

ГОСУДАРСТВЕННАЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ
УКРАИНЫ

На правах рукописи

СЕДУИ ВИКТОР ЯКОВЛЕВИЧ

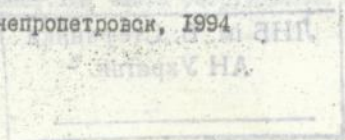
ОБОБЩЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ С ЦЕЛЬЮ РАЗРАБОТКИ НАУЧНОЙ
БАЗЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОТКАЗНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ

Специальность 05.04.04 – Машины и агрегаты металлургического
производства

А н н о т а ц и я

диссертации в форме научного доклада на
соискание ученой степени доктора технических
наук

Днепропетровск, 1994





ДВ 30.750

Диссертация является научным докладом

Работа выполнена в Донецком государственном техническом университете

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОПОНЕНТЫ:

- доктор технических наук, профессор БОЛЫШАКОВ В.И.,
- доктор технических наук, профессор ГОРДИЕНКО А.В.,
- доктор технических наук, профессор ПЛАХТИН В.Д.

Ведущее предприятие - Институт НИИЧерметмеханизация, г. Днепропетровск.

Защита состоится " 21 " июня 1994 г., в 12 часов на заседании специализированного совета Д.068.02.02 при Государственной металлургической академии Украины по адресу 320635, Днепропетровск, проспект Гагарина, дом № 4, С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке академии.

Автореферат разослан " 11 " мая 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
профессор, доктор технических
наук

 В.К. Цапко

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

I. ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

I.1. Актуальность работы

В черной металлургии используются уникальные металлургические машины. Задачи их эксплуатации не могут быть решены путем применения известных методик из общего машиностроения из-за жестких требований по безотказности, экстремальных условий нагружения, длительного срока службы, значительных масс, размеров и мощностей. В основу эксплуатации металлургического оборудования положена система планово-предупредительных ремонтов (ППР), которая должна, по замыслу авторов, обеспечивать предупреждение преждевременного выхода из строя машин и механизмов. Однако в настоящее время аварийность на металлургических заводах остается высокой. За последние 20-25 лет количество аварий не уменьшается и потери готовой продукции в прокатных цехах Украины в 1989-91 гг. составляли около 1 млн. т в год.

В работе впервые выполнен анализ системы ППР, в результате которого установлены ее принципиальные недостатки:

1) принятый в качестве базового показателя срок службы T определяется как средняя арифметическая величина периодов между ремонтами или заменами деталей. Это константа. Таким образом срок службы не является функцией времени и не соответствует условиям эксплуатации. Использование срока службы для расчета запасных частей приводит к дефициту их на складах, т.к. в статистической совокупности данных, необходимые для вычисления T обязательно будут детали периоды между заменами или ремонтами которых меньше T . При использовании значений T для проектирования графиков ремонтов оборудования это обстоятельство неизбежно вызовет аварийные остановки, той части оборудования цеха, для кото-

рой Т больше периодов между их заменами или ремонтами;

2) второй принципиальный недостаток действующей в черной металлургии системы ППР заключается в несовершенстве методики ведения первичных технических документов - агрегатных журналов и журналов приемки и сдачи смены, данные которых должны использоваться для расчета сроков службы. Регистрация результатов технического обслуживания оборудования ведется на бумажных носителях группой работников в произвольной повествовательной форме. Поэтому записи одного и того же явления (отказа или выполненной работы), сделанные разными работниками механической службы цеха, имеют разный объем информации. Они не являются идентичными. Такие записи трудно обрабатывать вручную для получения статистической совокупности периодов между ремонтами или заменами деталей и невозможно использовать для этих целей ЭВМ.

Установленные два принципиальных недостатка системы ППР позволяют сделать общий вывод: аварийность металлургического оборудования "заложена" в системе ППР. Поэтому разработки новых теоретических принципов управления безотказностью металлургических машин и агрегатов на стадии эксплуатации, новых систем технического обслуживания являются актуальными. Кроме этого, научно-технический прогресс в сфере материального производства (в том числе и в черной металлургии) тесно связан с подготовкой инженерных кадров. Особая роль в создании новых металлургических машин, повышении безотказности действующего оборудования принадлежит инженерам, оканчивающим институты по специальности "Металлургические машины и оборудование", теоретический и практический уровень подготовки которых во многом зависит от средств обучения и в первую очередь от учебной литературы. Учебник раскрывает научное содержание дисциплины, ее теоретические основы и методо-

логический аппарат, стимулирует интерес студента к работе с научными источниками, способствует его творческому становлению.

В научном докладе обобщены результаты выполненных автором и под его руководством ряда научных и научно-методических работ, которые позволяют значительно уменьшить аварийность металлургических машин и существенно повысить качество подготовки инженерных кадров для их эксплуатации.

1.2. Цель работы заключается в изучении закономерностей отказов металлургических машин, созда и на этой основе статистических моделей, используемых для разработки принципов управления безотказностью оборудования в условиях эксплуатации, разработке новой системы технического обслуживания взамен системы ПТР, в создании учебной литературы для повышения качества подготовки инженерных кадров механических служб металлургических предприятий.

Решение этих задач позволяет повысить выпуск готовой продукции за счет выявления дефектов и повреждений в машинах на ранних стадиях их развития.

Достижение этих целей стало возможным благодаря опубликованным трудам В.М.Гребеника, В.И.Большакова, А.В.Гордиенко, В.К.Цапко, В.Д.Плахина, Б.В.Гнеденко, Б.И.Костецкого, В.Ф.Федорова, Г.А.Бобровникова, И.А.Биргера, П.К.Гедьк и других ученых.

1.3. Научная новизна работы по обобщению теоретических и экспериментальных исследований, выполненных автором или под его руководством заключается в следующем.

1. Установлено, что отказы механического оборудования доменных, сталеплавильных и прокатных цехов удовлетворительно описываются двухпараметрическим законом Вейбулла (критерий А.Н.Колмогорова $k(z)$ близок к нулю). На основе этого созданы надежные

статистические модели отказов металлургических машин и вместо базового показателя системы ШПР (срока службы) использованы для описания технического состояния оборудования показатели безотказности (вероятность безотказной работы, наработка на отказ, интенсивность отказов и др.). Эти показатели являются функциями времени и дают возможность прогнозировать техническое состояние машин и уменьшить количество аварийных отказов.

2. Впервые выполнен анализ действующей в черной металлургии системы ШПР. Показаны ее принципиальные недостатки, способствующие высокой аварийности металлургического оборудования. Создана новая система технического обслуживания, основанная на теории надежности, вычислительной техники и технической диагностике.

