\text{от}} = PP(t)_{\text{I общ}} = P(t)_{\text{I общ}} P(t)_{\text{II общ}} P(t)_{\text{III общ}} P(t)_{\text{IV общ}},$$

где $P(t)_{\text{от}}$ — вероятность безотказной работы всего флото-фильтровального отделения;

$P(t)_{\text{I общ}}$ — вероятность безотказной работы флотационных машин ФМ-2,5 (при $n = 8$; $m = 7$);

$P(t)_{\text{II общ}}$ — вероятность безотказной работы вакуум-фильтров (при $n = 7$; $m = 6$);

$P(t)_{\text{III общ}}$ — вероятность безотказной работы вакуум-насосов (при $n = 6$; $m = 4$);

$P(t)_{\text{IV общ}}$ — вероятность безотказной работы шламовых насосов типа ШН (при $n = 2$; $m = 1$).

Для случая горячего резервирования $P(t)_{\text{I общ}}$ и $P(t)_{\text{II общ}}$ определяем по формуле

$$P(t)_{\text{общ}} = \sum_m^n C_n^m P(t)^m [1 - P(t)]^{n-m}, \quad (158)$$

где n — количество единиц установленного оборудования;

m — количество единиц оборудования, которое должно работать, не вызывая отказа

$$\begin{aligned} P(t)_{\text{I общ}} &= C_8^7 P(t)_I^7 [1 - P(t)_I] + P(t)_I^8 = 8P(t)_I^7 [1 - P(t)_I] + P(t)_I^8 = \\ &= 8e^{-7\lambda_1 t} - 8e^{-8\lambda_1 t} + e^{-8\lambda_1 t} = 8e^{-7\lambda_1 t} - 7e^{-8\lambda_1 t}. \end{aligned} \quad (159)$$

$$\begin{aligned} P(t)_{\text{II общ}} &= C_7^6 P(t)_{II}^6 [1 - P(t)_{II}] + P(t)_{II}^7 = 7P(t)_{II}^6 [1 - P(t)_{II}] + \\ &+ P(t)_{II}^7 = 7e^{-6\lambda_2 t} - 7e^{-7\lambda_2 t} + e^{-7\lambda_2 t} = 7e^{-6\lambda_2 t} - 6e^{-7\lambda_2 t}, \end{aligned} \quad (160)$$

где λ_1 — интенсивность отказов флотационных машин ФМ-2,5;

λ_2 — интенсивность отказов вакуум-фильтров.

Для случая холодного резервирования замещением $P(t)_{\text{III общ}}$ и $P(t)_{\text{IV общ}}$ определяем из выражения

$$P(t)_{i \text{ общ}}^k = e^{-\lambda_i t} \left[1 + \lambda_i t + \dots + \frac{(\lambda_i t)^k}{K!} \right], \quad (161)$$

$P(t)_{i \text{ общ}}$ — вероятность безотказной работы агрегатов i -го типа с K резервными агрегатами;

λ_i — суммарная интенсивность отказов агрегатов i -го типа.

$$\begin{aligned} P(t)_{\text{III общ}} &= e^{-4\lambda_3 t} \left[1 + 4\lambda_3 t + \frac{(4\lambda_3 t)^2}{2!} \right] = e^{-4\lambda_3 t} + 4\lambda_3 t e^{-4\lambda_3 t} + \\ &+ \frac{(4\lambda_3 t)^2 e^{-4\lambda_3 t}}{2} = e^{-4\lambda_3 t} + 4\lambda_3 t e^{-4\lambda_3 t} + 8\lambda_3^2 t^2 e^{-4\lambda_3 t}; \end{aligned} \quad (162)$$

$$P(t)_{\text{IV общ}} = e^{-\lambda_4 t} (1 + \lambda_4 t) = e^{-\lambda_4 t} + \lambda_4 t e^{-\lambda_4 t}. \quad (163)$$

Среднее время безотказной работы системы флотационных машин с учетом резерва ($T_{\text{ср. I обш}}$), вакуум-фильтров ($T_{\text{ср. II обш}}$), вакуум-насосов ($T_{\text{ср. III обш}}$) и шламовых насосов ШН ($T_{\text{ср. IV обш}}$)

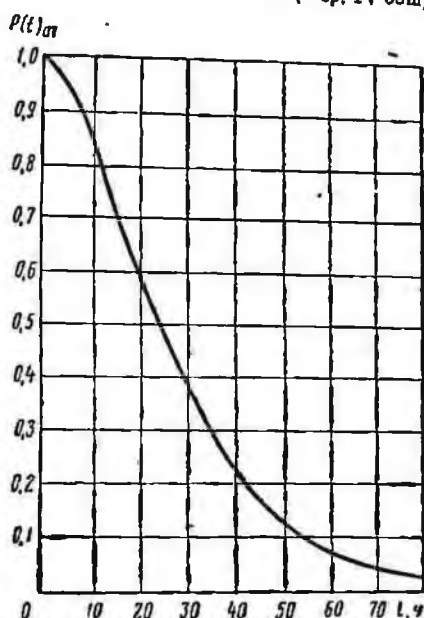


Рис. 64. Вероятность безотказной работы флото-фильтровального отделения ЦОФ «Дуванская»

рассчитываем интегрированием выражений (159), (160), (161) и (163).

$$T_{\text{ср. I обш}} = \int_0^{\infty} P(t)_{\text{I обш}} dt = \int_0^{\infty} 8e^{-7\lambda_1 t} dt - \int_0^{\infty} 8e^{-8\lambda_1 t} dt + \int_0^{\infty} e^{-8\lambda_1 t} dt = \frac{8}{7\lambda_1} - \frac{8}{8\lambda_1} + \frac{1}{8\lambda_1} = \frac{15}{56\lambda_1}; \quad (164)$$

$$T_{\text{ср. II обш}} = \int_0^{\infty} P(t)_{\text{II обш}} dt = \int_0^{\infty} 7e^{-6\lambda_2 t} dt - \int_0^{\infty} 7e^{-7\lambda_2 t} dt + \int_0^{\infty} e^{-7\lambda_2 t} dt = \frac{7}{6\lambda_2} - \frac{7}{7\lambda_2} + \frac{1}{7\lambda_2} = \frac{13}{42\lambda_2}; \quad (165)$$

$$T_{\text{ср. III обш}} = \int_0^{\infty} P(t)_{\text{III обш}} dt = \int_0^{\infty} e^{-4\lambda_3 t} dt + 4\lambda_3 \int_0^{\infty} t e^{-4\lambda_3 t} dt + 8\lambda_3^2 \int_0^{\infty} t^2 e^{-4\lambda_3 t} dt = 4\lambda_3 \frac{1}{(4\lambda_3)^2} + 8\lambda_3^2 \frac{2}{(4\lambda_3)^3} = \frac{3}{4\lambda_3}; \quad (166)$$

$$T_{\text{ср. IV обш}} = \int_0^{\infty} P(t)_{\text{IV обш}} dt = \int_0^{\infty} t e^{-4\lambda_4 t} dt = \frac{1}{\lambda_4} + \lambda_4 \frac{1}{(\lambda_4)^2} = \frac{2}{\lambda_4}. \quad (167)$$

Вероятность безотказной работы всего флото-фильтровального отделения как системы для заданных условий будет иметь следующий вид:

$$P(t)_{от} = (8e^{-7\lambda_1 t} - 7e^{-8\lambda_1 t}) (7e^{-6\lambda_2 t} - 6e^{-7\lambda_2 t}) \times \\ \times (e^{-4\lambda_3 t} + 4\lambda_3 t e^{-4\lambda_3 t} + 8\lambda_3^2 t^2 e^{-4\lambda_3 t}) \lambda_4 t e^{-\lambda_4 t}. \quad (168)$$

На рис. 64 по формуле (168) построена кривая вероятности безотказной работы флото-фильтровального отделения.

Среднее время безотказной работы оборудования флото-фильтровального отделения

$$T_{ср. от} = \int_0^{\infty} P(t) dt = (8e^{7\lambda_1 t} - 7e^{-8\lambda_1 t}) (7e^{-6\lambda_2 t} - 6e^{-7\lambda_2 t}) \times \\ \times (e^{-4\lambda_3 t} + 4\lambda_3 t e^{-4\lambda_3 t} + 8\lambda_3^2 t^2 e^{-4\lambda_3 t}) (e^{-\lambda_4 t} + \lambda_4 t e^{-\lambda_4 t}).$$

Перемножив выражения первой и второй скобок и отдельно выражения третьей и четвертой скобок и сгруппировав их относительно t , получим

$$P(t) = [A_1 e^{-(7\lambda_1 + 6\lambda_2)t} + A_2 e^{-(8\lambda_1 + 6\lambda_2)t} + A_3 e^{-(7\lambda_1 + 7\lambda_2)t} + \\ + A_4 e^{-(8\lambda_1 + 7\lambda_2)t}] [B_0 + B_1 t + B_2 t^2 + B_3 t^3] e^{-(4\lambda_3 + \lambda_4)t}, \quad (169)$$

где $\lambda_1 = 0,00183$; $A_1 = 56$; $B_0 = 1$;

$\lambda_2 = 0,0105$; $A_2 = -49$; $B_1 = \lambda_4 + 4\lambda_3 = 7,25 \cdot 10^{-3}$;

$\lambda_3 = 0,0011$; $A_3 = -48$; $B_2 = 4\lambda_3 \lambda_4 + 8\lambda_3^2 = 2,222 \cdot 10^{-5}$;

$\lambda_4 = 0,00285$; $A_4 = 42$; $B_3 = 8\lambda_3^2 + \lambda_4 = 2,7588 \cdot 10^{-8}$.

Перемножив $e^{-(4\lambda_3 + \lambda_4)t}$ на выражение в первой скобке, получим

$$P(t) = [(A_1 e^{-k_1 t} + A_2 e^{-k_2 t} + A_3 e^{-k_3 t} + A_4 e^{-k_4 t}) \times \\ \times (B_0 + B_1 t + B_2 t^2 + B_3 t^3)], \quad (170)$$

где $k_1 = 7\lambda_1 + 6\lambda_2 + 4\lambda_3 + \lambda_4 = 8,306 \cdot 10^{-2}$;

$k_2 = 8\lambda_1 + 6\lambda_2 + 4\lambda_3 + \lambda_4 = 8,489 \cdot 10^{-2}$;

$k_3 = 7\lambda_1 + 7\lambda_2 + 4\lambda_3 + \lambda_4 = 9,356 \cdot 10^{-2}$;

$k_4 = 8\lambda_1 + 7\lambda_2 + 4\lambda_3 + \lambda_4 = 9,539 \cdot 10^{-2}$.

