

1st International Conference - Reliability and Durability
of Machines and Machinery Systems in Mining
1986 JUNE 16-18 SZCZYRK, POLAND

Евгений Иванович БОГДАНОВ
Анатолий Демьянович ВЕРХОТУРОВ
Анатолий Васильевич ЖУКОВ
Ирина Александровна ПОДЧЕРНЯЕВА

Институт горного дела ДВНЦ АН СССР
Хабаровск, СССР

СИСТЕМНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГОРНОТРАНСПОРТНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ НА СТАДИЯХ СОЗДАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

Резюме. В докладе рассмотрены проблемы совершенствования конструктивных и надёжностных параметров горнотранспортного оборудования с целью повышения эффективности его работы. Для этого разработаны: система сбора статистической информации, составлены классификаторы и тезаурусы отказов и пристое машин; методология планирования, организации и проведения полигонных и стендовых испытаний на надёжность новых образцов и подсистем оборудования с использованием математической теории эксперимента: принятия гипотез, концепции рандомизации и т.д.: - программно-математическое обеспечение автоматизированной системы обработки статистической оперативной и экспериментальной информации на базе ЕС ЗВМ,
- алгоритм и программа оптимизации норм расхода и номенклатуры запасных частей,
- модель системы автоматизированного контроля работоспособности и поиска неисправностей,
- модель исследования долговечности и установления экономически целесообразных сроков службы оборудования.

На основании проведенных исследований выявлены элементы подсистемы лимитирующие надёжность горнотранспортных машин, а также предложены методы повышения их долговечности: электроискровое упрочнение, пластичное напыление, методы порошковой металлургии. Использование этих методов позволило в 2-3 раза увеличить срок службы отдельных быстроизнашивающихся деталей.

1. ВВЕДЕНИЕ

Отдел горного материаловедения и надежности горных машин Института горного дела ДВНЦ АН СССР ведет исследование в двух главных направлениях. Первое состоит в разработке методологии системноцелевого обеспечения надежности горного и обогатительного оборудования на стадиях его проектирования, изготовления и эксплуатации, а также программно-математического обеспечения

АСУ обработки информации и алгоритмам оптимизации расхода и номенклатуры запасных частей в процессе ремонтного обслуживания. Второе направление состоит в создании методами порошковой металлургии высокопрочных износостойких покрытий и разработке эффективных технологий их нанесения на рабочие поверхности деталей. Оба направления имеют особо важное значение для горнодобывающей промышленности Дальневосточного региона, где горное и обогатительное оборудование подвержено особо сильному воздействию природно-климатических факторов и работает в особо тяжелых горногеологических условиях. Ниже излагаются некоторые результаты исследований по обеим направлениям.

2. МЕТОДОЛОГИЯ СИСТЕМНО-ЦЕЛЕВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АСУ РЕМОНТНЫМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ

В Институте разработана методология системно-целевого обеспечения надежности горной техники, выполнен ряд теоретических и экспериментальных исследований. Содержание методологии системно-целевого обеспечения надежности показано на рис. 1. В структурном содержании методологии выделены следующие этапы:

- определительные исследования надежности горнотранспортного оборудования (систематизация факторов и воздействий, анализ причин низкой надежности и т.д.);
- определение функциональных подсистем банка данных (определение математических моделей, уровня надежности и т.п.);
- разработка практических рекомендаций по повышению надежности и совершенствованию конструкций на стадиях проектирования и изготовления (систем автоматизированного контроля работоспособности, методов диагностирования норм надежности; планов и программ лабораторных и полигонных испытаний, внесение дополнений и изменений в техническую и проектно-конструкторскую документацию и т.д.);
- оценка и контроль качества выпускаемой продукции (методы и средства);
- алгоритмы и программы оптимизации эксплуатационных параметров горнотранспортных машин и производственно-технических систем;
- технико-экономическое обоснование области применения машин и установок в нормальном, северном, взрывобезопасном и другом исполнении.