Созданы специальные методы для решения задач технического обслуживания оборудования: а) метод функционального цифрового кодирования и б) эвристический метод пошагового расчета суммарных трудоемкостей ремонтных работ с учетом приоритетности их проведения и показателей безотказности, на основе которых впервые разработаны компьютерные технологии проектирования графиков ремонтов металлургического оборудования.

3. Впервые создана система научных знаний по вопросам эксплуатации металлургического оборудования в виде учебника "Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин" для студентов вузов, обучающихся по специальности "Металлургические машины и оборудование". Учебник выдержал три издания, используется всеми кафедрами Украины и стран СНГ при подготовке инженеров этого профиля.

1.4. На защиту выносятся:

Г) совокупность научных результатов по исследованию закономерностей отказов металлургического оборудования и анализу дейст-

вушей в черной металлургии системы ШПР;

2) впервые разработанная система технического обслуживания металлургического оборудования, основанная на математической теории надежности, технической диагностике и ЭВМ;

3) впервые созданная система научных знаний по вопросам эксплуатации металлургического оборудования в виде учебника для студентов вузов "Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин" (3-е издание, 1992г.).

1.5. Практическое значение работы

На основе обобщения теоретических положений и полученных экспериментальных результатов установлено, что действующая в черной металлургии система ШПР не позволяет существенно уменьшить аварийные простои машин и агрегатов. Высокая аварийность металлургического оборудования органически присуща системе ШПР. Вынесенная на защиту новая система технического обслуживания позволяет свести аварии к минимуму и существенно уменьшить объемы ремонтных работ за счет следующих факторов:

1) использования для оценки технического состояния машин и агрегатов показателей безотказности, являющихся функциями времени, и позволяющими прогнозировать скорости износа и развитие механических повреждений или других дефектов оборудования;

2) использования компьютерных технологий для проектирования графиков ремонтов оборудования с учетом фактического технического состояния машин и агрегатов, показателей безотказности и приоритетности выполнения ремонтных работ;

3) использования средств технической диагностики, позволяющих исключить из практики технического обслуживания оборудования ревизии машин и механизмов, являющиеся очень трудоемкими и длительными;

4) повышения качества подготовки инженерных кадров механических служб металлургических предприятий.

1.6. Реализация результатов работы в промышленности и в учебном процессе вузов

Серия работ [4, 12-20] использована при разработке системы технического обслуживания металлургического оборудования для основных цехов Донецкого металлургического завода, доменного цеха меткомбината им. Дзержинского, слябинга меткомбината "Запорожсталь" и цехов Оскольского электрометаллургического комбината. Эти работы используются сотрудниками Магнитогорского горно-металлургического института, разрабатывающими аналогичную систему технического обслуживания для ЛМК, и сотрудниками Магдебургского технического университета, выполняющими аналогичные разработки для металлургических заводов Германии.

Результаты исследований автора, изложенные в трудах [9-17] использовались институтом ВНИИмехчермет и другими организациями при разработке отраслевой подсистемы "АСУ-ремонт".

Теоретические и экспериментальные результаты по исследованию энергосиловых параметров и показателей безотказности металлургических машин [5-14, 47-52] использованы при выполнении рабочих проектов пушек для забивки чугунных леток, рабочих рольгангов Енакиевского метзавода, манипуляторов блюминга Донецкого метзавода и др. действующего оборудования.

На основе работ [1-3, 40-45] Минметаллургией совместно с Минвузом Украины организована отраслевая научно-исследовательская лаборатория "Техническое обслуживание и диагностика металлургического оборудования", обеспечен выпуск комплекта переносных средств технической диагностики (приборы ИСП-1, ИИТ-1, ИВС-3, ИВС-4, ИТ-3), организована отраслевая школа по переподготовке инженерно-

технических работников механических служб и подготовке операторов-диагностов металлургического оборудования.

Учебник "Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин", представленный к защите, начиная с 1976 года использован в вузах Украины и отряа СМГ при подготовке свыше 15000 инженеров по специальности "Металлургические машины и оборудование" и используется в настоящее время.

1.7. Методы, использованные в работе для получения результатов

При выполнении работы использованы следующие методы: метод максимального правдоподобия при исследовании закономерностей отказов оборудования для получения количественных оценок параметров безотказности; метод вектора спада и метод последовательного анализа вариантов с применением функций предпочтения для проектирования графиков ремонтов и диагностик; теорию случайных процессов А.А.Маркова для анализа и совершенствования технического обслуживания металлургических машин; методы математической статистики и математического моделирования для описания законов отказов машин и механизмов; методы ударных импульсов и виброметрии при использовании средств технической диагностики для обнаружения дефектов и механических повреждений в машинах на ранних стадиях их развития.

1.8. Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Международном симпозиуме по динамике тяжелых машин горной и металлургической промышленности (г.Донецк, 1974г.), двух Международных коллоквиумах (г.Магдебург, 1979, 1984 г.), Всесоюзных конференциях по прочности металлургических машин, республиканских конференциях по повышению надежности и долговечности металлургического оборудования,

региональных конференциях по развитию ремонтного производства в условиях ускорения НТП и по модернизации и ремонту оборудования в условиях технического перевооружения предприятий (г. Челябинск, 1986, 1987 г.), республиканской научно-технической конференции "Пути повышения уровня ремонтпригодности машин, приборов и оборудования с целью снижения затрат на их техническое обслуживание и ремонт" (г. Одесса, 1987 г.), на научно-технических советах металлургических заводов, Минчермета Украины, на семинаре ВДНХ Украины.

Учебник "Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин" экспонировался на ВДНХ Украины.

I.9. Публикации. Основное содержание работы опубликовано в учебнике, монографии, 56 статьях и авторских свидетельствах.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Эксплуатация металлургического оборудования — это совокупность трех взаимосвязанных процессов: технологического, изнашивания и восстановления. Скорость изнашивания машин и механизмов зависит как от интенсивности технологических воздействий, так и от качества сборочных работ, режимов смазывания узлов трения, периодичности и полноты технического обслуживания. Качество процесса восстановления (техническое обслуживание и ремонты) определяются уровнем знаний о закономерностях отказов деталей, квалификацией персонала механических служб и характеристиками ремонтного производства.

Для повышения качества технического обслуживания и ремонтов разработаны вопросы классификации и основные требования, предъявляемые к монтажу элементов машин: базовых деталей, подшипников качения и скольжения, зубчатых зацеплений, валов, соединений с гарантированным натягом, резьбовых и шпоночных соединений.