Зная, что

$$\int_0^{\infty} e^{-k_i t} (B_0 + B_1 t + B_2 t^2 + B_3 t^3) dt = \frac{1}{k_i} \times \left(B_0 + \frac{B_1}{k_i} + \frac{2B_2}{k_i^2} + \frac{6B_3}{k_i^3} \right) = \\ = C(k_i B_0 B_1 B_2 B_3) = C_i, \quad (171)$$

из выражений, (170) и (171) получим

$$\int_0^{\infty} P(t) dt = \sum_{i=1}^4 A_i C_i$$

где $C_1 = 13,168$; $C_2 = 12,682$; $C_3 = 11,575$; $C_4 = 11,350$. Следовательно, $T_{\text{ср.от}} = \sum_{i=1}^4 A_i C_i = 27,4 \text{ ч.}$

В табл. 59 приведены результаты расчетов среднего времени безотказной работы $T_{\text{ср.ат}}$ и $T_{\text{ср.т}}$, произведенных по формулам (156), (164), (165), (166) и (167), системы флотационных машин, вакуум-фильтров, вакуум-насосов и шламовых насосов для перекачки фильтрата и вероятности безотказной работы (резервированной системы агрегатов i -го типа при $t = 20 \text{ ч.}$)

Таблица 59

Результаты расчета среднего времени безотказной работы и вероятности безотказной работы оборудования флото-фильтровального отделения

Оборудование	Количество агрегатов i -го типа	Количество резервных агрегатов i -го типа	Интенсивность отказов нерезервированной системы агрегатов i -го типа, λ_i	Среднее время безотказной работы агрегатов i -го типа, ч		Вероятность безотказной работы резервированной системы агрегатов i -го типа при $t = 20 \text{ ч.}$, $P(20)_{\text{от}}$
				без учета резерва $T_{\text{ср.ат}}$	с резервом $T_{\text{ср.т}}$	
Флотационная машина ФМ-2,5	8	1	0,01281	78	146,3	0,971
Вакуум-фильтр	7	1	0,063	16	29,5	0,606
Вакуум-насос	6	2	0,0044	227	682	0,998
КВН-50	6	2	0,0044	227	682	0,998
Шламовый насос	2	1	0,00285	351	702	0,999

По формуле (168) определена вероятность безотказной работы всего отделения как системы $P(20) = 0,587$, а среднее время безотказной работы отделения $T_{\text{ср.от}} = 27,4 \text{ ч.}$

Анализ данных, приведенных в табл. 59, показывает, что низкое значение среднего времени безотказной работы отделения ($T_{\text{ср.от}} = 27,4 \text{ ч.}$) обусловлено в основном низким значением среднего времени безотказной работы системы дисковых вакуум-фильтров ($T_{\text{ср.т.общ}} = 29,5 \text{ ч.}$), вероятность безотказной работы всего отделения после 20 ч работы $[P(20)_{\text{от}} = 0,587]$ также в основном зависит от низкого значения вероятности безотказной работы системы дисковых вакуум-фильтров $P(20) = 0,606$.

Таким образом, самым ненадежным элементом флото-фильтровального отделения являются дисковые вакуум-фильтры.

С этой целью необходимо произвести исследования надежности основных узлов дисковых вакуум-фильтров.

Глава IX

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ

Наиболее рациональным способом улучшения всех основных параметров надежности системы оборудования при использовании недостаточно надежных элементов и узлов этой системы является сочетание принципов повышения надежности, восстановления и резервирования наименее надежных элементов системы. Проведенные исследования показывают, например, что из оборудования флото-фильтровальных отделений углеобогаательных фабрик наименее надежными являются дисковые вакуум-фильтры.

Рассмотрим методику повышения надежности оборудования на примере дисковых вакуум-фильтров.

§ 1. Надежность основных узлов дисковых вакуум-фильтров

На эффективность работы вакуум-фильтра оказывают влияние много различных факторов, основным из которых при всех прочих равных условиях можно считать создание оптимального значения величины вакуума (на ряде обоганительных фабрик величину вакуума стараются поддерживать в пределах 400—550 мм рт. ст.). Однако, для того чтобы поддерживать (при фильтровании) заданное значение величины вакуума на протяжении всего периода работы, необходимо стремиться к тому, чтобы фильтровальная ткань не имела порывов, которые оказывают отрицательное влияние на качественно-количественные показатели работы вакуум-фильтра. Порывы фильтровальной ткани приводят к тому, что через образовавшиеся отверстия с фильтратом уходят частицы угля, увеличивая этим самым как содержание твердого в нем, так и его количество. При выходе сектора из зоны фильтрации в зону просушки через эти отверстия устремляются потоки воздуха, что в значительной степени влияет на уменьшение величины вакуума при фильтрации и давления при отдувке.

На углеобогаительных фабриках Минуглепрома СССР для обезвоживания флотоконцентрата используют дисковые вакуум-фильтры. Вакуум-фильтры, поступающие с завода-изготовителя, оборудованы металлическими секторами. В качестве фильтровальной ткани используются капроновая — ТТ156, капроновая — артикуль 1599 и капроталь.

Общеизвестно, что состояние фильтровальной ткани, при всех прочих равных условиях, оказывает значительное влияние на качественно-количественные показатели работы вакуум-фильтра, поэтому при обнаружении порывов фильтровальной ткани в условиях эксплуатации ее заменяют новой. Однако обследования показали, что на большинстве фабрик Донбасса сектора с порывами фильтровальной ткани заменяют новыми в том случае, если площадь порыва более $1,5-2 \text{ см}^2$. Учитывая, что на каждом фильтре таких секторов несколько (6—7), то суммарная площадь порывов фильтровальной ткани, как правило, составляет $10-15 \text{ см}^2$.

Исследованиями, проведенными в институте УкрНИИУгледобогатение, показано, что при порывах фильтровальной ткани, суммарная площадь которых колеблется в пределах $10-15 \text{ см}^2$, содержание твердого в фильтрате повышается на 25—40%, количество фильтрата возрастает на 10%, при этом снижается величина вакуума на 2—3%, а производительность вакуум-фильтра — на 3—4%.

Проведенный экономический анализ показал, что затраты, связанные с заменой секторов с порывами фильтровальной ткани площадью менее $1,5-2 \text{ см}^2$, экономически обоснованы.

С целью определения надежности основных узлов дисковых вакуум-фильтров (с металлическими секторами) фиксировались отказы узлов: корпуса, привода с распределительным валом, клапана мгновенной отдувки, распределительных головок и секторов (72 элемента). За период наблюдений было получено 330 отказов. Полученные данные по количеству отказов вакуум-фильтров приведены в табл. 60.

Таблица 60

Исходные данные о количестве отказов по отдельным узлам вакуум-фильтра

Узлы	Количество отказов n_i	Время восстановления $t_{в.ч}$
Корпус	2	72
Привод с распределительным валом	4	93
Клапан мгновенной отдувки	5	35
Распределительные головки	11	80
Сектора (72 элемента)	308	1018
Итого	330	1293

Исходя из суммарного времени работы вакуум-фильтров (время обезвоживания флотоконцентрата) $\sum_{i=1}^{n_i} t p_i$, соответствующего за период наблюдений 32 766 ч, и количества отказов узлов n_i

вакуум-фильтров определяется среднее значение параболот на отказ. Параболотка на отказ узлов вакуум-фильтра определяется по формуле (86).

Среднее значение параболоток на отказ исследуемых узлов вакуум-фильтров приведено в табл. 61.

Анализируя результаты расчета (табл. 61) необходимо иметь в виду следующее: параболотки на отказ всех секторов означает, что через 107 ч происходит остановка вакуум-фильтра по причине замены секторов. Среднее же время безотказной работы одного металлического сектора, обтянутого сеткой капросталя, составляет $t_1 = 2568$ ч.

Таблица 61

Результаты расчета среднего значения параболотки на отказ по отдельным узлам вакуум-фильтров

Параболотка на отказ вакуум-фильтра, ч	Параболотка на отказ узлов вакуум-фильтров t_1 , ч				
	Корпус	Привод с распределительным валом	Клапан мгновенной отдувки	Распределительные головки	Сектора (72 элемента)
95	16 420	8210	6565	2985	107

По полученным данным о суммарной длительности простоев вакуум-фильтров вследствие их отказов определены средние значения времени восстановления $T_{в1}$ узлов вакуум-фильтров (по формуле 89).

Исходя из суммарного времени восстановления вакуум-фильтров в целом $\sum_{i=1}^{n_1} t_{в1}$, соответствующего за период наблюдений 1298 ч, суммарного времени восстановления по каждому узлу $t_{в1}$ и количества отказов по каждому узлу n_1 , определены средние значения времени восстановления каждого узла $T_{в1}$ (табл. 62).

Таблица 62

Результаты расчета среднего времени восстановления по отдельным узлам вакуум-фильтра

Среднее время восстановления вакуум-фильтра, $T_{в1}$, ч	Время восстановления узлов вакуум-фильтра t_1 , ч				
	Корпус	Привод с распределительным валом	Клапан мгновенной отдувки	Распределительные головки	Сектора
3,36	36	23,2	7	7,3	3,3

Для оценки степени влияния надежности отдельных узлов на надежность фильтра в целом определим коэффициент отказов и коэффициент относительных простоев [по формулам (84) и (85)]. Результаты этих расчетов приведены в табл. 63.

Таблица 3

Результаты расчета коэффициентов отказов и относительных простоев по отдельным узлам дискового вакуум-фильтра

Показатели	Всего по вакуум-фильтру	В том числе по узлам				
		Корпус	Привод с распределительным валом	Клапан мгновенной отдувки	Распределительные головки	Секторы
Количество отказов	330	2	4	5	11	308
K_o , %	100	0,6	1,2	1,5	3,3	93,4
Время восстановления	1298	72	93	35	80	1018
$K_{оп}$, %	100	5,2	7,5	2,8	6,1	78,4

На основании данных, приведенных в табл. 61, 62, 63, построены диаграммы, характеризующие безотказность (рис. 65) и ремонтпригодность (рис. 66) узлов вакуум-фильтра.

Из диаграммы на рис. 65 видно, что самую низкую параболку на отказ имеют сектора — 107 ч (при коэффициенте отказов $K_o = 93,4\%$). Это означает, что более 90% отказов вакуум-фильтра происходит по причине выхода из строя секторов.

Рассматривая диаграмму (рис. 66), где приведены значения времени восстановления узлов вакуум-фильтров $T_{в}$ и коэффициенты относительных простоев $K_{оп}$, видим, что наибольшее время,

Таблица 64

Результаты расчета основных характеристик надежности дисковых вакуум-фильтров

Показатели надежности	Всего по вакуум-фильтру	В том числе по узлам				
		Корпус	Привод с распределительным валом	Клапан мгновенной отдувки	Распределительные головки	Сектора
Паработки на отказ	95	16 420	8210	6565	2985	107
Среднее время восстановления	3,36	36	23,2	7,0	7,3	3,3
Коэффициент готовности	0,862	0,999	0,999	0,999	0,999	0,91

затрачиваемое на восстановление, имеет корпус — 36 ч. Однако, если учесть, что относительный коэффициент простоя по этому узлу составляет всего $K_{оп} = 5,2\%$, то становится ясно, что время восстановления одного отказа по секторам — 3,3 ч (при $K_{оп} = 78,4\%$) является самым высоким.

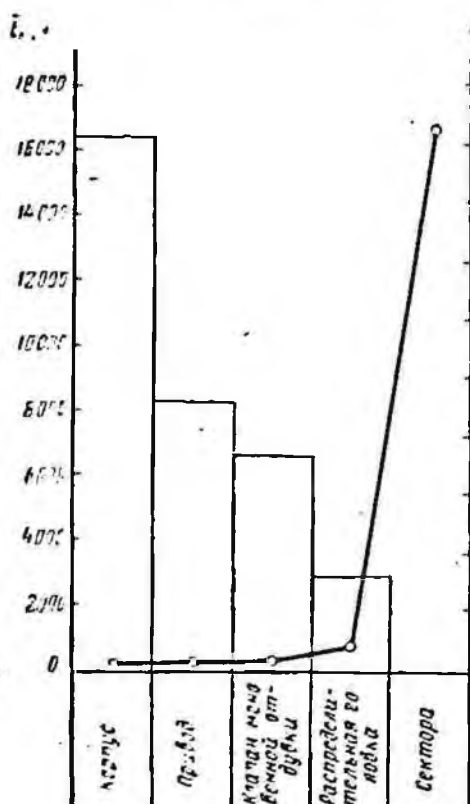


Рис. 65. Диаграмма безотказности основных узлов дискового вакуум-фильтра

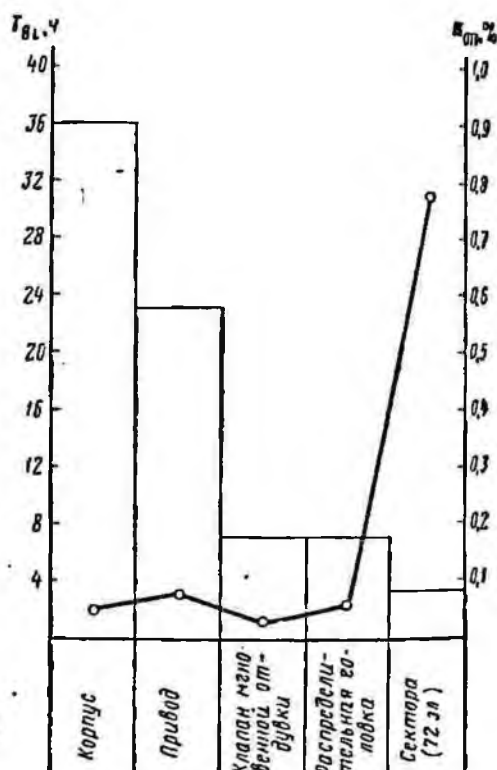


Рис. 66. Диаграмма ремонтпригодности основных узлов дискового вакуум-фильтра

Значения коэффициентов готовности $K_{г}$, определяющие влияющие уровни надежности узлов вакуум-фильтра на общую надежность фильтра, рассчитанные при $t = 20$ ч, приведены в табл. 64.