На рис. 2 приведена структурная схема организации информационного обеспечения исследования надежности горнотранспортного оборудования с использованием для систематизации и обработки данных ЭВМ. В схеме основное внимание уделено методике сбора и обработки информации на ЭВМ, организации сбора, планам и программам наблюдений, обработке первичных данных посредством тезаурусов и классификаторов отказов, способам замера режимов работы оборудования, форматированию информационных массивов данных в соответствии с отличительными признаками, созданию алгоритмов и программ для решения задач на ЭВМ.

Информация, представленная на структурных схемах рис. 1 и 2, определяет комплекс, основных по нашему мнению, вопросов, которые должны рассматриваться при реализации программы системно-целевого обеспечения надежности горнотранспортного оборудования в процессе его изготовления и эксплуатации в региональных условиях Севера и Дальнего Востока. Следует сразу же отметить, что к настоящему моменту далеко не весь круг задач, рассмотренных на рис. 1, решен на требуемом теоретическом и практическом уровне, т.к. на ранних этапах исследования перед авторами доклада ставилась задача изучения надежности не только горных машин, но и в частности, крановых конструкций, и программа исследований определялась при этом отраслевыми потребностями. Поэтому часть разработанной методологии реализована при исследовании надежности изделий подъемно-транспортного машиностроения и горнотранспортного оборудования на угольных предприятиях дальнего Востока. Полностью весь комплекс задач по системно-целевому обеспечению надежности горнотранспортного оборудования включен в долгосрочные программы НИР (до 2000 г.) отдела горного материаловедения и надежности горных машин Института горного дела ДВНЦ АН СССР.

Хотелось бы несколько подробнее отметить те вопросы, которые уже получили определенную завершенность. Разработана система сбора, накопления и передачи информации в ВЦ производственных объединений об эксплуатационных параметрах и надежности горнотранспортного оборудования.

Определены следующие основные задачи при сборе и последующей обработке информации:

- расчет параметров надежности отдельных подсистем и оборудования в целом;
- установление статистических закономерностей потоков, отказов и восстановлений, а также законов распределения ресурсов;
- выявление элементов изделия, лимитирующих его надежность;
- выявление характера и причин повреждений;
- накопление сведений, необходимых для совершенствования системы планово-предупредительных ремонтов, технического обслуживания и установление оптимальных норм расхода запасных частей;
- выявление особенностей эксплуатации техники, влияющих на надежность;
- организация централизованной обработки информации о надежности изделий горного машиностроения в отраслевых информационно-вычислительных центрах и ИВЦ производственных объединений с целью установления эффективной обратной связи между разработчиками, изготовителями и потребителями изделий.

При определении минимального числа объектов наблюдений использовались параметрические и непараметрические методы.

Оценка надежности горнотранспортного оборудования производилась с помощью различных элементов параметрической информации об отказах отдельных элементов. Использовались следующие источники получения информации: ремонтная и техническая документация, паспорта или формуляры изделий; результаты письменных и устных опросов обслуживающего персонала; отчеты по результатам обследования мест эксплуатации оборудования; хронометражные наблюдения, жур-

нали технического обслуживания, бухгалтерская и нормативная документация; отчеты по стендовым, полигонным испытаниям на надежность и долговечность отдельных элементов и конструкции в целом.

В целях ускорения централизованной обработки больших объемов статистической информации, повышения точности и достоверности результатов, исходные данные представлялись в виде, удобном для обработки на ЭВМ. Принятая последовательность обработки систематической информации представлена на рис. 3.

За числовое значение показателя надежности принималась точечная оценка или доверительные границы интервала, который с заданной доверительной вероятностью покрывает истинное значение показателей. При этом использовался метод максимального правдоподобия в зависимости от плана наблюдений в условиях эксплуатации.

Для принятых в исследованиях планов наблюдений точечные оценки показателей надежности определялись в соответствии с ГОСТ 27503-81 следующим образом: для законов распределения экспоненциального и Вейбулла - методом максимального правдоподобия; для других законов распределения - методом моментов, квантилей и т.п.

Статистическая обработка информации и надежности изделий горнотранспортного оборудования производилась на ЕС ЭВМ с помощью алгоритмического языка ФОРТРАН. Разработанные блок-схемы и программы статистической обработки информации позволяют на основе полученных параметров эмпирического распределения определять параметры теоретического распределения со следующими гипотезами о виде распределения: экспоненциального, Вейбулла, нормального, логарифмически-нормального, гамма-распределения, Релея, Эрланга, Максвелла.