Рассмотрены теоретические решения и технология сборки металлургических агрегатов: загрузочных устройств доменных печей, конвертеров, рабочих клетей, мостовых кранов. Разработана новая система технического обслуживания и ремонтов, основанная на математической теории надежности, технической диагностике и ЭВМ.

Механическая служба основных цехов металлургического завода рассматривается как совокупность объекта управления (машины и механизмы) и управляющего органа (штат механослужбы). Составные части этой совокупности связаны между собой каналами информации. По входным каналам управляющего органа поступает информация из внешней среды (например, планы) и производственная информация от объекта управления. Выходящая информация включает команды на техническое обслуживание и ремонт оборудования и отчетные данные во внешнюю среду.

Для выбора методов исследования таких систем рассмотрены характеристики эксплуатируемого оборудования. Выявлено, что почти все узлы машин и механизмов не снабжаются приборами технической диагностики. Поэтому обслуживающему персоналу известны только входные внешние факторы (материал, размер, условия предварительной заточки и др.). Внутренние связи (например, деформации под действием технологических нагрузок) остаются неизвестными. Таким образом, любая металлургическая машина, узел или деталь являются для эксплуатационного персонала "черным ящиком". Принцип "черного ящика" как метод исследования позволяет анализировать, сравнивать и выбирать наилучшие решения из ряда возможных путем изучения взаимосвязей между входными и выходными показателями оборудования без рассмотрения его внутренней структуры. Однако использовать для анализа технического обслуживания и ремонтов металлургического оборудования этот принцип в явном виде не представляется воз-

можным, так как эффективность эксплуатации машин и механизмов зависит не только от их характеристик. На уровень безотказности оборудования оказывают существенное влияние различные службы цеха и завода. Поэтому в качестве основного метода исследования принят принцип внешнего дополнения, который позволяет считать систему технического обслуживания и ремонтов цеха как обособленную ("черный ящик") и как элемент ремонтного производства предприятия.

Главными составными частями системы технического обслуживания и ремонтов металлургического оборудования являются информационное, математическое и организационное обеспечение.

Информационное обеспечение. Предложено информацию, циркулирующую в системе, разделить на два вида: 1) исходную, которая характеризует техническое состояние оборудования, и 2) управляющую, предназначенную для принятия решений, обеспечивающих работу оборудования в заданных режимах.

Исходная информация состоит из постоянной (классификаторы машин, узлов, деталей, видов и причин отказов, видов технического обслуживания и др.) и переменной (описания отказов). Классификатор машин представляет собой таблицу, в первом столбце которой записаны наименования всех машин цеха, а во втором — соответствующие коды. Обычно количество машин в цехе больше 100. Поэтому код машин принят трехзначный, начиная от 001 и далее в порядке возрастания по направлению технологического процесса.

Использовать принцип простого цифрового кодирования для разработки классификаторов узлов и деталей нельзя, так как количество узлов в цехе исчисляется тысячами, а деталей — десятками тысяч. Поэтому для проектирования таких классификаторов разработан функциональный принцип цифрового кодирования, который позволил создать коды, во-первых, максимально удобные для обслуживающего

персонала и, во-вторых, компактные для повышения степени использования ЭМ.

Результатом обработки исходной информации на ЭВМ являются два вида управляющей информации: оперативная, представляющая обобщенные данные об отказах оборудования за заданный отрезок времени, и перспективная (численные значения наработки на отказ, вероятности безотказной работы, интенсивности отказов и др.), используемая для прогнозирования режимов ремонтов и профилактик, подготовки проектов модернизации оборудования и организации научно-экспериментальных исследований.

Математическое обеспечение. Работа металлургических машин характеризуется нестационарными режимами. Поэтому успешное техническое обслуживание оборудования возможно, если известна статистическая модель отказов, которая является идеализацией реальных законов эксплуатации машин и механизмов. Результаты исследований показателей безотказности оборудования доменных, сталеплавильных и прокатных цехов позволили сделать вывод, что отказы такого оборудования удовлетворительно описываются двухпараметрическим законом Вейбулла, при котором плотность вероятности отказов $f(t)$, наработка на отказ T , ее верхняя T_B и нижняя T_H доверительные границы определяются уравнениями:

$$f(t) = \frac{\sigma}{a} \left(\frac{t}{a}\right)^{\sigma-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^\sigma\right];$$

$$T = a \int_0^\infty e^{-t^\sigma} t^\sigma dt;$$

$$T_B = \frac{2nT}{\chi_{(1-\alpha)}(2n)}; \quad T_H = \frac{2nT}{\chi_{\alpha}(2n)},$$

где: a, σ - параметры закона Вейбулла; $\chi(\alpha)$ - квантиль раб-

предела χ^2 , соответствующий доверительной вероятности α и числу степеней свободы $K = n - 3$; n - количество реализаций.

Этот закон принят в качестве статистической модели отказов металлургического оборудования. В соответствии с ним разработаны алгоритмы решений, формы технических документов, выбраны комплексы технических средств.

Информационные потоки, характеризующие отказы оборудования имеют ряд особенностей: 1) большие объемы информации (в одном основном цехе до 27000 символов в месяц); 2) большое разнообразие номенклатуры деталей, узлов и машин (свыше 50000 деталей в одном цехе); 3) разнообразие мест возникновения информации. Этим особенностям хорошо удовлетворяет следующая технология обработки данных об отказах: выход из строя оборудования регистрируется в журнале описания отказов в кодовой форме. Информация вводится в ЭВМ, а затем обобщенные данные передаются в цех для анализа и принятия решений по техническому обслуживанию или ремонту.

При выборе комплекса технических средств необходимо учитывать, что для накопления оперативной информации об отказах по одному цеху необходимо более 4 млн.байт, для хранения классификаторов машин, узлов и деталей - 1,5 млн.байт памяти. Кроме того, при решении задач технического обслуживания и ремонта необходим непосредственный доступ к информации, а большой объем вычислений требует высокой производительности центрального процессора ЭВМ. Поэтому для решения задач учета и анализа отказов рекомендуется выбирать ЭВМ типа ЕС или сети персональных ЭВМ.

Для выбора рациональных методов подготовки данных изучены структуры входных потоков.

Структура входного потока данных об отказах оборудования строго древовидная и состоит из трех уровней: уровень цеха 4 -

один раз на журнал описания отказов каждого цеха; уровень даты

Д - только при изменении даты в журнале описания отказов;
уровень отказа *О* - на каждую строку журнала, содержащую сведения об отказе.