Низкое значение коэффициента готовности вакуум-фильтра 0,862 обусловлено в основном низким значением $K_{г}$ секторов (табл. 64).

Следовательно, наработка на отказ, среднее время восстановления и коэффициент готовности дискового вакуум-фильтра зависят от надежности сектора.

Нам были рассмотрены вакуум-фильтры с металлическими секторами, на которых в качестве фильтровальной ткани использовалась капроталь. На фабриках Минуглепрома СССР, кроме металлических секторов, широкое распространение получили и резиновые сектора. В связи с этим были проведены специаль-

ные исследования по определению надежности резиновых секторов.

Полученные результаты показывают, что среднее время безотказной работы резиновых секторов составляет 4580 ч.

При проведении исследований по определению среднего времени безотказной работы секторов, изготовленных из различных материалов, было установлено, что отказы секторов происходят в основном вследствие выхода из строя фильтровальной ткани, которая, в свою очередь, выходит из строя не в результате старения (износа), а в результате проявления случайных факторов, к числу которых можно отнести ряд конструктивных параметров деки, а также материала, из которого изготовлены дека и фильтровальная ткань.

Повышение надежности оборудования вообще и, дисковых вакуум-фильтров в частности, может быть произведено в результате:

- повышения конструктивной надежности, достигаемой использованием оптимальных конструктивных решений и применением более эффективных материалов;

- повышения эксплуатационной надежности, достигаемой расчетом необходимого количества ремонтного персонала и оптимального количества запасных частей;

- повышения надежности на стадии проектирования, достигаемой применением принципа резервирования, заключающегося в том, что в технологическую схему вводятся избыточное число вакуум-фильтров, которые выполняют те же функции, что и основные.

Поэтому для повышения надежности дисковых вакуум-фильтров (вероятность безотказной работы, наработка на отказ, интенсивность отказов, коэффициент готовности и др.) необходимо комплексное решение, т. е. повышение конструктивной надежности в сочетании с принципами резервирования и восстановления.

§ 2. Повышение конструктивной надежности дисковых вакуум-фильтров

Проведенный анализ отказов узлов дисковых вакуум-фильтров по характеру, количеству, времени восстановления показал, что для повышения надежности вакуум-фильтров в первую очередь необходимо сократить наиболее многочисленные и характерные отказы, причинами появления которых является ненадежность фильтровальной ткани.

Конструктивная надежность вакуум-фильтра может быть повышена за счет повышения среднего времени безотказной работы фильтровальной ткани. Исследования, проведенные ранее, показали, что на срок службы фильтровальной ткани (в условиях ее эксплуатации на определенной обогатительной фабрике) существенное влияние оказывают конструкция деки и материал, из которого изготовлен сектор. При применении резиновых (или

гуммированных) секторов наработка на отказ как фильтровальной ткани, так и секторов повышается. Мероприятием, обеспечивающим повышение надежности дискового вакуум-фильтра, является применение более совершенных конструкций секторов.

В табл. 65 приведены значения наработок на отказ основных узлов вакуум-фильтра с металлическими (по проекту) и резиновыми секторами (в качестве фильтровальной ткани в обоих случаях использовали сетку капросталя).

Таблица 65

Значения наработок на отказ основных узлов вакуум-фильтра с металлическими и резиновыми секторами

Наработка на отказ вакуум-фильтра, ч		Наработка на отказ узлов вакуум-фильтра t_i , ч					
с металлическими секторами	с резиновыми секторами	Корпус	Привод с распределительным валом	Клапан мгновенной отдувки	Распределительные головки	Сектора	
						металлические	резиновые
95	171	16 420	8210	6565	2985	107	191

Наработка на отказ вакуум-фильтра в целом и его узлов описывается формулой (88).

В результате расчетов получим наработку на отказ дискового вакуум-фильтра, оборудованного резиновыми (или гуммированными) секторами, обтянутыми сеткой капросталя, $\bar{t} = 171$ ч, т. е. на 80% больше, чем с металлическими секторами [61]. Время восстановления вакуум-фильтра T_v и время восстановления его узлов T_{vi} связаны зависимостью (89).

Среднее время восстановления дисковых вакуум-фильтров с резиновыми (гуммированными) секторами составит $T_v = 4,55$ ч.

В табл. 66 приведены основные показатели надежности вакуум-фильтра с проектными (металлическими) и резиновыми секторами, обтянутыми фильтровальной тканью капросталя.

Таблица 66

Основные показатели надежности вакуум-фильтров с резиновыми и металлическими секторами

Вакуум-фильтр	Наработка на отказ $\bar{t}$, ч	Среднее время восстановления T_v , ч	Интенсивность отказов λ , 1/ч	Коэффициент готовности K_r	Интенсивность восстановления μ , 1/ч
С металлическими секторами	95	3,36	0,0105	0,862	0,298
С резиновыми секторами	171	4,55	0,0058	0,945	0,219

Уравнение вероятности безотказной работы дисковых вакуум-фильтров, оборудованных резиновыми секторами, примет вид

$$P(t) = e^{-0,0058t} \quad (172)$$

На рис. 67 построены кривые вероятности безотказной работы дискового вакуум-фильтра с металлическими секторами и вакуум-фильтра с резиновыми секторами.

Вакуум-фильтр, оборудованный резиновыми (или гуммированными) секторами, имеет более высокие показатели надежности, чем вакуум-фильтр с металлическими секторами. В этом случае наработка на отказ увеличивается с 95 до 171 ч, коэффициент готовности с 0,862 до 0,945, вероятность безотказной работы $P(20)$ — с 0,81 до 0,89. Среднее время восстановления повысилось с 3,36 до 4,55 ч, однако если учесть, что наработка на отказ повышена на 80%, а среднее время восстановления на 35%, то становится ясно, что и этот показатель улучшен.

Повышение конструктивной надежности дисковых вакуум-фильтров, достигнутое заменой металлических (проектных) секторов резиновыми (гуммированными) в сочетании с фильтровальной тканью (капроталью), является не единственным решением. Так, работы, проведенные институтом ИГИ, показывают, что срок службы фильтровальной ткани (капроновая арт. 1599) в сочетании с секторами с гофрированной декой из листового винипласта составляет около $\bar{t}_в = 700$ ч, при этом среднее время безотказной работы фильтра составляет 190 ч, что также является более высоким значением, чем среднее время безотказной работы вакуум-фильтра, оборудованного металлическими (проектными) секторами. Разработаны и успешно эксплуатируются другие конструкции секторов вакуум-фильтров, однако получить количественные показатели надежности до ппм невозможно, так как в условиях эксплуатации находится пока незначительное количество их.

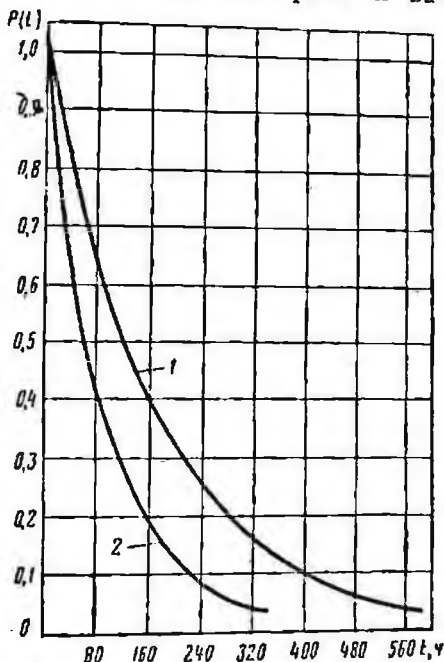


Рис. 67. Кривые вероятности безотказной работы вакуум-фильтров оборудованных металлическими (2) и резиновыми (1) секторами

§ 3. Повышение эксплуатационной надежности дисковых вакуум-фильтров

Основными вопросами при решении задачи повышения эксплуатационной надежности оборудования являются планирование численности ремонтного персонала и оптимального количества запасных частей.

Определение параметров надежности восстанавливаемых систем производится на основании теории массового обслуживания.

Несмотря на большие успехи, достигнутые теорией массового обслуживания благодаря трудам советских ученых А. Я. Хинчина, А. Н. Колмогорова, Б. В. Гнеденко, ее аппарат еще не является достаточно мощным для решения всех практических задач. Использование аппарата теории массового обслуживания в основном позволяет решать задачи по определению параметров надежности систем в случаях экспоненциального вида функции плотности вероятности отказов, что объясняется некоторыми особыми свойствами этого вида распределения, которые будут рассмотрены.

§ 4. Расчет системы обслуживания дисковых вакуум-фильтров

При исследовании вопросов надежности восстанавливаемого оборудования приходится иметь дело с потоками отказов и восстановлений, которые рассматриваются в теории массового обслуживания как потоки случайных событий, каждое из которых заключается в возникновении отказа или в его устранении. Характеристики этих потоков имеют определенное значение с точки зрения их влияния на параметры надежности восстанавливаемых систем.

Основными численными характеристиками потока являются его параметр (интенсивность), под которым понимается среднее количество отказов восстанавливаемой системы в единицу времени, взятое для рассматриваемого момента времени, и мгновенное значение параметра, определяемое как предел значения параметра при уменьшении времени наблюдения до нуля.

При эксплуатации дисковых вакуум-фильтров, положение о том, что поток отказов является простейшим, может считаться достаточно обоснованным. Действительно, если исключить из рассмотрения периоды приработки и старения, то величина интенсивности отказов является постоянной, что определяет наличие свойства стационарности. Моменты отказов аппаратуры являются независимыми друг от друга, что определяет отсутствие последствия. Предположение о наличии свойства ординарности основывается на том, что отказы отдельных узлов (деталей) дисковых фильтров являются независимыми событиями и, следовательно, вероятность наступления в промежутке времени (τ, t) двух или большего числа отказов имеет порядок $O(t - \tau)$.

Таким образом, для аналитического решения задачи, по расчету параметров обслуживания дисковых вакуум-фильтров, поток требований должен быть стационарным, ординарным и без последствия.

Поток, обладающий одновременно всеми этими свойствами, называется в теории массового обслуживания простейшим и полностью может быть охарактеризован системой функций Пуассона: для бесконечного потока требований:

$$P_k = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^k}{k!}, \quad (173)$$

где λ — среднее число требований, поступающих от оборудования всей системы;

K — количество поступивших требований ($K = 1, 2, 3 \dots$); для конечного потока требований

$$P_k = e^{-\lambda t n} \frac{(\lambda t n)^k}{k!}, \quad (174)$$

где λ — среднее число требований, поступивших от одной единицы оборудования в единицу времени;

k — вероятность поступления K требований на обслуживание за время $(0, t)$.

Чтобы рассчитать значение этих функций, достаточно знать только лишь величину параметра потока отказов λ , который является математическим ожиданием числа требований, поступающих в систему в единицу времени.

Поток будет простейшим и может быть описан системой функций Пуассона, если плотность распределения наработки на отказ (моменты поступления требований) подчиняется экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}.$$

Таким образом, решая задачу массового обслуживания, необходимо убедиться, что поток требований является простейшим, и задача может быть решена аналитически.