Одним из существенных путей повышения эффективности использования и надежности горнотранспортного оборудования является своевременное обеспечение их запасными частями. Расчет запасного комплекта элементов производится на основе статистической информации о надежности элементов машин. В теории надежности известен метод расчета запасного комплекта, основанный на обеспечении заданной вероятности того, что число запасных элементов будет не меньше числа отказов.

$$P_k = P \left[N_1(t_1) + N_2(t_2) + \dots + N_n(t_n) \right] \leq \alpha$$

где:

$N_1(t_1)$, $N_2(t_2)$ и т.д. - число произведенных замен или (то же самое)
число запасных элементов определенного типа;
 α - вероятность бесперебойного функционирования
системы.

Для пуссоновского распределения наработка элементов, которое имеет место в технических устройствах, при суммировании элементарных потоков наработок с различными распределениями, т.е. когда в машине число одноименных деталей $2p > 1$, эта вероятность имеет вид:

$$P_1(n_1) = \sum_{j=0}^{j=n_1} \frac{n_1^j}{j!} \exp(-n_{cp}), \quad j = 0; 1; 2; \dots; n_1$$

где:

$$n_{cp} = Z_1 t_3 / T_{p,cp,j}$$

t_3 - наработка изделия, на которую рассчитывается комплект;

$T_{p,cp,j}$ - ресурс j -ой детали;

Z_1 - число однотипичных деталей в 1-ой подсистеме.

Нами разработана методика расчета запасных частей, при которой расчет количества запасных частей производится на основе данных о режиме работы горнотранспортного оборудования, а наработка элементов и их восстановляемости с применением методов теории вероятностей и математической статистики. Степень сложности расчетов зависит от требуемой точности конечных результатов и имеющегося объема количественных показателей надежности.

Расчет количества запасных частей, у которых показатели наработки имеют дискретную форму, рекомендуется производить по формуле:

$$N_{з.ч.} = T_g \cdot m / \bar{t}(\tau+1), \quad \text{шт/год},$$

где:

T_g - машинное время работы оборудования в год, ч;

m - число одноименных элементов на машине;

\bar{t} - наработка на отказ данного элемента, ч; принимается из нормативно-технической документации или определяется по статистической информации;

τ - число восстановлений элемента в год.

Расчет количества запасных частей, для которых показатели наработки могут быть заданы в виде функциональных зависимостей, производится по следующей методике:

Если наработка на отказ имеет экспоненциальное распределение $r(x) = e^{-x} - \exp(-\lambda x)$, то согласно рекомендациям ГОСТ 27.503-81 и ГОСТ 27.502-83 точечные оценки параметра имеют вид:

для плана проведения наблюдений $[N, R, T]$:

$$\lambda = \bar{\tau} / NT$$

где

$\bar{\tau}$ - число отказов элемента за время наблюдений; $T = T_g$ - машинное время работы оборудования за год, ч;

для плана проведения наблюдений $[N, R, \tau_T]$

$$\lambda = \tau_T - 1/N \cdot t_{\eta}$$

где

t_{η} — наработка элемента до получения τ_T отказов.

Наработка на отказ элемента при экспоненциальном распределении

$$t = - \frac{1}{\lambda} \ln(1 - P)$$

где P — вероятность отказа элемента за год:

$$P = 1 - \exp(-\lambda T_g)$$

Наработка на отказ \bar{t} в формуле для расчета количества запасных частей:

$$t = \begin{cases} t_0 - \text{дискретный параметр } (R_{\text{код}} = -I\Phi); \\ - \frac{1}{\lambda} \ln(1-P); \lambda = \bar{t}/N \cdot T; (R_{\text{код}} = \Phi); \\ \lambda = \tau_T - 1/N \cdot t_{\eta}; \quad (R_{\text{код}} = I\Phi), \end{cases}$$

где

$R_{\text{код}}$ — параметр, определяющий расчетную формулу в зависимости от вида \bar{t} и λ .

Из-за ограниченности объема статьи, не представляется возможным подробно описать выполненные нами разработки в области надежности различных видов оборудования. Хотелось бы только подчеркнуть, что разработанная модель расчета экономически целесообразной долговечности работы горнотранспортного оборудования реализована на двух уровнях.