Структуре входного потока справочника наименований, сохраняя черты дерева связей, не является строго древовидной. На уровне цеха *Ц* каждому элементу соответствует свой набор машин. На уровне машин *М* нескольким машинам может соответствовать один и тот же набор узлов (уровень *У*), а нескольким узлам - один и тот же набор деталей *Д*. Для подготовки входных данных такой структуры наиболее рациональным является метод иерархического описания с выделением заголовочных и подчиненных (детальных) строк.

Организация информации на внешних носителях ЭВМ выполнена с помощью файлов, а не банков данных (БД). Применение БД целесообразно тогда, когда требуется выборочная обработка информации по запросу. Например, в запросно-ответных системах, работающих в интерактивном режиме, или в информационно-поисковых системах. Система технического обслуживания металлургического оборудования имеет принципиально иной характер. Задачи решаются периодически при накоплении определенных объемов статистических данных. В периоды между двумя расчетами работников механических служб удовлетворяет предыдущий расчет.

Сущность файлового метода заключается в следующем. Оперативная, промежуточная и накопительная информация хранится в виде последовательных наборов данных. Справочник наименований формируется как индексно-последовательный набор данных. Каждый вид информации распределен по нескольким наборам, относящимся к данному цеху. Код цеха входит в имя набора в качестве двузначного суффикса. Распределение информации по цехам позволяет уменьшить объемы дан-

ных, одновременно функционирующих в системе, уменьшить затраты машинного времени на решение задач, повысить надежность эксплуатации системы. В случае необходимости можно объединить информацию всех цехов в одном файле или выполнить обработку исходных данных по запросу.

Для разработки программ, реализующих параллельную обработку записей нескольких файлов с подведением многоуровневых итогов по ряду ключевых реквизитов, применен типовой алгоритм, который является усовершенствованным алгоритмом нормированного программирования.

Разработаны правовые положения и схема взаимодействия подразделений предприятия, обеспечивающих заданный уровень безотказности оборудования. Чтобы получить существенный эффект (уменьшение аварийных отказов и увеличение производства) необходимо из большого объема оперативной информации выбрать наиболее надежные элементы оборудования. Для решения задачи вручную требуются значительные затраты времени. Поэтому использован метод решения таких задач на ЭВМ. Математическая постановка задачи сформулирована следующим образом. Имеется совокупность машин, узлов и деталей цеха, образующих множество A . Техническое состояние объектов характеризуется ранжированными показателями: X_1 - общее число отказов; X_2 - количество отказов, вызвавших простой цеха; X_3 - время простоя цеха; X_4 - время или трудоемкость восстановления и другие показатели $X_1 \dots X_m$. Необходимо из множества A выбрать подмножество B объектов, требующих принятия решения для повышения их безотказности.

Для решения задачи принят следующий статистический метод. Вначале производится сбор и обработка на ЭВМ информации об отказах всех объектов множества A . Затем вычисляются коэффициенты

весомости a_i и значимости k_i , составляющие обобщенные характеристики объектов

$$a_i = x_{ij} / x_{0i}; \quad k_i = \left(\sum_{j=1}^m z_{ij} \right) / m,$$

где x_{ij} - значение i -го показателя j -го объекта;
 x_{0i} - среднее арифметическое значение каждого показателя;
 m - число показателей;
 z_{ij} - сумма рангов каждого показателя безотказности.

Далее вычисляется обобщенная характеристика объекта

$$\beta_i = a_1 k_1 + a_2 k_2 + \dots + a_j k_j$$

и ее средневзвешенное значение

$$\beta_{0i} = \left(\sum_{i=1}^{N_i} \beta_i \right) / \left(\sum_{i=1}^{N_i} \sum_{j=1}^m a_{ij} \right),$$

где N_i - количество объектов, для которых необходима выработка технических решений.

Если $\beta_i > \beta_{0i}$, то формируется состав объектов, требующих принятия технических решений для повышения их безотказности, а если $\beta_i < \beta_{0i}$, то необходимость таких решений не требуется.

С целью рационального использования ресурсов механических служб для объектов, соответствующих условию $\beta_i > \beta_{0i}$, необходимо разработать график выполнения ремонтных работ. Он представляет собой таблицу, в первом столбце которой записываются наименования машин и механизмов. Количество остальных столбцов (интервалов планирования) зависит от структуры ремонтного цикла, характеризующейся периодичностью и продолжительностью ремонтов. Между ремонтными периодами обуславливаются наработкой на отказ. На пересечении строк и столбцов указывается длительность остановки машины на

ремонт t и необходимое количество ремонтников p .

Тогда трудоемкость i -й машины в j -интервале планирования

$$Q_{ij} = t p.$$

Графики ремонтов на металлургических заводах выполняются вручную без использования принципов оптимизации. Поэтому выявлены неизбежные колебания суммарной трудоемкости ремонтов $\sum Q_j$ по интервалам планирования, которые часто не могут быть компенсированы возможностями $(\sum Q)$ отделов главного механика и ремонтных трестов. Этот факт, отражающий недостатки существующих методов проектирования графиков ремонтов, вызывает следующие отрицательные явления:

- 1) $\sum Q_j < (\sum Q)$ - неполное использование ремонтного персонала;
- 2) $\sum Q_j > (\sum Q)$ - дефицит ремонтников.

Оба эти явления ухудшают эффективность ремонтного производства и поэтому возникает задача разработки таких методов проектирования графиков ремонтов, которые позволяют свести к допустимым или к нулю колебания

$$\Delta Q = \pm \left| \sum Q_j - (\sum Q) \right|.$$

Эта задача решена с помощью ЭВМ следующим образом. График ремонтов оборудования представлен матрицей

$$A = \| Q_{ij} \|_{n, m}, \quad (1)$$

где n, m - число машин в цехе и интервалов планирования.

Положение ненулевых элементов Q_{ij} в матрице указывает сроки проведения ремонтов. Трудоемкость работ, выполненных в j -м интервале планирования, определяется из выражения

$$Q_j = \sum_{i=1}^n Q_{ij} \quad \text{при } j = \overline{1, m}.$$

Тогда задача об уменьшении колебаний суммарных трудоемкостей ремонтных работ по интервалам планирования сводится к задаче об улучшении матрицы (I), которую необходимо перестроить так, чтобы отклонения объемов ремонтов были допустимыми или минимальными. Подобные задачи относятся к области целочисленного программирования. Однако использовать эти математические методы при больших размерностях матрицы A ($n > 100, m > 12$), даже на крупных ЭВМ не представляется возможным. Поэтому разработан специальный эвристический метод решения таких задач. Он заключается в пошаговом планировании ремонтов с учетом приоритетности их проведения, прогнозирования объемов работ на некоторое число шагов и показателей безотказности.