Требования к характеру времени обслуживания являются менее строгими. Обычно встречающиеся на практике системы массового обслуживания имеют случайный характер длительности времени обслуживания и подчиняются либо показательному закону, либо близки к нему. Если время восстановления подчиняется показательному закону, то плотность распределения описывается формулой

$$f(t) = \mu e^{-\mu t},$$

а функция распределения $F(t)$ (обозначающая вероятность того, что время обслуживания будет не больше некоторого, заданного времени t)

$$F(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

В подавляющем числе случаев следует выбирать модели с ожиданием, с ограниченной очередью и с конечным числом обслуживающих аппаратов. Аналитическая теория массового обслуживания для таких систем разработала следующие формулы [62]:
 вероятность того, что занято r дежурных слесарей при условии, что число требований, находящихся в обслуживаемой системе, не превосходит числа дежурных слесарей (для конечного потока требований):

$$P_k = \frac{n!}{K! (n-k)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k P_0 \quad (\text{при } 1 \leq k \leq r), \quad (175)$$

$$P_{(r+l)} = \frac{n!}{r! (n-(r+l))!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^r \left(\frac{\lambda}{\mu r} \right)^l P_0 \quad (\text{при } r+1 \leq r+l \leq n), \quad (176)$$

где n — наибольшее возможное число требований, находящихся в обслуживаемой системе одновременно, т. е. общее число машин и оборудования, от которых поступают запросы на обслуживание;

r — число дежурных слесарей;

λ — параметр потока отказов (среднее число требований на обслуживание, исходящих в единицу времени от одной единицы оборудования);

μ — параметр потока восстановления единицы оборудования;

k — количество поступивших требований;

P_0 — вероятность того, что дежурные слесари свободны; вероятность того, что в системе находится K требований для случая, когда их число больше числа дежурных слесарей r :

$$P_k = \frac{n!}{r! r^{k-r} (n-k)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k P_0 \quad (\text{при } r \leq k \leq n); \quad (177)$$

вероятность того, что дежурные слесари свободны:

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^r \frac{n!}{K! (n-k)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k + \sum_{k=r+1}^n \frac{n!}{r! r^{k-r} (n-k)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \right]^{-1}; \quad (178)$$

среднее число требований, находящихся в обслуживающей системе:

$$M = \sum_{k=0}^n K P_k = \left[\sum_{k=1}^r \frac{n!}{(k-1)! (n-k)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k + \sum_{k=r+1}^n \times \right. \\ \left. \times \frac{k n!}{r! r^{k-r} (n-k)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \right] P_0; \quad (179)$$

среднее число требований, ожидающих начало обслуживания (средняя длина очереди):

$$M_1 = \sum_{k=r+1}^n (k-r) P_k = \sum_{k=0}^{r-1} \frac{(r-k) n!}{r! (n-K) r^{k-r}} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k P_0; \quad (180)$$

среднее число свободных обслуживающих аппаратов:

$$M_2 = \sum_{k=0}^{r-1} (r-k) P_k = \sum_{k=0}^{r-1} \frac{(r-k) n!}{k! (n-k)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k P_0; \quad (181)$$

коэффициент простоя обслуживающего требования в очереди:

$$U_1 = \frac{M_1}{n} = \frac{1}{n} \sum_{k=r+1}^n (k-r) P_k = \frac{P_0}{n} \sum_{k=r+1}^n \frac{(k-r) n!}{r! r^{k-r} (n-k)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k; \quad (182)$$

коэффициент простоя обслуживающего аппарата:

$$U_2 = \frac{M_2}{r} = \frac{1}{r} \sum_{k=0}^{r-1} (r-k) P_k = \frac{P_0}{r} \sum_{k=0}^{r-1} \frac{(r-k) n!}{k! (n-k)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k; \quad (183)$$

коэффициент нахождения обслуживаемых требований в системе обслуживания (в обслуживании и в ожидании очереди):

$$U = \frac{M}{n} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n k P_k = \frac{P_0}{n} \left[\sum_{k=1}^n \frac{n!}{(k-1)! (n-k)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k + \sum_{k=r+1}^n \frac{k n!}{r! r^{k-r} (n-k)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \right]. \quad (184)$$

Исследования, произведенные ранее, подтверждают, что поток требований и время обслуживания дисковых вакуум-фильтров описываются экспоненциальным законом распределения.

Рассмотрим вопросы, связанные с организацией обслуживания n агрегатов (вакуум-фильтров) с помощью r дежурных слесарей. Причем различаем случаи конечного и бесконечного потоков требований. Если поток требований таков, что не может образоваться бесконечной очереди, то его считаем конечным (именно таким является поток требований на ремонт исходящий от n вакуум-фильтров).

Рассчитаем параметры системы (отделения), состоящей из восьми вакуум-фильтров с резиновыми секторами, если ремонт будут производить два слесаря, каждый по четыре вакуум-фильтра. В этом случае $\lambda/\mu = 0,0265$; $n=4$; $r=1$.

Составим систему уравнений по формуле (175), при этом считаем, что каждый следующий член P_{k+1} получен из предыдущего P_k , умноженного на $(4-K) \times 0,0265$.

$$P_0 = 1,00000 P_0$$

$$P_1 = 4 \cdot 0,0265 P_0 = 0,106 P_0$$

$$P_2 = 3 \cdot 0,0265 P_1 = 0,0795 P_1 = 0,0795 \cdot 0,106 P_0 = 0,00843 P_0 \quad (185)$$

$$P_3 = 2 \cdot 0,0265 P_2 = 0,053 P_2 = 0,053 \cdot 0,00843 P_0 = 0,00045 P_0$$

$$P_4 = 0,0265 P_3 = 0,0265 \cdot 0,00045 P_0 = 0,00001 P_0$$

$$P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1,11489 P_0.$$

Вероятность того, что дежурные слесари свободны, определяем по формуле (178)

$$P_0 = \frac{1}{1,11489} = 0,89696.$$

Вычислим параметры системы (табл. 67), для чего, решая уравнение (185) относительно P_0 , получим P_k ; среднее число требова-
ний $\sum_{k=1}^n k P_k$, находящихся в обслуживаемой системе, рассчиты-
ваем по формуле (179); среднее число ребований, ожидающих на-
чала обслуживания (средняя длина очереди) $\sum_{k=r+1}^n (k-r) P_k$, опреде-
ляем по формуле (180); среднее число дежурных слесарей $\sum_{k=0}^{r-1} (r-k) P_k$
находим по формуле (181).

Т а б л и ц а 67

Расчет параметров системы

k	P_k	$k P_k$	$k-r$	$(k-r) P_k$	$r-k$	$(r-k) P_k$
0	0,89696	0	—	—	1	0,89696
1	0,09508	0,09508	0	0		
2	0,00747	0,01594	1	0,00747		
3	0,00040	0,00120	2	0,00080		
4	0,00001	0,00004	3	0,00004		

$$\sum_{k=1}^n k P_k = 0,11126 \quad \sum_{k=r+1}^n (k-r) P_k = 0,00831 \quad \sum_{k=0}^{r-1} (r-k) P_k = 0,89696$$

Коэффициент нахождения обслуживающих требований в сис-
теме обслуживания (коэффициент простоя оборудования в обслу-
живании и ожидании очереди) U рассчитаем по формуле (184)

$$U = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n k P_k = 0,02781.$$

Это означает, что $\approx 2,8\%$ продолжительности работы ва-
куум-фильтр будет находиться в обслуживании, а общая продол-
жительность обслуживания четырех вакуум-фильтров одним ре-
монтником составит 52 мин.

Коэффициент простоя обслуживаемого требования в очереди (коэффициент простоя вакуум-фильтра в ожидании очереди) U определяем по формуле (182)

$$U_1 = \frac{1}{n} \sum_{k=r+1}^n (k-r) P_k = 0,0021.$$

Это означает, что 0,21% продолжительности работы вакуум-фильтр находится в ожидании обслуживания, а общая продолжительность ожидания обслуживания четырех фильтров составляет 4 мин.

Если изменить организацию обслуживания, а именно поручить обслуживание восьми вакуум-фильтров бригаде из двух человек (не закрепляя за каждым из них по четыре фильтра), то простои вакуум-фильтров при обслуживании изменятся.

В этом случае $\lambda/\mu = 0,0265$; $n = 8$; $r = 2$.

Для определения P_{k+1} (при $K = 0, 1, 2$) по формуле (175) умножаем P_{k+1} на $(n-k) \lambda/\mu$ и делим на $(k+1)$

$$P_0 = 1,00000 P_0$$

$$P_1 = 8 \cdot 0,0265 P_0 = 0,21200 P_0$$

$$P_2 = \frac{7}{2} \cdot 0,0265 P_1 = 0,0927 P_1 = 0,0927 \cdot 0,212 P_0 = 0,01965 P_0$$

$$P_0 + P_1 + P_2 = 1,23165 P_0$$

Каждый следующий член $P_l + (l+1)$ [формула (176)] получаем из члена $P+l$ (при $l = 0, 1, 2, 3 \dots$), умножая на $[n - (l-3)] \lambda/\mu$ и деля на 3

$$P_3 = \frac{5}{3} \cdot 0,0265 P_2 = 0,0442 \cdot P_2 = 0,0442 \cdot 0,01965 \cdot P_0 = 0,00087 \cdot P_0$$

$$P_4 = \frac{4}{3} \cdot 0,0265 P_3 = 0,035 P_3 = 0,035 \cdot 0,00087 \cdot P_0 = 0,00003 \cdot P_0$$

$$P_3 + P_4 = 0,00090 P_0$$

$$\sum_{k=0}^r P_k = 1,23165 P_0$$

$$\sum_{l=0}^5 P_l + (l+1) = 0,0009 P_0$$

$$\sum_{k=0}^8 P_k = 1,23174 P_0 \text{ по (178) } P_0 = \frac{1}{1,23174} = 0,81185.$$

Результаты расчетов параметров системы приведены в табл. 68. Коэффициент нахождения обслуживаемых требований в системе обслуживания $U = 0,02567 \approx 2,6\%$. Общая продолжительность

Расчеты параметров системы

k	P_k	kP_k	$k-r$	$(k-r)P_k$	$r-k$	$(r-k)P_k$
0	0,81185	0	—	—	2	1,62370
1	0,17211	0,17211	—	—	1	0,17211
2	0,01553	0,03106	—	—	0	—
3	0,00071	0,00213	1	0,00071	—	—
4	0,00002	0,00008	2	0,00008	—	—

$$\sum_{k=1}^n kP_k = 0,20533 \quad \sum_{k=r+1}^n (k-r)P_k = 0,00079 \quad \sum_{k=0}^{r-1} (r-k)P_k = 1,79581$$

обслуживания восьми вакуум-фильтров двумя ремонтниками составит 48 мин.

Сравнивая полученные результаты, можно заметить, что лучшая организация обслуживания (ремонта) та, когда все вакуум-фильтры обслуживают два слесаря без закрепления за каждым из них по четыре вакуум-фильтра.

Однако приведенные расчеты показывают, что в первом и во втором случае простой вакуум-фильтров при обслуживании двумя слесарями незначительны (52—48 мин).

Рассчитываем параметры этой же системы, если ремонт будет производить один слесарь.

В данном случае $\lambda/\mu = 0,0265$; $n = 8$; $r = 1$.

Составим систему уравнений по формуле (175):

$$\begin{aligned} P_0 &= 1,00000 P_0 \\ P_1 &= 8 \cdot 0,0265 P_0 = 0,21200 P_0 \\ P_2 &= 7 \cdot 0,0265 P_1 = 0,1855 P_1 = 0,1855 \cdot 0,212 P_0 = 0,03933 P_0 \\ P_3 &= 6 \cdot 0,0265 P_2 = 0,159 P_2 = 0,159 \cdot 0,03933 P_0 = 0,00625 P_0 \\ P_4 &= 5 \cdot 0,0265 P_3 = 0,1325 P_3 = 0,1325 \cdot 0,00625 P_0 = 0,00083 P_0 \\ P_5 &= 4 \cdot 0,0265 P_4 = 0,106 P_4 = 0,106 \cdot 0,00083 P_0 = 0,00009 P_0 \end{aligned}$$

$$P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 1,25850 P_0$$

Определяем вероятность того, что обслуживающие аппараты свободны

$$P_0 = \frac{1}{1,25850} = 0,79459.$$

Пропедев расчеты параметров системы, получим: коэффициент нахождения обслуживаемых требований в системе обслуживания $U = 0,0311 \approx 3,1\%$, общая продолжительность обслуживания восьми вакуум-фильтров одним ремонтником составляет 120 мин.