- о учетом параметров надежности отдельных подсистем, интенсивности эксплуатации, динамики физического износа и с применением традиционных методов ремонта и технического обслуживания;
- второй уровень с учетом вышеуказанных факторов и с применением современных технологий упрочнения и восстановления деталей и их элементов.

3. СОЗДАНИЕ ПОКРЫТИЙ ПОВЫШЕННОЙ АДГЕЗИОННОЙ И КОГЕЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ

Важнейшим способом упрочнения горных машин, а так же обогатительного оборудования, подверженного интенсивному гидроабразивному воздействию, является нанесение на их поверхности износостойких и высокопрочных покрытий. Ниже излагаются некоторые результаты экспериментальных работ в области

покрытий, проводившихся последнее время в Институте горного дела ДВНЦ АН СССР.

Анализ работы быстроизнашивавшихся деталей горного оборудования показал, что основными требованиями, предъявляемыми к их поверхностям, являются высокая твердость, износостойкость, прочность сцепления материала покрытия и основы. В то же время методы нанесения покрытий, используемые для повышения надежности и долговечности горных машин в условиях дальневосточного региона, должны удовлетворять следующим условиям: простота и возможность осуществления процесса не только упрочнения, но и восстановления, высокая экономическая эффективность процессов в условиях индивидуального и мелкосерийного производства.

В связи с этим использовались методы электроискрового легирования, электродуговой наплавки, электрошлаковой наплавки и плазменного напыления, позволяющие упрочнять и восстанавливать практически всю выявленную номенклатуру быстроизнашивавшихся деталей. В качестве материала покрытия использовались тугоплавкие соединения, либо железоникелевые сплавы с тугоплавкими добавками.

Главная задача создания покрытий для деталей горных машин – это разработка покрытий повышенной адгезионной и когезионной стойкости. Она решалась по двум направлениям – разработка новых композиционных материалов для покрытий и создание оптимальной структуры покрытий. Изучалось влияние оптимальной структуры покрытия на его износостойкость, прочность сцепления с основой и сцепление в условиях интенсивного изнашивания и воздействия механических нагрузок на материал детали.

Влияние макрогоеометрии покрытия на его износостойкость установлена на основе анализа адгезионной и когезионной прочности по методике, разработанной в Институте проблем прочности АН УССР. Существует корреляционная связь между напряжениями, возникающими в сплошном покрытии в процессе нанесения, и его толщиной. При определенной критической толщине покрытия внутренние напряжения настолько снижают прочность сцепления покрытия с основой, что может произойти самоотслоение.

Исходя из фактографического исследования поверхности сплошного хрупкого покрытия после воздействия на основу напряжений, превышающих предел прочности ее материала, и анализа деформационного состояния установлены основные условия конструирования упрочняющего покрытия с оптимальной когезионной и адгезионной прочностью для деталей, работающих в условиях механических нагрузок:

- 1) покрытие должно быть "островковым" с плавно очерченной формой;
- 2) размер "островкового" покрытия должен выполняться исходя из критического размера "a":

$$a = \ln 10 / K; \quad K = \sqrt{2tL(1/E_n F_n + 2/F_o E_o)},$$

где

- a - ширина островка;
- t - ширина покрытия;
- L - коэффициент;
- F_o, P_o - поперечное сечение основы и покрытия;
- E_o, E_n - модули упругости основы и покрытия.

В этом аспекте представляет интерес направление конструирования несплошных островковых износостойких покрытий, сочетающих пластическую основу и высокопрочные твердые островковые включения.

Такие покрытия создавались при электроискровом легировании алюминиевых сплавов АЛ-25, АК4М с электродными материалами на основе меди с тугоплавкими соединениями наносились "островки" со средним шагом 2-3 мм, высотой 0,5-1 мм. Для уменьшения шероховатости, придания точных геометрических размеров и для повышения плотности и твердости покрытия проводили "вкатывание" островка в поверхностные слои алюминиевых сплавов так, что высота "островков" уменьшилась от 0,3 до 0,5 мм.