Математическая редакция задачи сформулирована следующим образом: перемещая ненулевые элементы матрицы A вдоль строк, построить матрицу B так, чтобы в планируемом периоде

T_i ($T_i = m$) отклонение между максимальной и минимальной трудоемкостями ремонтов было минимальным, т.е.

$$P = \min (\max Q_j - \min Q_j) \quad (2)$$

при ограничениях $\alpha \leq Q_j \leq \beta, \quad j = \overline{1, m} \quad (3)$

где P - минимальное значение целевой функции;

α, β - нижняя и верхняя допустимые границы колебаний средней трудоемкости ремонтных работ.

Значения Q_{cp} , α и β вычисляются по формулам

$$Q_{cp} = \left(\sum_{j=1}^m Q_j \right) / m; \quad \alpha = Q_{cp} - \epsilon; \quad \beta = Q_{cp} + \epsilon,$$

где $e = k \max Q_{ij}$ - заданные отклонения трудоемкости ремонтов от среднего значения.

Проектирование графика ремонтов состоит из двух этапов: вначале по значениям наработки на отказ T и трудоемкостям ремонтных работ Q_{ij} рассчитывается опорный график, а затем по назначенным приоритетам выполнения ремонтов, допустимым колебаниям (α, β) суммарных трудоемкостей строится оптимальный график.

Если известны наработки на отказ, то интервалы планирования для опорного графика первого и последующих ремонтов данной машины вычисляются по формулам:

$$t_1 = t - t_0 + T = t_0 + T;$$

$$t_{i+1} = t_0 + iT,$$

где t - интервал планирования последнего ремонта данной машины в прошлом году;

i - порядковый номер интервала планирования ($i = 1, 2, 3 \dots 12$).

Используя значения t_{i+1} и Q_{ij} заполняют каждую строку матрицы A , вычисляют суммарные трудоемкости для каждого интервала планирования. Матрица A является опорным графиком. Она может обладать указанными выше недостатками и поэтому ее необходимо улучшить. Эта работа выполняется на втором этапе.

Начинается второй этап с анализа распределения суммарных трудоемкостей по интервалам планирования. Затем вычисляют среднюю трудоемкость и задаются отклонениями e . Если для опорного графика не выполняется условие (3), то необходимо опроектировать оптимальный график, соответствующий выражению (2). Эта цель до-

стигается построением матрицы B . Однако перенос отдельных ремонтов из одних столбцов в другие не всегда обеспечивает получение оптимального графика, так как возможны локальные решения, отличные от оптимального. Поэтому задача решается методом пошаговой оптимизации с прогнозированием суммарной трудоемкости на ряд интервалов планирования, учитывая техническое состояние оборудования (показатели безотказности). За шаг оптимизации принимается интервал планирования и проектирование оптимального графика начинается с первого интервала ($j = I$). Для прогнозирования количества ремонтов и суммарной трудоемкости определяется интервал оптимизации T_2 как отрезок времени, в течение которого машина может находиться в ремонте один раз

$$T_2 = \min T_{2i}$$

или

$$T_2 = t_0 + 2(T_i - \Delta T_i) - (j + f),$$

где $(T_i - \Delta T_i)$ - нижняя доверительная граница наработки на отказ.

Таким образом, если оптимальный график проектируется для интервала планирования j , то прогнозирование суммарной трудоемкости ремонтных работ надо выполнять на отрезке j по $j + T_2$. Использование нижней доверительной границ наработки на отказ уменьшает вероятность аварийных отказов.

Перечень машин - кандидатов для ремонта в интервале $(j + f)$ устанавливается проверкой выражения

$$t_0 + (T_i - \Delta T_i) \leq j + f \leq t_0 + (T_i + \Delta T_i), \quad (4)$$

где $(T_i + \Delta T_i)$ - верхняя доверительная граница наработки на отказ.

Если выражение (4) удовлетворяется, то данная машина включается в список кандидатов. Однако произвольное количество машин-кандидатов для ремонта в j -м интервале планирования может привести к нарушению условия (3). Чтобы это условие не нарушалось введены приоритеты очередности ремонтов.

За первый приоритет Z_{1i} принят незабронированный резерв - отрезок времени, на который возможно увеличить межремонтный период при данном техническом состоянии машины

$$Z_{1i} = Z_{0i} + (T_i + \Delta T_i) - (j + \beta).$$

Второй приоритет Z_{2i} - это трудоемкость очередного ремонта l -й машины:

$$Z_{2i} = Q_{ij}.$$

Формирование столбцов матрицы B по условию (3) может привести к тому, что суммарные трудоемкости ремонтов в последующих интервалах планирования будут существенно больше или меньше, чем в первых. Поэтому в качестве третьего приоритета Z_{3i} принята величина, характеризующая равномерность распределения объемов ремонтных работ по интервалам планирования

$$Z_{3i} = \min(\Delta t_{pi}, \Delta t_{ni}),$$

где Δt_{pi} , Δt_{ni} - возможные наименьшая и, наоборот, наибольшая продолжительность ремонта l -й машины.

Значения Δt_{pi} и Δt_{ni} вычисляются по формулам:

$$\Delta t_{pi} = t_{2pi} - t_{1pi};$$

$$\Delta t_{ni} = t_{2ni} - t_{1ni};$$

$$t_{1pi} = (j + \beta) + (T_i - \Delta T_i)(k_i - k_{ij} - 1);$$

$$t_{epi} = \max[m+1 - (T_i + \Delta T_i), 0];$$

$$t_{mi} = \max[m+1 - (T_i - \Delta T_i), 0];$$

$$t_{zli} = t_{kj} + (T_i - \Delta T_i)(k_i - k_{ij}),$$

где k_i - общее число ремонтов i -й машины в планируемом периоде;

k_{ij} - количество ремонтов, выполненных с первого по $(j-1)$ -й интервал;

t_{kj} - интервал планирования последнего ремонта i -й машины до $(j-1)$ -го интервала.

Таким образом, устанавливается следующая очередность ремонта машин, удовлетворяющих условию (4). В $(j+f)$ -м интервале планирования будем ремонтировать машины с приоритетом $\tau_{ji} < 1$, т.е. такие, ремонты которых нельзя перевести в $(j+f+1)$ -й интервал. Из оставшихся выберем в первую очередь машины с меньшими значениями τ_{ji} , а при равных приоритетах τ_{ji} предпочтение отдадим машинам с большей трудоемкостью τ_{zi} . Если значения τ_{ji} и τ_{zi} равноценны, то в ремонт включаются машины с меньшими значениями τ_{zi} .