Коэффициент простоя обслуживаемого требования в очереди $U = 0,0055 \approx 0,54\%$, а общая продолжительность ожидания обслуживания 8 фильтров — 24 мин.

Коэффициент простоя обслуживающего персонала (ремонтника) рассчитываем по формуле (183)

$$U_2 = \frac{1}{r} \sum_{k=0}^{r-1} (r-k) P_k = 0,79459 \approx 79,5\%.$$

Полученный коэффициент U_2 показывает, что 79,5% рабочего времени дежурный слесарь свободен непосредственно от обслуживания, т. е. сможет производить подготовку к обслуживанию.

Таким образом, при обслуживании восьми фильтров одним слесарем продолжительность простоя последних составляет 120 мин (при обслуживании восьми фильтров двумя слесарями без закрепления продолжительность простоя вакуум-фильтров была 48 мин), т. е. меньше почти в три раза.

Окончательный выбор рассматриваемых вариантов обслуживания восьми вакуум-фильтров решается в каждом конкретном случае отдельно. Так, если на фабрике имеется свободная площадь фильтрации, т. е. возможность в течение 2 ч (в смену) работать без одного фильтра или перейти на резервный, то необходимо принять второй вариант (закрепить для обслуживания восьми вакуум-фильтров одного дежурного слесаря), если это невозможно, то следует принять первый вариант (обслуживание восьми вакуум-фильтров поручить двум слесарям без закрепления [63].

§ 5. Расчет оптимального количества запасных элементов

Для нормальной эксплуатации оборудования необходимо, чтобы в нужный момент времени имелась в наличии запасная деталь для замены отказавшей, так как ее отсутствие часто приводит к остановке фабрики.

Необходимое количество элементов на одну машину в год определяется по формуле

$$n_{\text{ср}} = \frac{12 K_{\text{см}} \bar{t} K_{\text{имв}} P_{\text{од}} D_{\text{с}}}{\bar{t}} \text{ шт (в год)}, \quad (186)$$

где $K_{\text{см}}$ — количество смен в сутки (3 смены);

$\bar{t}$ — продолжительность одной смены (8 ч);

$K_{\text{имв}}$ — коэффициент использования машинного времени;

$P_{\text{од}}$ — количество однотипных деталей в машине, шт;

$D_{\text{с}}$ — количество рабочих дней в месяц (для ОФ МУП УССР, имеющих флото-фильтровальные отделения $D_{\text{с}} = 29,3$);

$\bar{t}$ — наработка на отказ (для невосстанавливаемых деталей это средний срок службы).

Формула (186) не учитывает вероятностного характера появления отказов. Кроме того, при определении запаса элементов

необходимо дополнительно учитывать закон распределения и количество отказов, величину разброса сроков службы элементов.

Если поток отказов образуется деталями с экспоненциальным законом распределения наработки на отказ, то распределение отказов подчиняется закону Пуассона, если же у деталей закон распределения на отказ отличен от экспоненциального, то распределение числа m отказов приближенно подчиняется закону Пуассона, причем, чем ближе поступление количества отказов в единицу времени к постоянному значению, тем точнее определение запасных элементов по указанному закону. Задача заключается в определении такого минимального количества запасных элементов n_α , при котором потребность в них была бы удовлетворена с заданной вероятностью α , т. е. за это время с вероятностью α отказов, требующих замен, должно быть меньше или равно n_α :

$$\alpha = \text{Вер}(m \leq n_\alpha), \quad (187)$$

где m — случайное число отказов за определенный промежуток времени;

$\text{Вер}(m \leq n_\alpha)$ — вероятность того, что за определенное время произойдет меньше или n_α отказов.

При определении требуемого количества запасных частей по формуле (186) ввиду того, что в нее входит средняя наработка на отказ, вероятность безотказной работы элемента (при нормальном законе распределения) будет равна 0,5. Это означает, что в 50 случаях из 100 элемент выйдет из строя раньше установленного срока, а в 50 случаях будет работать дольше. Поэтому после определения среднего количества запасных деталей необходимо пайти гарантированный коэффициент запаса. При коэффициенте запаса, равном единице, вероятность удовлетворения потребности в запасных частях равна 50%, при величине коэффициента запаса >1 вероятность удовлетворения потребности в запчастях резко возрастает.

Для определения гарантированного коэффициента запасов обозначим через n_α — количество запасных частей с вероятностью α , т. е. такое их количество, которого с заданной гарантированной вероятностью хватит для обеспечения бесперебойной работы оборудования. Для упрощенного расчета коэффициента запаса принимаем, что распределение m отказов подчиняется закону Пуассона, тогда уравнение (187) можно преобразовать в следующий вид:

$$\alpha = \sum_{m=0}^{n_\alpha} \frac{1}{m!} n_{\text{ср}}^m e^{-n_{\text{ср}}}. \quad (188)$$

Для определения вероятностного расчета запасных частей

в литературе [64] имеется таблица для случая $\lambda \leq 30$, которая составлена по формулам

$$P = \sum_{m=x}^{\infty} \frac{1}{m!} \lambda^m e^{-\lambda}; \quad (189)$$

$$1 - P = \sum_{m=0}^{x-1} \frac{1}{m!} \lambda^m e^{-\lambda}. \quad (190)$$

Сравнивая уравнение (188) и (189), Шор Я. Б. делает вывод, что эта таблица рассчитана для условия, когда $\alpha = 1 - P$; $n_{\alpha} = x - 1$; $n_{\text{ср}} = \lambda$.

В литературе [25] имеется таблица, рассчитанная по уравнению (188); при этом принято, что

$$S = \frac{n_{\alpha}}{n_{\text{ср}}}. \quad (191)$$

Входами в эту таблицу служат α и $n_{\text{ср}}$.

Вероятностный метод расчета необходимого количества запасных частей рассмотрим на примере фактических сроков замен резиновых секторов дисковых вакуум-фильтров в условиях их работы на ЦОФ «Дуванская». Средняя наработка на отказ резиновых секторов для условий ЦОФ «Дуванская» $\bar{t}_p = 4640$ ч. Отказы фильтровальной ткани носят случайный характер, в связи с чем принимаем гипотезу, что наработка на отказ подчинена экспоненциальному закону распределения. С целью оценки полученного значения $\bar{t}_p$ используем доверительные интервалы наработки на отказ резиновых секторов, полученных для обогащательных фабрик Донбасса $\bar{t}_{p, n} = 5035$ ч; $\bar{t}_{p, n} = 4168$ ч. Так как полученное значение $\bar{t}_p = 4640$ ч (при $N = 104$) не выходит за границы доверительных интервалов (при $N = 208$) $4168 \geq 4640 \geq 5038$, то следует, что обе выборки можно считать взятыми из одной генеральной совокупности.

Норма расхода секторов по формуле (186) для ЦОФ «Дуванская» составит 67 шт. в месяц. Задавшись гарантированной вероятностью $\alpha = 0,9$, используя уравнение (181) и таблицу в литературе [25], находим $n_{\alpha} = 80$ шт. в месяц.

Следовательно, для обеспечения бесперебойной работы вакуум-фильтров с гарантированной вероятностью $\alpha = 0,9$ необходимо в месяц обтягивать (в условиях ЦОФ «Дуванская») не 67, а 80 секторов.

Ввиду того что с увеличением количества однотипных деталей гарантированный коэффициент запаса S стремится к единице (при одной и той же гарантированной вероятности), то расчет необходимого количества секторов целесообразно производить не для одной, а для нескольких фабрик.

Так, если расчет потребного количества секторов произвести для Красноподонской группы фабрик, то $n_{\text{ср}} = 349$ шт., а $n_{\alpha} = 373$ шт. (при $\alpha = 0,9$). В случае расчета для каждой фабрики отдельно получим $n_{\alpha} = 398$.

При одинаковой вероятности удовлетворения в секторах при производстве работ по обтяжке на каждой фабрике необходимо в месяц 398 секторов, а если обтяжку секторов для этих же фабрик производить в групповой мастерской, то — 373 шт.

Следовательно, экономически выгоднее обтяжку секторов производить не на каждой фабрике, а в групповой мастерской, организовав при этом централизованный обменный пункт [65].

§ 6. Резервирование технологического оборудования углеобогажительных фабрик

Распространенным методом повышения надежности является резервирование, т. е. применение таких компоновочных схем оборудования, при которых имеется возможность заменить отказавшее оборудование другим, заранее установленным запасным экземпляром. Резервирование создает высокую эксплуатационную надежность производственного объекта, которая превышает надежность входящих в него механизмов.

Параметром резервирования является отношение числа резервных единиц оборудования к числу основных, т. е. кратность.

При резервировании с целой кратностью для нормальной работы системы достаточно исправности хотя бы одного элемента. Например, при одном рабочем насосе и втором резервном обеспечивается высокая работоспособность узла перекачки шламовых вод при условии, что один из насосов находится в работоспособном состоянии.

При резервировании с дробной кратностью нормальная работа системы возможна, если число исправных единиц оборудования, входящих в состав данной системы, не меньше необходимого их числа. Например, если три рабочие центрифуги, обезвоживающие мелкий концентрат, резервируются одной четвертой центрифугой, то работоспособность узла обеспечивается при исправности хотя бы трех центрифуг.

Повышение надежности отдельных технологических узлов углеобогажительных фабрик методом резервирования применяются на таких операциях, как классификация рядового угля, обезвоживание продуктов обогащения на грохотах, в вакуум-фильтрах, в центрифугах, флотация шламов. Резервируется оборудование для перекачки оборотных вод, подачи сжатого воздуха на отсадку и фильтрование.

Различают общее резервирование, при котором данная технологическая система резервируется в целом. Например, система транспорта отходов с углеобогажительных фабрик в шлакопитатели состоит из двух отдельных систем оборудования.

Особого рода резервирования является создание на фабриках аккумуляторов — бункеров для рядового угля или продуктов обогащения.

При отсутствии аккумуляторов отказ транспортных систем вызывает вынужденный простой углеобогащительной фабрики.

Резервное оборудование углеобогащительных фабрик до момента включения его в работу может находиться в следующих состояниях:

внешние условия резерва полностью совпадают с условиями рабочего элемента системы. Такой вид резерва называют нагруженным резервом. Ресурс резервного элемента системы начинает расходоваться с момента включения в работу всей системы;

внешние условия резерва не совпадают с условиями рабочего элемента системы — рабочий элемент системы находится в работе, резервный отключен. Резервный элемент начинает расходовать свой технический ресурс с момента включения его в работу вместо отказавшего элемента. Такой вид резерва называют ненагруженным резервом.

Включение резервного технологического оборудования углеобогащительных фабрик в работу производят способом замещения при помощи соответствующих переключающих устройств, которые позволяют отключить отказавший элемент системы и подключить резервный.

Основные преимущества резервирования способом замещения следующие: возможность использования резервного элемента системы на нескольких работах; значительное повышение надежности системы при относительно малых затратах; сохранение технического ресурса резервного оборудования, так как до включения его в работу оно может находиться в нерабочем состоянии.

К недостаткам резервирования способом замещения следует отнести: наличие переключающих устройств (шиберов, задвижек, которые снижают общую надежность системы), невозможность мгновенного отключения отказавшего элемента и включения резервного (в реальных условиях возможны перерывы в работе отдельных технологических узлов обогащительных фабрик при переходе на резервный элемент).