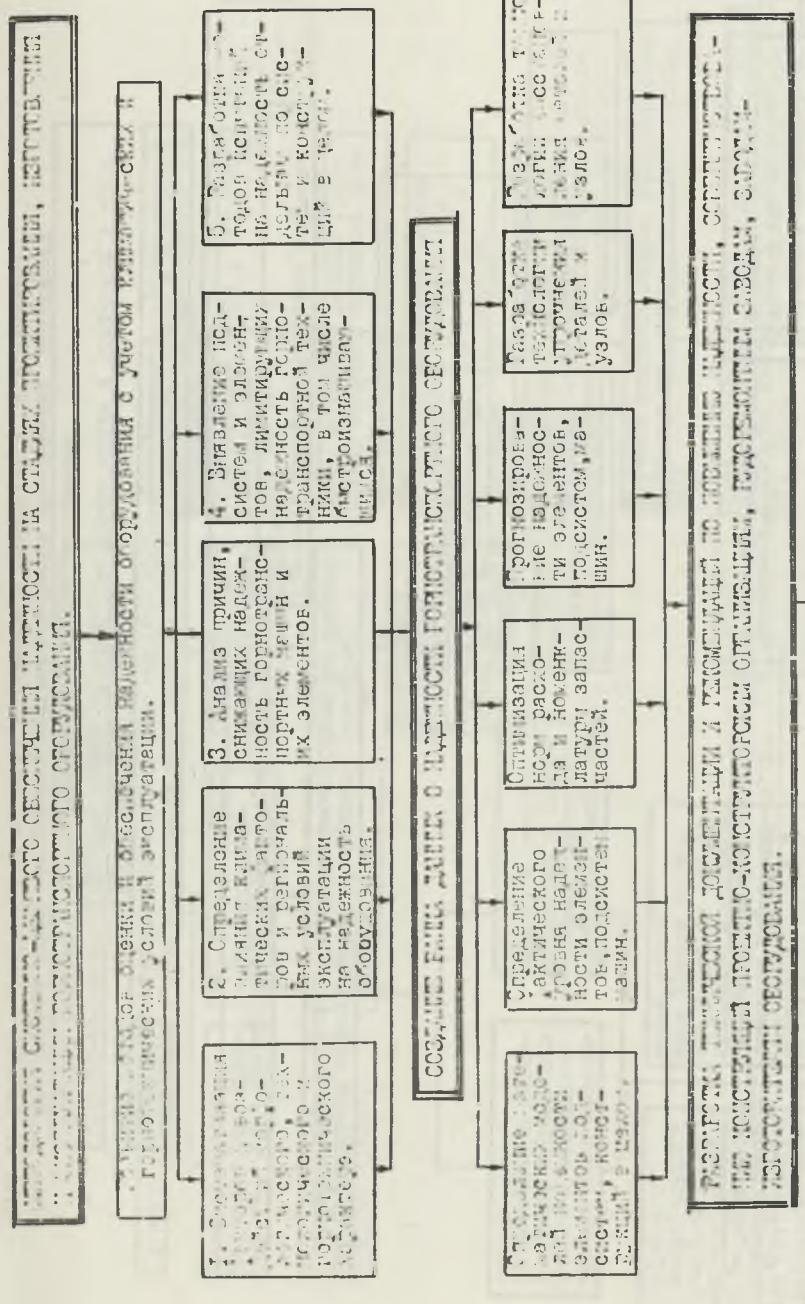
Предварительные лабораторные и производственные испытания алюминиевых поршней показали высокую адгезионную и когезионную прочность покрытий, позволяющих увеличить срок службы деталей в 2-3 раза.

Эта проблема приобретает особое значение для горной промышленности Северо-Востока СССР, где главной горнодобывающей машиной являются бульдозеры на базе дизельных тракторов высокой единичной мощности; специальную проблему представляет собой задача капитального ремонта дизелей, в том числе их поршневой группы.

Таким образом, "островковые" покрытия могут успешно применяться для упрочнения алюминиевых поршней с целью повышения их износостойкости. Такого рода покрытия целесообразно использовать и для упрочнения других материалов с последующей обработкой легированной поверхности. В этом случае возможна обработка поверхности резанием, пластическим деформированием, заполнением углубления между "островками" легкоплавкими материалами или графитом, а также другими методами упрочнения (плазменным напылением, осаждением из газовой фазы и др.).