Чтобы выполнить условие (2) желательную суммарную трудоемкость машин-кандидатов необходимо вычислять по формуле

$$Q'_{j+f} = Q_{cp} - \left[\sum_j Q_j - c Q_{cp} \right],$$

где $c = j+f-1$.

Используя величины τ_{ji} , τ_{zi} , τ_{zi} , Q'_{j+f} , получаем возможность предварительно распределять ремонты в $(j+f)$ -м интервале. Выполнив такие операции для всех интервалов планирова-

ния, получим оптимальный график ремонтов.

Использование разработанного эвристического метода проектирования графиков ремонтов сокращает колебания суммарной трудоемкости и существенно улучшает использование ресурсов механических служб металлургических предприятий.

Анализ использования показателей безотказности, получаемых с помощью статистических методов исследования, для прогнозирования предельных состояний оборудования, определения объемов ремонтных работ и проектирования оптимальных графиков ремонтов, позволил установить важный научный факт. Показатели безотказности (наработка на отказ, вероятность безотказной работы и др.) не являются точечными оценками из-за неизбежной дисперсии характеристик материалов, условий изготовления и эксплуатации машин. Они изменяются в пределах нижней и верхней доверительной границы ($T_B = T + \Delta T$; $T_H = T - \Delta T$). Если ΔT соизмеримы с межремонтными периодами, то применение таких показателей для решения задач технического обслуживания и ремонтов металлургического оборудования не может исключить аварийные отказы. Чтобы устранить аварии необходимо статистические методы исследования дополнить физическими, которые позволяют оценить техническое состояние машин и их элементов в данный момент времени.

Для достижения этой цели разработаны математические модели и технология технической диагностики металлургического оборудования, основанные на трудах Пархоменко П.П., Клева В.В., Биргера И.А., Генкина М.Д. и др. Любая металлургическая машина рассматривается как преобразователь входных (технологические воздействия) величин X в выходные (ударные импульсы, виброскорость, температура и др.) величины Z . Это преобразование в математической форме принимает вид

$$z(t) = Ax(t), \quad (5)$$

где A - оператор, характеризующий преобразование входных величин в выходные;

t - время.

Если в оборудовании механических повреждений или других дефектов нет, то система (5) является математической моделью работоспособного состояния машины.

Обозначим символом S множество всех возможных отказов и будем считать, что машина находится в i -м неработоспособном состоянии, если обнаружен дефект S_i ($i = 1, 2, \dots, S$).

Для этого случая система передаточных функций

$$z_i(t) = Ax_i(t). \quad (6)$$

Следовательно, система (5) и совокупность систем (6) для всех S_i образует явную математическую модель объекта диагностирования.

Для механического оборудования в явном виде задается модель работоспособных состояний, а поведение в i - неработоспособных состояниях может быть представлено косвенно через множество S возможных отказов. В таком случае неявную математическую модель образуют: система (5), множество возможных отказов и способ вычисления зависимостей (6) для любого отказа.

При эксплуатации металлургического оборудования необходимо решать различные задачи. Одной из главных является задача определения фактического остаточного ресурса деталей или выбора момента ремонтных воздействий для восстановления заданного уровня безотказности.

Возможны различные пути решения этой задачи.

1. Можно попытаться найти явное или неявное аналитическое описание объекта диагностирования и получить уточненные значения наработки на отказ. Этот путь практически реализовать нельзя из-за того, что неизвестны законы изменения условий эксплуатации, законы изменения технологии изготовления деталей, механические свойства материалов и др.

2. Более рациональным является путь, при котором используются оценки выходных величин типа "работоспособен-неработоспособен", "в норме - не в норме". Современные средства технической диагностики позволяют относительно просто получить такие оценки. Поэтому этот путь использован для разработки вопросов теории и технологии диагностирования металлургического оборудования.

Для описания состояний машин такими допусковыми оценками в работе использованы математические модели логического типа, а для их анализа - теория математической логики. В качестве исходных форм представления технических состояний металлургического оборудования приняты структурные (кинематические) схемы работоспособного объекта в системе уравнений, задающие зависимости между входными и выходными величинами.

Принята следующая формальная процедура построения логических моделей. Используя кинематические схемы объекта, технического диагностирования (машины или агрегата), определяются связанные между собой компоненты (узлы, детали, другие составные части). Состав компонентов (блоков), связи между ними и внешние связи образуют структуру объекта. Отдельные блоки связаны между собой сигналами, которые характеризуются одним или несколькими физическими параметрами. Количество сигналов должно быть равно числу характеризующих эти сигналы параметров. Разделив входные и выходные сигналы всех блоков и соединив соответствующие блоки стрелка-

ми, получим функциональную схему объекта диагностирования.

Если области допустимых значений всех входных и выходных параметров блоков известны, то значения входных и выходных сигналов блока будут допустимыми тогда, когда значения всех параметров, характеризующих эти сигналы, будут принадлежать областям их допустимых значений. В таком случае сигналы каждого блока можно считать двоичными логическими переменными. Они принимают значения "истинно" (1), если значения соответствующих им входных (выходных) сигналов допустимы, и значение "ложно" (0) — в противном случае. Если каждому набору входных логических переменных соответствует одно из двух значений выходных логических переменных (единица или ноль), то такие функции являются булевыми (или функциями условий работы блока по выходу). В работе использованы законы и теоремы булевой алгебры, позволяющие установить минимальную форму булевой функции или иными словами определить минимальное количество операций диагностирования для получения достоверной оценки технического состояния оборудования. Изложены принципы построения на этой основе явной математической модели объекта диагностирования в табличной форме. Приведена классификация диагностических параметров для различных элементов машин (подшипников качения, скольжения, зубчатых зацеплений, базовых деталей и др.). Сформулированы признаки контролепригодных узлов оборудования. Разработаны технология диагностирования металлургических машин и обработки результатов диагностирования на персональных ЭВМ. Обеспечен выпуск переносных средств технической диагностики.

Разработаны общий алгоритм технологии диагностирования оборудования и частные алгоритмы диагностирования подшипников качения, редукторов, вентиляторов и др. металлургических машин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Действующая в черной металлургии система планово-предупредительных ремонтов оборудования обладает двумя принципиальными недостатками: а) несовершенна методика расчета базового показателя (срока службы); б) несовершенна методика ведения технических документов (агрегатных журналов, журналов приемки и сдачи смены). Эти недостатки, присущие системе ШПР, являются одной из основных причин высокой аварийности металлургического оборудования.