Вероятность отказа резервируемых систем, которые являются невозстанавливаемыми, либо таких восстанавливаемых систем, для которых по каким-либо причинам требуется найти показатели надежности до первого отказа, определяется исходя из следующих допущений.

Предполагают, что отказы при работе оборудования являются случайными и независимыми друг от друга событиями, а время переключения резервного элемента вместо отказавшего мало и им можно пренебречь. Кроме того, делается допущение о том, что индикация отказов отдельных элементов в системе является мгновенной.

Если обозначить через $q_i(t)$ вероятность появления отказа за время работы t у i -го образца оборудования и не учитывать надежность переключающих устройств, то вероятность появления отказа в работе узла с параллельным соединением оборудования при одном рабочем элементе и нагруженном включении резервных элементов определяется по теореме умножения вероятностей

$$Q_c(t) = g_1(t) g_2(t) \dots g_N(t) = \prod_{i=1}^N (1 - P_i(t)).$$

Тогда вероятность безотказной работы узла с параллельным соединением оборудования будет

$$P_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_i(t)).$$

Последние два выражения определяют показатели надежности работы системы, представляющей один укрупненный узел, который состоит из N параллельно соединенных изделий.

В рассматриваемых выше методах расчета надежности резервируемых систем в качестве отправной предпосылки является повышение вероятности безотказной работы системы, без учета экономических факторов, таких как затраты на резервирование и получение эффекта от повышения надежности систем. Такие методы расчета используются в тех случаях, когда в качестве основного критерия является повышение надежности систем, исходя из безопасности их эксплуатации.

В ряде случаев при решении задач по повышению надежности оборудования обогащательных фабрик следует исходить не из максимального выигрыша в повышении вероятности безотказной работы системы, а из условия получения максимального уровня эффективности работы системы.

§ 7. Экономическая модель резервирования оборудования

В качестве примера рассмотрим расчет экономической модели работы оборудования флото-фильтровального отделения. Эффективность метода резервирования может быть качественно оценена при наличии показателя надежности. В зависимости от назначения той или иной системы применяются различные показатели надежности, такие как вероятность безотказной работы, средняя наработка на отказ, коэффициент готовности. При выборе показателя надежности необходимо учитывать назначение системы, характер влияния надежности на тот эффект, для достижения которого она предназначена.

Рассмотрим с этой точки зрения оборудование флото-фильтровальных отделений углеобогащательных фабрик. Вследствие от-

каза одного из агрегатов флото-фильтровального отделения снижается эффективность работы отделения, так как сокращается объем выпуска флотоконцентрата, что, в свою очередь, ведет либо к снижению производительности фабрики, либо к увеличению потерь.

Если структура отделения такова, что оптимальная норма выработки флотоконцентрата обеспечивается лишь при работе всех агрегатов, то весьма существенной будет вероятность невыполнения отделением плана, так как в процессе работы возможны отказы.

Если применяется резервирование методом замещения (холодное), то необходимый объем работ будет обеспечиваться за счет того, что отказ не приведет к уменьшению количества агрегатов до уровня ниже минимального. При резервировании методом постоянного подключения (горячее) отказ не приводит к уменьшению выработанного продукта вследствие того, что в исправном состоянии выработка несколько превышает запланированный уровень.

Для постановки и решения задачи об оптимальном резервировании опишем модель эксплуатации флото-фильтровального отделения.

Работа отделения осуществляется циклами длительностью по 20 ч (см. рис. 52), после цикла работы следует четырехчасовой интервал, в течение которого устраняются отказы, а также проводятся планово-профилактические мероприятия.

Введем в рассмотрение понятие «состояние отделения». Под состоянием отделения будем понимать количество работоспособных агрегатов разного типа. Так, для условий ЦОФ «Дуванская» состояние (8, 6, 4, 2) означает, что в данный момент времени работоспособны восемь флотационных машин, шесть вакуум-фильтров, четыре вакуум-насоса и два шламовых насоса.

На основании проведенных исследований установлено, что надежность дисковых вакуум-фильтров, по сравнению с другим оборудованием флото-фильтровального отделения, самая низкая. Поэтому, рассматривая 20-часовой интервал времени, можно пренебречь возможностью отказов вакуум-насосов, флотационных машин и шламовых насосов.

С другой стороны, состояние отделения можно характеризовать количеством работающих флотационных машин. Соотношение между количеством флотационных машин и вакуум-фильтров определяется из условия, что 1 м³ объема камеры флотационной машины соответствует 2,7—3 м² площади фильтрации (широко используемых до настоящего времени флотационных машин ФМ-2,5 и ФМУ-50 и вакуум-фильтров Ду51 и Ду68). Для ЦОФ «Дуванская» объем камер флотационных машин составляет 110 м³. Для обеспечения этого объема флотационных машин должно работать в единицу времени 6 вакуум-фильтров.

В связи с тем что мы пренебрегли возможностью отказа самих флотационных машин, а также вакуум-насосов и шламовых

насосов, количество работающих флотационных машин будет определяться количеством работающих вакуум-фильтров. Этот агрегат, являющийся самым ненадежным агрегатом флото-фильтровального отделения, и определяет состояние отделения в каждый момент времени.

Каждому состоянию отделения соответствует определенный уровень эффективности. Состоянию E_1 , когда работают все восемь флотационных машин, соответствует максимальный уровень эф-

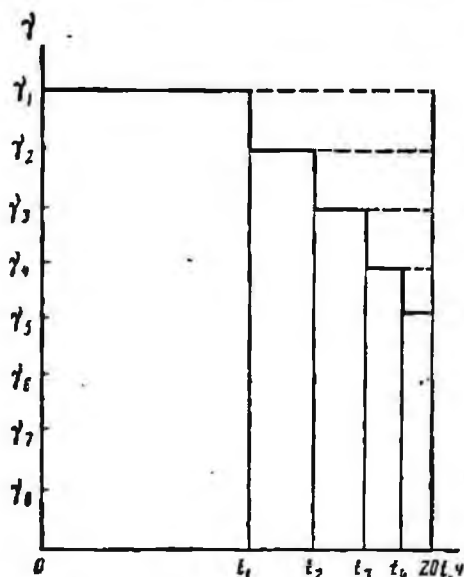


Рис. 68. Реализация состояния флото-фильтровального отделения

фективности. Состоянию E_9 , когда не работает ни одна из флотационных машин, соответствует минимальный уровень эффективности. Обозначим через γ_i доход в единицу времени (в час) от работы отделения, если оно находится в E_{i-1} состоянии, $i = 1, 2, 3, \dots, 8, 9$. Величины γ_i определяют по формуле

$$\gamma_i = \frac{1}{24} \times \left[\frac{A(8-i+1)}{8} - B - C \right], \quad \text{руб/ч}; \quad (192)$$

где A — стоимость продукции, вырабатываемой отделением при восьми ра-

ботающих флотационных машинах, с учетом стоимости сырья за сутки работы отделения, руб.;

B — эксплуатационные затраты по подготовке и обработке продуктов флотации на суточный объем продукции флото-фильтровального отделения, руб.;

C — эксплуатационные затраты на обслуживание шести вакуум-фильтров в сутки, руб.

Графическая интерпретация экономической модели эксплуатации отделения показана на рис. 68, на котором представлена одна из возможных реализаций эволюции состояний отделения. Эти эволюции случайны и зависят от показателей надежности агрегатов отделения.

Суммарный доход от работы отделения за сутки численно равен площади фигуры, ограниченной осями координат, вертикальной прямой, соответствующей $t = 20$ ч, и ступенчатой кривой, характеризующей эволюцию состояний. Для случая, соответствующего рис. 68, доход будет

$$D = \gamma_1 t_1 + \gamma_2 (t_2 - t_1) + \gamma_3 (t_3 - t_2) + \gamma_4 (t_4 - t_3) + \gamma_5 (20 - t_4).$$

В связи с тем что эволюция состояний отделения случайна, доход за сутки будет случайной величиной. Поэтому в качестве характеристики дохода целесообразно принять его среднее значение.

Для определения среднего значения дохода необходимо определить среднее время пребывания отделения в каждом из возможных состояний. Обозначим через $\pi_i(t)$ вероятность нахождения отделения в состоянии E_i . Тогда среднее время нахождения отделения в состоянии E_i будет определяться по формуле

$$T_i = \int_0^{20} \pi_i(t) dt. \quad (193)$$

Отсюда находим среднее значение дохода

$$D_{cp} = \sum_{i=1}^8 \gamma_i T_i. \quad (194)$$

Таким образом определены те показатели надежности, которые могут служить для оценки эффективности применения методов резервирования.

В связи с тем что наименее надежным агрегатом флото-фильтровального отделения является вакуум-фильтр, необходимо в первую очередь применять резервирование вакуум-фильтров. Так как при этом возрастут эксплуатационные расходы, величины γ_i определяются по формуле

$$\gamma_{im} = \frac{1}{24} \left[\frac{A(8-i+1)}{8} - B - C - mE \right], \quad (195)$$

где m — количество резервных вакуум-фильтров;

E — эксплуатационные расходы на обслуживание одного резервного вакуум-фильтра за сутки, руб.

В этом случае средний доход будет определяться по формуле

$$D_{m, cp} = \sum_{i=1}^8 \gamma_i m T_i. \quad (196)$$

В зависимости от числа m резервных вакуум-фильтров величина среднего дохода будет различной. То значение m , при котором $D_{m, cp}$ максимально, следует считать наиболее целесообразным количеством запасных агрегатов.

Общий метод определения вероятностей $\pi_i(t)$ изложен в литературе [66]. Он основан на применении одной теоретико-вероятностной схемы, называемой схемой гибели. Формулы для $\pi_i(t)$ в общем случае достаточно сложны, поэтому целесообразно определить какой-либо приближенный метод решения поставленной задачи.

Такой метод можно получить, учитывая особенности той практической ситуации, которую мы рассматриваем.

Интенсивность отказов вакуум-фильтров равна 0,0058 1/ч. Следовательно, интенсивность отказов шести вакуум-фильтров будет равна 0,0348 1/ч. Известно, что если интенсивность потока отказов равна λ , то

$$P_i(t) = \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t}, \quad (197)$$

где $P_i(t)$ — вероятность того, что за время t будет i отказов.

Предположим, что интенсивность потока отказов шести вакуум-фильтров не изменяется и равна 0,0348. По формуле (197) находим, что

$$P_3(20) = 0,029.$$

Иными словами, вероятность трех отказов достаточно мала. В действительности, после отказа одного агрегата интенсивность потока отказов уменьшается, поэтому величина 0,029 является верхней оценкой для вероятности появления трех отказов.

Следовательно, можно считать, что отделение в течение одного двадцатичасового цикла работы может иметь практически не более двух отказов и может находиться в трех состояниях: E_1 , E_2 и E_3 . При этом предполагается, что в состояниях E_1 и E_2 отказ одного вакуум-фильтра приводит к остановке одной флотационной машины.

Вероятность того, что в момент t после начала очередного цикла отделение находится в состоянии E_i , $i = 1, 2, 3$, равна $\pi_i(t)$. Сравнивая состояния отделения в два бесконечно близких момента t и $t + \Delta t$ по формуле полных вероятностей, получим

$$\pi_1(t + \Delta t) = \pi_1(t)(1 - 6\lambda \Delta t) + 0(\Delta t);$$

$$\pi_2(t + \Delta t) = \pi_1(t)6\lambda \Delta t + \pi_2(t)(1 - 5\lambda \Delta t) + 0(\Delta t);$$

$$\pi_3(t + \Delta t) = \pi_2(t)5\lambda \Delta t + \pi_3(t) + 0(\Delta t).$$

При $\Delta t \rightarrow 0$ получаем систему дифференциальных уравнений

$$\pi_1'(t) = -6\lambda \pi_1(t);$$

$$\pi_2'(t) = 6\lambda \pi_1(t) - 5\lambda \pi_2(t);$$

$$\pi_3'(t) = 5\lambda \pi_2(t).$$

Из первого уравнения этой системы следует

$$\pi_1(t) = e^{-6\lambda t}.$$

Подставляя это выражение во второе уравнение, получим линейное уравнение первого порядка

$$\pi_2'(t) + 5\lambda \pi_2(t) = 6\lambda e^{-6\lambda t},$$

решение которого, с учетом того, что, $\pi_2(0) = 0$, есть

$$\pi_2(t) = 6e^{-5\lambda t} - 6e^{-6\lambda t}$$

Из третьего уравнения получаем

$$\pi_3'(t) = 30\lambda e^{-5\lambda t} - 30\lambda e^{-6\lambda t},$$

откуда (с учетом $\pi_3(0) = 0$)

$$\pi_3(t) = 5e^{-6\lambda t} - 6e^{-5\lambda t}.$$

Используя формулу (193), определяем среднее время пребывания отделения в каждом из трех состояний: $T_1 = 14$ ч, $T_2 = 5$ ч, $T_3 = 1$ ч.