Recenzent: Prof. dr inż. Włodzimierz SIKORA

Wpłynęło do Redakcji: luty 1986 r.



Т. О. Іон

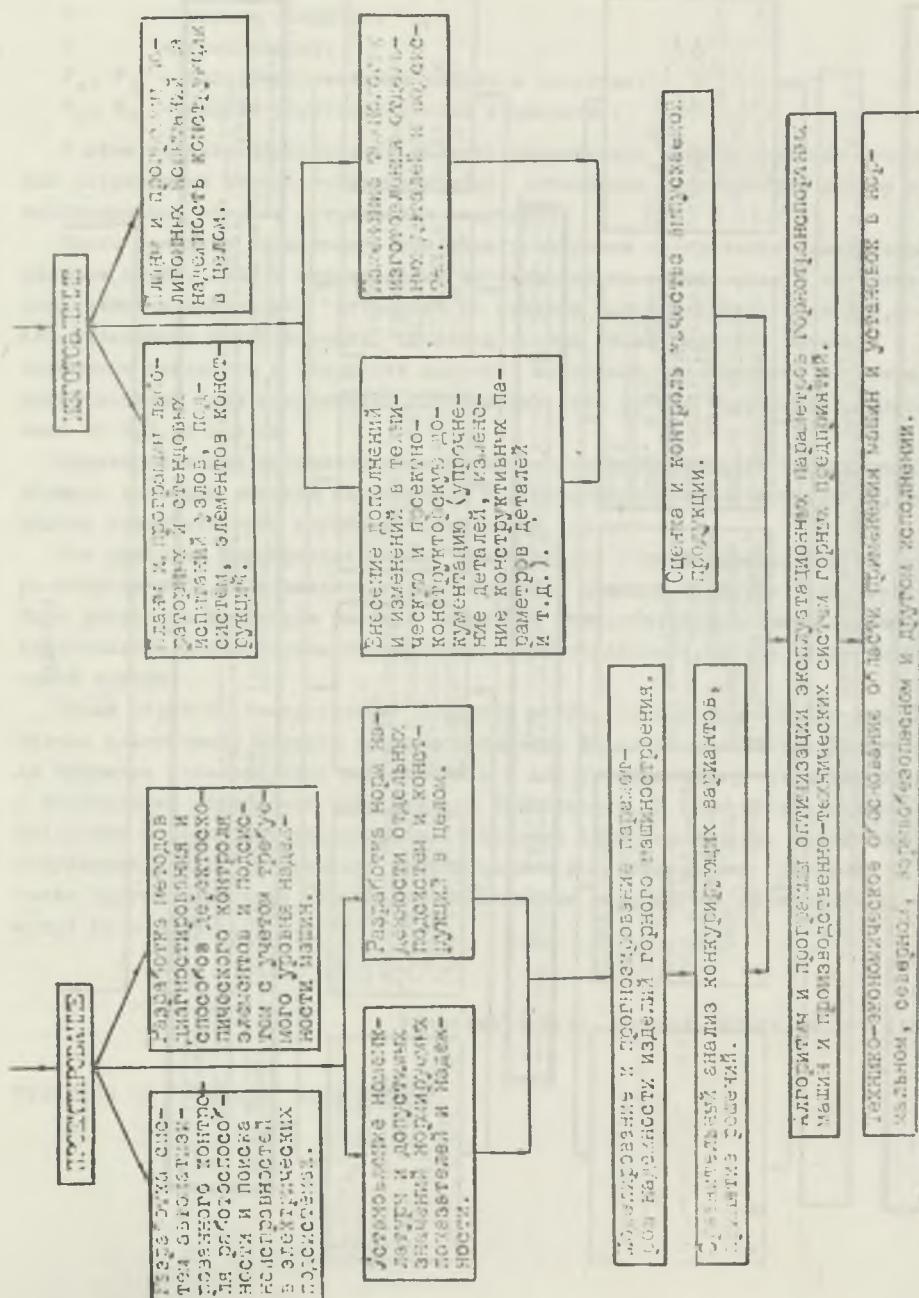


Рис. 1. Схематичное изображение структуры методики системового заполнения изображений