2. Установлено, что отказы механического оборудования доменных, сталеплавильных и прокатных цехов удовлетворительно описываются двухпараметрическим законом Вейбулла.

3. Разработана новая система технического обслуживания оборудования, основанная на теории надежности, вычислительной технике и технической диагностике. Предложено взамен базового показателя системы ШПР (срока службы) использовать для оценки технического состояния машин и агрегатов показатели безотказности, которые являются функциями времени и позволяют прогнозировать отказы оборудования.

4. Разработаны специальные методы для решения задач технического обслуживания и ремонтов металлургических машин:

а) метод функционального цифрового кодирования оборудования, видов и причин отказов, позволяющий создавать компактные и удобные коды для обработки информации о техническом состоянии на ЭВМ, повышающий точность оценок параметров безотказности и существенно уменьшающий затраты машинного времени;

б) эвристический метод пошагового проектирования графиков ремонтов, основанный на использовании метода вектора спада и

Последовательном анализе вариантов с применением функции предпочтения. Этот метод позволяет свести к минимуму колебания суммарной трудоемкости ремонтов по интервалам планирования и существенно улучшить эффективность использования ресурсов механических служб цехов и заводов.

5. Установлено, что показатели безотказности, не являющиеся точечными оценками, при использовании для решения оперативных задач технического оборудования и ремонтов металлургического оборудования (например, для разработки графиков текущих ремонтов) не исключают аварийные отказы.

6. Показано, что для уменьшения аварийности металлургического оборудования статистические методы должны использоваться в сочетании с физическими методами. Разработаны вопросы теории и технологии построения логических моделей, позволяющих определять минимальные алгоритмы диагностирования оборудования; явных математических моделей объектов диагностирования в табличной форме, основанных на оценках типа "работоспособен - неработоспособен"; разработаны вопросы классификации диагностических параметров для различных элементов машин; обеспечен выпуск соответствующих переносных средств технической диагностики.

7. На основе обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований, разработки новых научных, методических и технологических положений создана и внедрена в учебный процесс вузов Украины и стран СНГ, выпускающих инженеров по специальности 1703, система научных знаний в виде учебника "Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин", способствующего повышению качества подготовки специалистов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ НАУЧНОГО ДОКЛАДА

ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. Седуш В.Я. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин. - К.-Донецк: Вища школа, 1976. - 228 с.
Учебник для студентов вузов, гриф Минвуза Украины.
2. Седуш В.Я. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин. - 2-е изд., перераб. и доп. - К.-Донецк: Вища школа, 1981. - 264 с. Учебник для студентов вузов, гриф Минвуза Украины.
3. Седуш В.Я. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин. - 3-е изд., перераб. и доп. - К.- УМК ВО, 1992. - 368 с.
Учебник для студентов вузов, гриф МО Украины.
4. Седуш В.Я. и др. Организация технического обслуживания металлургического оборудования. - К.: Техніка, 1986. - 124 с.)
5. Седуш В.Я. Исследование пушек для забивки чугуновой летки.
// Металлургия и коксохимия. - К., Техніка, 1968, № 9.
6. Седуш В.Я., Руденко В.И. Теоретические исследования упругих колебаний рабочего роляганга обжиминга. // Прогрессивные методы обработки давлением черных металлов: - К., Техніка, 1976.
7. Седуш В.Я. Расчет пушек для забивки чугуновой летки с применением номограмм. // Проблемы производства черных металлов. - К., Техніка, 1974.
8. Сопилкин Г.В., Седуш В.Я., Руденко В.И. и др. Совершенствование конструкции тележки шлеппера. // Металлургия и коксохимия. - К., Техніка, 1987.
9. Седуш В.Я. и др. Цифровая система кодирования видов и причин отказов металлургического оборудования. - М.: Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований в черной металлургии, 1977. - Экспресс-

информация, серия I7, вып.2.

- Ю. Седуш В.Я. и др. Совершенствование технического обслуживания металлургических машин. //Металлург, 1977, № Ю.
- II. Седуш В.Я. и др. Система управления техническим обслуживанием оборудования. - М.: Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований в черной металлургии, 1980. - Экспресс-информация, серия 28, вып.4.
- Е2. Седуш В.Я. и др. Опыт разработки, внедрения и эксплуатации системы учета и анализа отказов основного технологического оборудования с применением ЭВМ. //Металлургическая и горно-рудная промышленность, 1982, № 4.
- Е3. Седуш В.Я. и др. Математическая модель задачи планирования планово-предупредительных работ. // Донецкий политехнический институт, Донецк, 1978. - 12 с. - Деп.рукопись.
- Е4. Седуш В.Я. и др. Организация обработки информации автоматизированной системой учета и анализа отказов оборудования. Об.:Классификаторы и документы, 1983, № 6.
- Е5. Вдовин В.З., Седуш В.Я., Сопилкин Г.В., Павловский Н.М. Опыт проектирования и внедрения системы управления техническим обслуживанием оборудования. //Сталь, 1982, № 8.
- Е6. *Sedusch W. Ja. et al. Analyse von Zuverlässigkeitskennwerten und Auswahl einer rationalen Konstruktion von absenkbaren Anschlagen. // VIII Kolloquium "Auszustungen für die Metallurgie", Magdeburg, 1982.*
- Е7. Седуш В.Я. и др. Основные принципы построения классификаторов АСТО оборудования. //Классификаторы и документы, 1982, № 8.

18. Седуш В.Я. и др. Анализ документооборота и потоков информации ремонтных служб. // Классификаторы и документы, 1983, № 9.
19. Седуш В.Я. и др. Оптимизация норм обслуживания оборудования. // Управление и организация труда в газовой промышленности. - 1983, вып.5.
20. Серик А.Е., Седуш В.Я., Сипилкин Г.В. и др. Задача балансировки матриц и ее приложение. В сб. АСУ и приборы автоматизации, 1984, вып.72.
21. Седуш В.Я. Исследование параметров надежности электропущек ЭЗ-050. // Изв. высш. учеб. заведений. Черная металлургия, 1969, № 4.
22. Седуш В.Я. и др. Анализ эксплуатационной надежности клещевых кранов. // Металлургическая и горнорудная промышленность, 1970, № 4.
23. Седуш В.Я. и др. Дослідження показників надійності робочого рольганга блемінга з груповим приводом. // Зб. наукових праць в галузі металургійної промисловості. Донецьк, вид. ДІП, 1972.
24. Седуш В.Я. и др. Надежность крепежных соединений подшипников рабочих рольгангов блемингов. // Металлургическая и горнорудная промышленность, 1972, № 5.
25. Седуш В.Я., Руденко Б.И. Исследование аварийных отказов рабочих рольгангов блеминга. // Тезисы докладов на Международном симпозиуме по динамике тяжелых машин горной и металлургической промышленности. Донецк, 1974.
26. Седуш В.Я. и др. Исследование параметров надежности узлов и деталей рабочих рольгангов блемингов. // Новое в обработке металлов давлением. Киев; Техніка, 1974.
27. Sedusch W. Ja. et al. Das Zeitungsisten der technischen - Bedienung der metallurgischen Auszüstung. // Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Otto von Guericke. 1979.