Для условий ЦОФ «Дуванская» в соответствии с расчетом прибыли от реализации продукции флото-фильтровального отделения получим $A = 6890$ руб.; $B = 1634$ руб.; $C = 100$ руб.; $E = 39$ руб. На основании этих данных определяем значения ежесуточного среднего дохода для исходного варианта с шестью вакуум-фильтрами [формулы (192) и (194)] и с резервом формулы (195) и (196), при этом считаем, что резервирование осуществляется способом замещения:

1) исходный вариант (без резерва).

$$\gamma_1 = \frac{1}{24}(A - B - C) = 215 \text{ руб.};$$

$$\gamma_2 = \frac{1}{24}\left(\frac{7}{8}A - B - C\right) = 179 \text{ руб.};$$

$$\gamma_3 = \frac{1}{24}\left(\frac{6}{8}A - B - C\right) = 128 \text{ руб.}$$

В соответствии с формулой (194) $D_{\text{ср}} = 4033$ руб.;

2) при $m = 1$

$$\gamma_{11} = \frac{1}{24}(A - B - C - E) = 213 \text{ руб.};$$

$$\gamma_{21} = \frac{1}{24}(A - B - C - E) = 177 \text{ руб.}$$

Состояния E_3 с соответствующим ему γ_{31} не будет, так как вследствие резерва произойдет следующий переход $E_1 \rightarrow E_1 \rightarrow E_2$, поэтому в соответствии с формулой (196) $D_{\text{ср}} = 4224$ руб.;

3) при $m = 2$.

При двух резервных вакуум-фильтрах отделение всю смену будет находиться в состоянии E_1

$$\gamma_{12} = \frac{1}{24}(A - B - C - 3E) = 211,6 \text{ руб. } D_{\text{ср}} = 4332 \text{ руб.};$$

4) при $m = 3$.

$$\gamma_{13} = \frac{1}{24}(A - B - C - 3E) = 210 \text{ руб. } D_{\text{ср}} = 4200 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных построена зависимость $D_{m, \text{ср}} = f(m)$ (рис. 69), из характера которой видно, что $D_{m, \text{ср}} \rightarrow \rightarrow \text{max}$ при $m = 2$, т. е. максимальная эффективность получена при двух резервных вакуум-фильтрах [67].

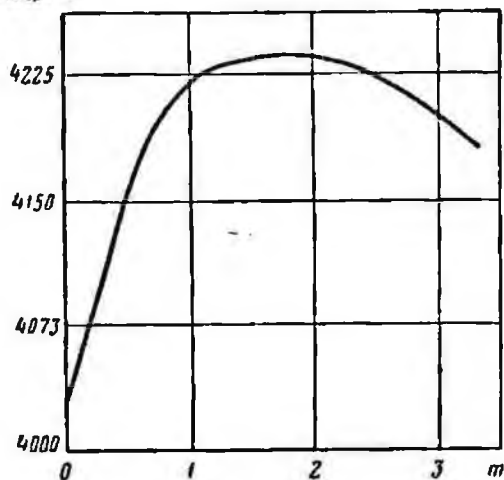


Рис. 69. Зависимость ежесуточного среднего дохода от числа m резервных вакуум-фильтров

Для повышения эффективности работы флото-филтровальных отделений при разработке проектов новых углеобогащительных фабрик или при реконструкции действующих в проекты необходимо закладывать оптимальное количество резервных вакуум-фильтров, количество которых должно рассчитываться в зависимости от числа фильтров, которые должны находиться в работе в каждую единицу времени (последнее определяется технологическими расчетами).

Оптимальное количество резервных вакуум-фильтров в зависимости от того, какое количество их должно работать в каждую единицу времени.

В табл. 69 приведено оптимальное количество резервных вакуум-фильтров в зависимости от того, какое количество их должно работать в каждую единицу времени.

Таблица 69

Оптимальное количество резервных вакуум-фильтров

Количество вакуум-фильтров, которое должно работать в каждую единицу времени, шт.	1—3	4—6	7—9
Оптимальное количество резервных вакуум-фильтров, шт.	1	2	3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Положение о планово-предупредительном ремонте оборудования и транспортных средств угольной и горнорудной промышленности. М., Госгортехиздат, 1963. 119 с.
2. Окопников А. И., Нескормных В. М. О выборе системы ремонта оборудования углеобогащительных фабрик. — «Уголь Украины», 1969, № 9, с. 19—21.
3. Техническое обслуживание и ремонт оборудования углеобогащительных фабрик. М., «Недра», 1972. 207 с. с пл.
4. Смирнов Н. Н. Вопросы обеспечения ремонтпригодности транспортных самолетов. — Надежность и контроль качества. М., Изд-во стандартов, 1969, № 9, с. 39—53.
5. Кузнецов Е. С. Техническое обслуживание и надежность автомобилей. М., «Транспорт», 1972. 224 с. с пл.
6. Методические указания по прогнозированию технического состояния машин. М., «Колос», 1972. 216 с. с пл.
7. Гердбах П. Б. Модели профилактики. М., «Советское радио», 1969. 214 с. с пл.
8. Проников А. С. Износ и долговечность станков. М., Машгиз, 1957. 286 с. с пл.
9. Павлов Б. В. Кибернетические методы технического диагноза. М., «Машиностроение», 1966. 153 с. с пл.
10. Павлов Б. В. Акустическая диагностика механизмов. М., «Машиностроение», 1971. 223 с. с пл.
11. Липиц В. П. Техническая диагностика машин. М., «Знание», 1971. 46 с.
12. Белицкий Ф. Я. Вопросы акустической диагностики машин. — В кн.: Динамика и акустика машин. М., «Наука», 1971, с. 109—116.
13. Князевский А. Ф., Мельников В. И., Рыженко В. И. Гидроабразивное изнашивание и его влияние на долговечность деталей гидрооборудования. — «Износостойкость и надежность оборудования для гидравлической добычи угля». Новокузнецк, 1970, № 9, с. 26—34.
14. Бубнов А. П., Урман Н. А. Минерало-петрографическое исследование шламов обогащительных фабрик Донбасса. — В кн.: Техника и технология обогащения углей, М., «Недра», 1965, № 4, с. 28—36.
15. Ребиндер П. А., Шрейнер Л. А., Тиваг К. Ф. Показатели твердости в бурении. М., Изд-во АН СССР, 1944. 186 с.
16. Коткин А. М., Шуляк В. Е., Ямпольский М. Н. Измельчение общей минерализации оборотных вод углеобогащительных фаб-

рпк. — «Обогащение и брикетирование угля», М., ЦИИИЭУголь, 1967, № 2, с. 9—11.

17. Фоменко Т. Г., Бутовский В. С., Погарцева Е. М. Водно-шламовое хозяйство углеобогащительных фабрик. М., «Недра», 1974. 270 с. с ил.

18. Лебедева С. И. Определение микротвердости минералов. М., Изд-во АН СССР, 1963. 124 с. с ил.

19. Организация ремонта оборудования флото-фильтровальных отделений. М., ЦИИИЭУголь, 1969. 75 с. Авт.: А. И. Окопшиников, В. Я. Зансельский, В. М. Нескормных и др.

20. Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М., Госгеолтехиздат, 1961. 540 с. с ил.

21. Система периодических ремонтов оборудования углеобогащительных фабрик. Луганск, 1969. 91 с. (УкрНИИУглеобогащение).

22. Инструкция по внедрению планово-предупредительного ремонта на углеобогащительных фабриках. Ворошиловград, 1970. 79 с. (УкрНИИУглеобогащение).

23. Сулов О. П. Применение номограмм в угольной промышленности. М., «Недра», 1967. 136 с. с ил.

24. Кугель Р. В., Шор Я. Б. Вопросы классификации отказов машин и их элементов. — «Вестник машиностроения», 1966, № 1, с. 17—23.

25. Шор Я. Б., Кузьмин Ф. И. Таблица для анализа и контроля надежности. М., «Советское радио», 1968. 284 с.

26. Шкловер Е. С., Крашенинников В. Н. Промышленные испытания сит, изготовленных из пружинных сталей. М., Госгортехиздат, 1962, с. 175—184 (УкрНИИУглеобогащение. Научные труды. Т. 1).

27. Борисов Ю. С. Планово-предупредительный ремонт оборудования в промышленности СССР. М., Машиз, 1949. 128 с.

28. Разматулин М. Д. Ремонт тепловозов. М., «Транспорт», 1965. 283 с. с ил.

29. Черепашенец Р. Г. Межремонтные пробеги и использование мощности локомотивов. — «Железнодорожный транспорт», 1966, № 7, с. 28—35.

30. Кузнецов Е. С. Режимы технического обслуживания автомобилей. М., Автотрансиздат, 1963. 247 с. с ил.

31. Розенберг В. Я., Прохоров А. И. Что такое теория массового обслуживания? М., «Советское радио», 1965. 256 с. с ил.

32. Шор Я. Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. М., «Советское радио», 1962. 552 с. с ил.

33. Хорин В. Н., Рахутин Г. С. Рациональные интервалы плановых замен элементов крепи типа ОМКТ. — «Уголь», 1966, № 9, с. 18—22.

34. Справочник нормировщика-машиностроителя, т. I. Основы технического нормирования. М., Машиз, 1959. 676 с. с ил.

35. Ткаченко Л. А., Переплетчиков В. И. Монтаж технологического оборудования углеобогащительных фабрик. М., «Недра», 1966. 276 с. с ил.

36. Велпчкн А. П., Козлов В. Ш. Справочник проектировщика инженерных сооружений. Киев, «Будівельник», 1973. 552 с.
37. Костецкий Б. П. Трение, смазка и износ в машинах. Киев, «Техника», 1970. 394 с. с пл.
38. Розенберг Ю. А., Виноградова Н. Я. Смазка механизмов машин. М., Гостехиздат, 1960. 339 с. с пл.
39. Розенберг Ю. А. Влияние смазочных масел на надежность и долговечность машин. М., «Машиностроение», 1970. 311 с. с пл.
40. Башта Г. М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика. М., «Машиностроение», 1972. 319 с. с пл.
41. Башта Г. М. Машиностроительная гидравлика. М., «Машиностроение», 1971. с. 670 с пл.
42. Эрлих Л. Б. Фрагменты к общей теории контактных разрушений. — В кн.: Контактная прочность машиностроительных материалов. М., «Наука», 1964. 198 с. с пл.
43. Виноградова Н. Э. Противозносные присадки к маслам. М., «Химия», 1972. 271 с. с пл.
44. Боуден Ф. П., Тейбор Д. Трение и смазка твердых тел. Перевод с английского. М., «Машиностроение», 1968. 542 с. с пл.
45. Старосельский А. А., Гаркунов Д. П. Долговечность трущихся деталей машин. М., «Машиностроение», 1967. 395 с. с пл.
46. Ч. Д. Ж. Банер. Редукторные и трансмиссионные масла. Перевод с английского под ред. А. В. Виленькина. М., «Химия», 1967. 538 с.
47. Кудрявцев В. Н., Державец Ю. А., Глухарев Е. Г. Конструкция и расчет зубчатых редукторов. Л., «Машиностроение», 1971. 327 с. с пл.
48. Хрущев М. М. Лабораторные методы испытания на изнашивание материалов зубчатых колес. М., «Машиностроение», 1966. 152 с. с пл.
49. Спришевский А. И. Подшипники качения. М., «Машиностроение», 1969. 631 с. с пл.
50. Подшипники скольжения, расчет, проектирование, смазка. Изд-во Академии Румынской Народной Республики. Бухарест, 1964. 457 с. с пл. Авт.: Н. Тимей, В. Н. Константиеску, А. Л. Ника.
51. Калабро С. Р. Принципы и практические вопросы по надежности. М., «Машиностроение», 1966. 376 с. с пл.
52. Базовский И. Надежность. Теория и практика. М., «Мир». 1965. 373 с. с пл.
53. Половко А. М. Основы теории надежности. М., «Наука», 1964. 446 с. с пл.
54. Смирнов Н. Н. Вопросы ремонтпригодности машин. М., «Знание», 1970. 56 с.
55. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М., Физматгиз, 1962. 348 с. с пл.
56. РТМ-62. Методика статистической обработки эмпирических данных. М., Изд-во стандартов, 1966. 100 с.
57. Запсельский В. Я. Оценка надежности углеобогащающего оборудования. — Обогащение и брикетирование угля. М., ЦНИИЭ Уголь, 1969, № 3, с. 36—38.