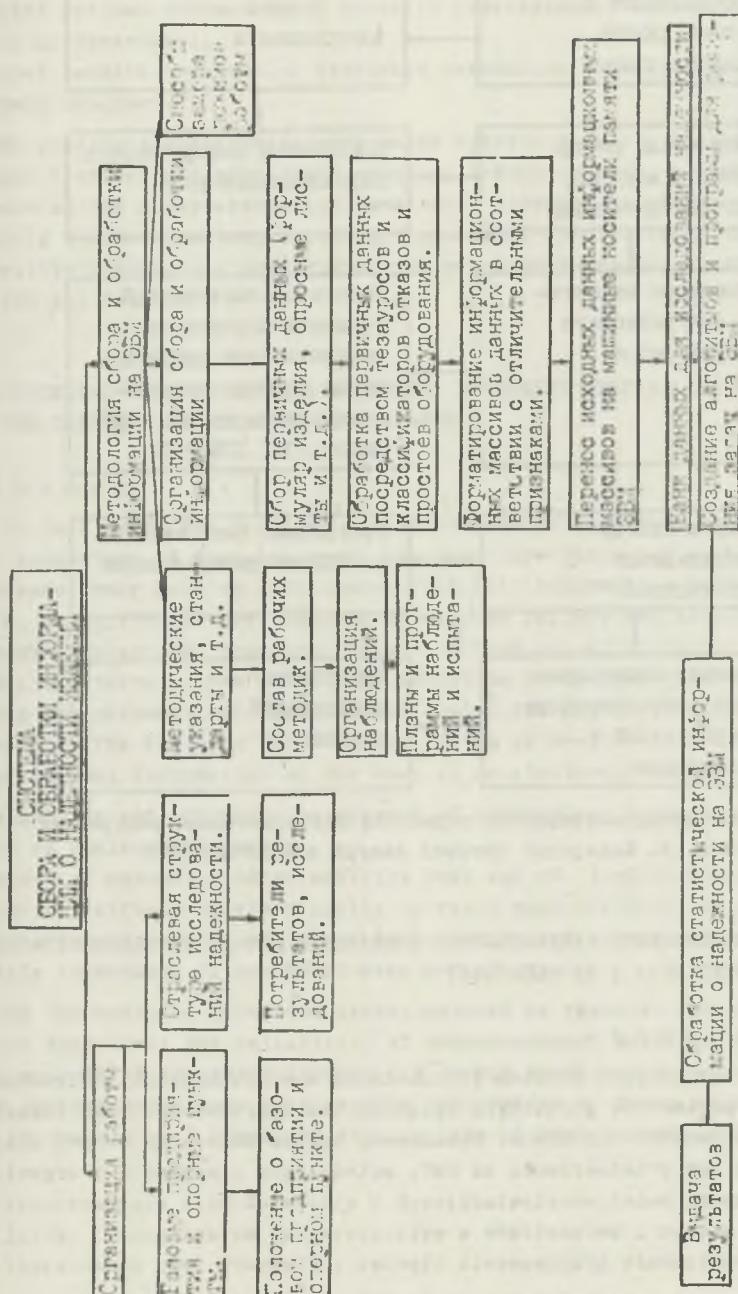


Рис. 2. Структурная схема организации информационного обеспечения исследований надежности

Rys. 2. Schemat strukturalny organizacji informacyjnej do zabezpieczenia badan piezawodnosci