28. Седуш В.Я. и др. Анализ показателей надежности и выбор рациональной схемы опускающегося упора. // Металлургическая и горнорудная промышленность, 1982, № 1.
29. Седуш В.Я. и др. Определение параметров закона Вейбулла методом наименьших квадратов. // Тезисы докладов I Республик. конф. по повышению надежности и долговечности машин и сооружений. - Киев, Наукова думка, 1982.
30. Седуш В.Я. и др. Анализ надежности оборудования обжимных цехов. // Тезисы докладов I Республик. конф. по повышению надежности и долговечности машин и сооружений. - Киев, Наукова думка, 1982.
31. Седуш В.Я. и др. О рациональном использовании кранов при ремонте металлургического оборудования. // Иев. вузов. Черная металлургия, 1985, № 4.
32. Седуш В.Я. и др. Построение идентификатора элементов технической системы в масштабах предприятия. // Классификаторы и документы, 1985, вып. 7.
33. *Becher H, Holinski R, Sedusch W. Ja. etal. Ein system der zweizelligkeit sermittlung // Anwendung auf mechanische auszustungen von Walzanlagen. - Neue mitte, 1984, heft 9.*
34. *Sedusch W. Ja. etal. Zustandaltung mechanischer auszustungen im metallurgischen Werk Donzsk, // Neue mitte, 1984, heft 2.*
35. Седуш В.Я. и др. Типовое программное обеспечение системы технического обслуживания. // М.: Центр. ин-т НТИ и техн.-экон. иссл. в черной металлургии, 1986. - Экспресс-информация, вып. 19.

36. Седуш В.Я. и др. Обоснование принятия решений по совершенствованию системы технического обслуживания металлургического оборудования. // Металлургическая и горнорудная промышленность, 1986, № 4.
37. Седуш В.Я. и др. Оптимизация годовых графиков текущих ремонтов. // Изв. вузов. Черная металлургия, 1988, № 1.
38. Седуш В.Я. и др. Алгоритм расчета параметров системы обслуживания прокатного оборудования. // Изв. вузов. Черная металлургия, 1988, № 5.
39. Седуш В.Я. и др. Определение оптимального межремонтного периода. // Изв. вузов. Черная металлургия, 1989, № 5.
40. Седуш В.Я. и др. Опыт диагностики технического состояния металлургического оборудования. // Тезисы докладов II Республик. конф. по повышению надежности и долговечности. - К., Наукова думка, 1985.
41. Седуш В.Я. и др. Контроль герметичности вакууматора. // Металлург, 1987, № 7.
42. Седуш В.Я. и др. Оценка состояния насосов и вентиляторов средствами технической диагностики. // Металлургическая и горнорудная промышленность, 1987, № 3.
43. Седуш В.Я. и др. Диагностирование элементов гидропривода элементов трубоэлектросварочного цеха. // Сталь, 1988, № 9.
44. Седуш В.Я. и др. Комплекс мероприятий по периодическому контролю технического состояния вентиляторов. // Металлургическая и горнорудная промышленность, 1989, № 3.
45. Седуш В.Я. и др. Оптимизация поиска неисправностей оборудования промышленных предприятий. // Изв. вузов. Черная металлургия, 1989, № 11.

46. А.с. 151359 СССР, Класс С21В; 18а, 4⁰². Прибор для измерений физико-механических свойств леточной массы /Седуш В.Я. (СССР).
47. А.с. 151360 СССР, Класс С21В; 18а, 4⁰³. Устройство для испытания электродушек доменного цеха /Седуш В.Я., Панченко Б.К. (СССР);
48. А.с. 452382 СССР, М. Кл.³ В21В 39/14. Манипулятор - кантователь обжимного прокатного стана /Седуш В.Я. и др. (СССР).
49. А.с. 780925 СССР, М. Кл.³ В21С 51/00. Устройство для клейменная Седуш В.Я. и др. (СССР).
50. А.с. 814503 СССР, М. Кл.³ В21В 39 02. Упор для остановки проката на рольганге Седуш В.Я. и др. (СССР).
51. А.с. 935662 СССР, М. Кл.³ F16Д 9 00. Предохранительная муфта Седуш В.Я. и др. (СССР).
52. А.с. 986927 СССР, М. Кл.³ С21В 7 14. Поворотный желоб Седуш В.Я. и др. (СССР).
53. А.с. 994228 СССР, М. Кл.³ F 16Д 3 52. Муфта Седуш В.Я. и др. (СССР).
54. А.с. 1026879 СССР, М. Кл.³. В21В 39 34. Шлепёрная тележка Седуш В.Я. и др. (СССР).
55. А.с. 106686 СССР, М. Кл.³. В21В 39 00. Подъемно-качающийся стол Седуш В.Я. и др. (СССР).
56. А.с. 1209959 СССР, М. Кл.³, F 16Д 9 00. Предохранительная муфта Седуш В.Я. и др. (СССР).
57. А.с. 1215781 СССР, М. Кл.³. В21В 35 14. Устройство для подачи смазки и узлам трения шарнира универсального шпинделя Седуш В.Я. и др. (СССР).
58. А.с. 1251997 СССР, М. Кл.³. В21В 39 02. Упор для остановки проката на рольганге Седуш В.Я. и др. (СССР).

- 59. А.с. 1285002 СССР, М. Кл³. С21В 7 I4. Вращающийся желоб Седуш В.Я. и др. (СССР).
- 60. А.с. 1369886 СССР, М. Кл³. F 16 D. Устройство для заточки резьбовых соединений Седуш В.Я. и др. (СССР).

АВ 30.150

Подписано в печати 505 04 Заказ 411 тираж 100
Изд. уо. пзд. Способ печати офсетный.
Донецкая городская типография