58. Методика оценки качества ремонта и технического обслуживания тракторов и сельскохозяйственных машин по технико-экономическим показателям их надежности. М., ГОСНИТИ, 1966. 60 с.

59. Пособие для определения числа объектов наблюдений. М., ГОСНИТИ, 1966. 30 с.

60. Леоптьев Л. И. Определение надежности сложных устройств с помощью композиции законов распределения. Труды АН Латвийской ССР 1962, № 2, с. 18—24.

61. Запсельский В. Я. Повышение надежности дисковых вакуум-фильтров. — «Обогащение и брикетирование угля». М., ЦИНИЭУголь, 1969, № 4, с. 35—38.

62. Хпичи А. Я. О пуассоновских потоках случайных событий. — «Теория вероятностей и ее приложения», т. I, вып. 3. М. 1956, с. 37—43.

63. Ельяшевич М. Г., Запсельский В. Я. Расчет системы обслуживания дисковых вакуум-фильтров. — «Обогащение полезных ископаемых», вып. 7. Киев, «Техника», 1970, с. 72—75.

64. Янко Я. Математико-статистические таблицы. М., Госстатиздат, 1961. 243 с.

65. Оконшников А. И., Запсельский В. Я. Статистический метод расчета необходимого количества запасных частей. — «Обогащение и брикетирование угля», 1967, № 11—12, с. 51—55.

66. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности. М., «Наука», 1965. 524 с.

67. Запсельский В. Я., Фомин В. Н. Экономическая эффективность резервирования оборудования флото-фильтровальных отделений. — «Экономика угольной промышленности», 1971, № 7, с. 28—30.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Р а з д е л I	
ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ ОБОРУДОВАНИЯ	
Г л а в а I. Условия эксплуатации и организация ремонта оборудования	5
§ 1. Выбор системы технического обслуживания и ремонта оборудования	5
§ 2. Характеристика прогнозирующих параметров и примеры определения их предельных значений	14
§ 3. Примеры определения предельных состояний износа	16
§ 4. Понятие о технической диагностике машин	21
§ 5. Влияние свойств среды на продолжительность межремонтных периодов	26
§ 6. О целесообразности принудительной замены деталей оборудования	35
Г л а в а II. Оптимизация межремонтных периодов	49
§ 1. Краткий обзор существующих методов оптимизации межремонтных периодов	49
§ 2. Оптимизация межремонтных периодов оборудования углеобогащительных фабрик	61
§ 3. О времени для подготовки к ремонту	64
§ 4. Оптимизация межремонтных периодов для случаев принудительной замены деталей	68
Г л а в а III. Монтаж и эксплуатация оборудования	74
§ 1. Организация монтажных работ	74
§ 2. Фундаменты под оборудование	78
§ 3. Монтаж и эксплуатация отсадочных машин	79
§ 4. Монтаж и эксплуатация сепараторов для обогащения угля в тяжелых средах	85
§ 5. Монтаж и эксплуатация флотационных машин	93
§ 6. Монтаж и эксплуатация грохотов	97
§ 7. Монтаж и эксплуатация обезвоживающих элеваторов	117
§ 8. Монтаж скребковых конвейеров	121
Г л а в а IV. Смазка оборудования	124
§ 1. Классификация технических масел и их свойства	124
§ 2. Противозносные присадки к маслам	129
	283

§ 3. Гидродинамическая и граничная смазки. Виды трения в узлах машин	130
§ 4. Смазка зубчатых передач	131
§ 5. Смазка подшипников качения	135
§ 6. Смазка подшипников скольжения	139
§ 7. Смазка различных узлов машин	142
§ 8. Централизация смазки оборудования	142
§ 9. Вопросы организации смазки оборудования	146

Р а з д е л II

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ

Г л а в а V. Основные положения теории надежности	150
§ 1. Некоторые определения. Основные теоремы	150
§ 2. Дискретные случайные величины и законы их распределения	156
§ 3. Непрерывные случайные величины. Законы распределения непрерывных случайных величин	158
Г л а в а VI. Количественные характеристики надежности оборудования	166
§ 1. Показатели безотказности	167
§ 2. Показатели ремонтпригодности	171
§ 3. Показатели долговечности	177
§ 4. Комплексные показатели надежности	178
§ 5. Коэффициенты, характеризующие вынужденный простой оборудования	178
§ 6. Коэффициенты, учитывающие надежность устанавливаемых узлов	182
Г л а в а VII. Выбор номенклатуры показателей надежности и методы исследования корреляционных связей	185
§ 1. Оптимизация показателей надежности	186
§ 2. Корреляционная связь между признаками и ее статистическое изучение	195
§ 3. Исследование влияния основных свойств среды на надежность оборудования	212
Г л а в а VIII. Методы расчета эксплуатационной надежности углеобогательного оборудования	220
§ 1. Сбор данных для оценки эксплуатационной надежности	220
§ 2. Статистическая обработка результатов эксплуатационных наблюдений на надежность	221
§ 3. Определение объема испытаний	240
§ 4. Связь между надежностью отдельного узла и оборудования в целом	243
§ 5. Расчет среднего времени безотказной работы системы оборудования	247
Г л а в а IX. Повышение надежности оборудования	252
§ 1. Надежность основных узлов дисковых вакуум-фильтров	252
§ 2. Повышение конструктивной надежности дисковых вакуум-фильтров	257

§ 3. Повышение эксплуатационной надежности дисковых вакуум-фильтров	260
§ 4. Расчет системы обслуживания дисковых ва- куум-фильтров	260
§ 5. Расчет оптимального количества запасных элементов	267
§ 6. Резервирование технологического оборудова- ния углеобогащительных фабрик	270
§ 7. Экономическая модель резервирования обо- рудования	272
Список литературы	279

Анатолий Иванович Окопишников
Валерий Янцлавович Запсельский

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ ОБОРУДОВАНИЯ
НА УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ**

Редактор издательства Е. А. Макрушина
Переплет художника Б. Ю. Лисенкова
Художественный редактор О. Н. Зайцева
Технические редакторы О. Н. Ласточкина,
Н. В. Жидкова
Корректор И. Н. Таранева

Сдано в набор 29/XII 1975 г.
Подписано в печать 9/IV 1976 г. Т-07064.
Формат 60 x 90¹/₁₆. Бумага № 2. Печ. л. 18,0.
Уч.-изд. л. 20,06. Тираж 2600 экз.
Заказ 740/5026—11. Цена 1 р. 18 к.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12,
Третьяковский проезд, 1/19.

Ленинградская типография № 6
Союзполиграфпрома при Государственном
комитете Совета Министров СССР по делам
издательства, полиграфии и книжной торговли.
196006, Ленинград, Московский пр., 91.

Уважаемый товарищ!

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ПЕДРА»

ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ

НОВЫЕ КНИГИ

ГОРОБЕЦ В. И., ГОРОБЕЦ Л. Ж. Новое направление работ по измельчению. 18 л. с ил., 3000 экз., 2 р., в пер.

В книге рассмотрены физическая сущность и теория процесса струйного измельчения, методики выбора начальных параметров энергоносителя. Дан расчет оптимальных параметров и режимов работы струйных мельниц, приведены результаты исследования по разработке способов их автоматизации.

Книга предназначена для научных и инженерно-технических работников исследовательских и проектных организаций, эксплуатационников-обогащителей, а также может быть полезна студентам горных, горно-металлургических и строительных вузов.

КОНСТРУКЦИИ и расчеты фильтрующих центрифуг. 15 л. с ил., 2000 экз., 94 к., в пер. Авт.: Аспер В. И., Каминский В. С., Ключко Г. И. и др.

В книге изложены основы технологического и динамического расчета фильтрующих центрифуг, применяемых в угольной и других отраслях промышленности. Рассмотрены различные динамические схемы вибрационных и вибрационно-пульсирующих центрифуг и предложены методы их расчета. Приведена практика работы фильтрующих центрифуг различных типов, используемых для обезвоживания мелкого угля и продуктов обогащения.

Книга предназначена для инженерно-технических работников обогащительных фабрик, конструкторских и проектных организаций угольной и горнорудной промышленности.

КЛЕБАПОВ О. Б. Реагентное хозяйство обогащительных фабрик. 18 л. с ил., 3000 экз., 1 р. 19 к., в пер.

В книге обобщен опыт организации и эксплуатации реагентных хозяйств на передовых обогащительных фабриках цветной металлургии. Приведены краткая характеристика реагентов, данные о работе оборудования, методика расчета и определения концентраций растворов реагентов, контроль качества реагентов и учет расхода их, техника безопасности при работе с реагентами.

Книга предназначена для инженерно-технических работников обогащительных фабрик, а также может быть полезна как пособие при повышении квалификации рабочих.

МАТВЕЕНКО Н. В. Ценная сепарация полезных ископаемых. 7 л. с ил., 2000 экз., 37 к.

В книге обобщены работы по исследованию и промышленному освоению метода пенной сепарации, позволившему снизить расход электроэнергии, капитальные вложения и приведенные затраты при обогащении различных крупновкрапленных руд по сравнению с обычной флотацией. Изложена теория взаимодействия кашиллярных и инерционных сил, на основе которой можно рассчитать флотационные характеристики минералов и оптимальные условия образования флотационных комплексов. Описаны работы по конструированию нового аппарата для пенной сепарации и освоению новой технологии при обогащении калийных и марганцевых руд. Приведены примеры испытаний пенной сепарации золотосодержащих руд, каменных углей, минералов титана и олова из морских песков и показаны перспективы применения этого процесса в сочетании с флотацией для повышения извлечения крупных минеральных зерен из руд цветных металлов.

Книга предназначена для инженерно-технических работников обогатительных фабрик, проектных и научно-исследовательских институтов.

СВЯТЕЦ Н. Е., АГРОСКИН А. А. Бурые угли как технологическое сырье. 15 л. с ил., 2500 экз., 94 к., в пер.

В книге рассмотрены различные промышленно-генетические классификации бурых углей, приведены их физико-химические характеристики и петрографический состав, а также данные о химической переработке, полукоксувании и коксовании. Практика брикетирования без связующих добавок увязана с современными теоретическими представлениями по брикетированию бурых углей. Освещены вопросы комплексного использования бурых углей.

Книга предназначена для инженерно-технических работников угольных предприятий и может быть полезна студентам горных и химико-технологических вузов.

Интересующие Вас книги Вы можете приобрести в местных книжных магазинах, распространяющих научно-техническую литературу, или заказать через отдел «книга — почтой» магазинов:

№ 17 — 199178. Ленинград, В. О., Средний проспект, 61

№ 59 — 127412. Москва, П-412, Коровинское шоссе, 20

Издательство «Недра»

1p. 13k.