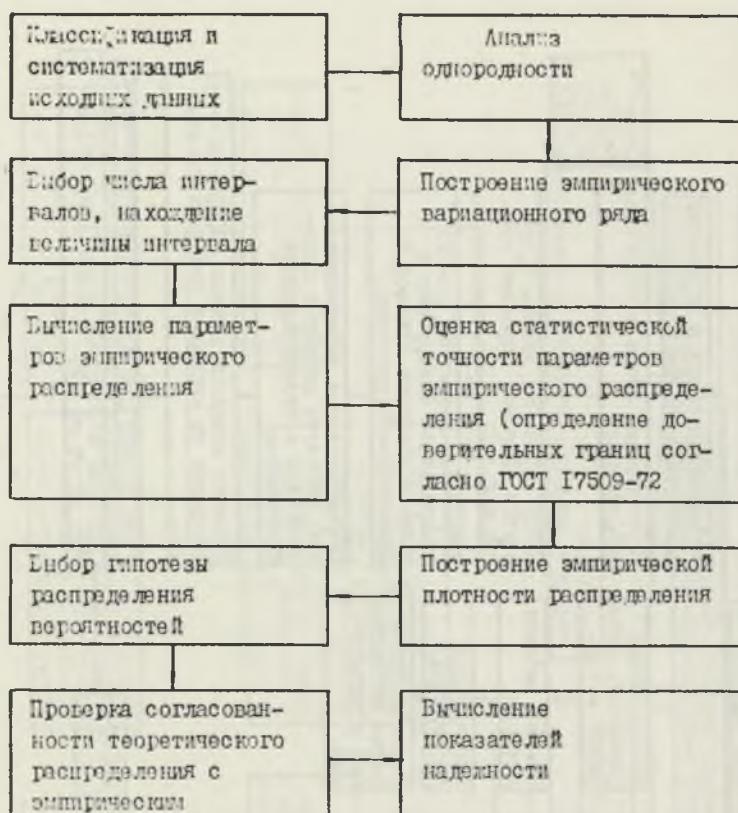


Рис. 3. Последовательность обработки статистической информации
Rys. 3. Kolejność obróbki danych statystycznych

SYSTEMOWE ZAPEWNIENIE NIEZAWODNOŚCI GÓRNICZYCH URZĄDZEŃ TRANSPORTOWYCH NA ETAPIE WYKONANIA I EKSPLOATACJI

S t r e s z c z e n i e

W pracy rozpatrzoneo problem doskonalenia konstrukcyjnych i niezawodnościowych parametrów górnictwych urządzeń transportowych w celu podwyższenia efektywności ich pracy. Opracowano system zbierania danych statystycznych i ich przetwarzania na EMC, metodologię planowania i organizacji prowadzenia badań eksploatacyjnych i stanowiskowych niezawodności nowych typów maszyn i mechanizmów z wykorzystaniem matematycznej teorii eksperymentu (zasady przyjmowania hipotez). W ramach tego opracowano: - oprogramowanie zautomatyzowanego systemu przetwarzania informacji,

- algorytm i program optymalizacji norm zużycia części zamiennych,
- model systemu automatycznej kontroli prawidłowości działania i wykrywania niesprawności,
- model badania trwałości i ustalania ekonomicznie uzasadnionych czasów pracy urządzeń.

Na podstawie przeprowadzonych badań wykryto elementy podsystemów obniżające niezawodność górniczych urządzeń transportowych, a także zaproponowano metody podwyższenia ich trwałości: utwardzanie elektroiskorwe, napylanie plazmowe, metody metalurgii proszków. Wykorzystanie tych metod pozwoliło 2-3-krotnie przedłużyć czas pracy poszczególnych szybko zużywających się detali.

A SYSTEMATIC CONTROL OF MINE-TRANSPORT EQUIPMENT RELIABILITY ON THE CREATION AND EXPLOITATION STAGES

S u m m a r y

In this paper the problems of improvement of constructional and reliable parameters of mine-transport equipment are discussed with the view to increase their working efficiency. Statistic information collection system, classifikiers and tesaurus of machine failure and downtime; methodology of planning, organization and carrying out of field and stand reliability tests of new parts and subsystems of equipment are described using the mathematical experimental theory the principle of hypotheses adoption. The software of automatic system of on-line data processing and experimental information on the base of an electronic computer:

- algorithm and optimization program of consumption norms and nomenclature of replacement parts;
- model of automatic serviceability test and of finding a fault in a control circuit of electrically operated mine-transport machines;
- investigation model of operating longevity and economically expedient life expectancy of equipment were worked out.

On the basis of conducted investigations we revealed subsystem elements that limit the reliability of mine-transport machines, and proposed the methods of longevity increase: electric spark hardening, plasma spraying, powder metallurgy methods. The application of these methods allowed to increase 2 or 3 times the working life of some quickly weared parts.