

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

На правах рукописи

ШЕВЧУК Степан Прокофьевич

УДК 522.512:621.765

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОЩНЫХ ВОДООТЛИВНЫХ
УСТАНОВОК ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Специальность: 05. 15. 16 - Горные машины

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Днепропетровск - 1997



00752392 (S)

Диссертация

Работа выполнена в Национальном техническом университете Украины
"Киевский политехнический институт"

Научный консультант: доктор технических наук
СВЕШНИКОВ Игорь Аркадьевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
лауреат Государственной премии Украины
ВАСИЛЬЕВ Леонид Михайлович

доктор технических наук, профессор
ГРУБА Владимир Иванович

доктор технических наук, профессор
ВИНОГРАДОВ Борис Владимирович

Ведущее предприятие - Научно-исследовательский институт
горной механики им. М.М.Федорова

Защита состоится "13" июня 1997 г. в 15⁰⁰ часов на заседании
специализированного совета Д 03.10.02 при Институте геотехнической
механики НАН Украины по адресу:
320095, г. Днепропетровск, ул. Симферопольская, 2а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института геотехнической
механики НАН Украины по адресу:
320095, г. Днепропетровск, ул. Симферопольская, 2а.
Автореферат разослан "12" мая 1997 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат технических наук

В.Г. ПЕРЕПЕЛИЦА

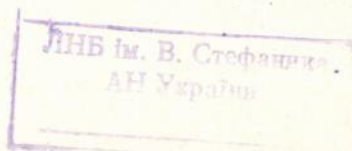
№ 37.756

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Анализ работоспособности водоотливных установок горных предприятий (ВОУ ГП) свидетельствует о довольно низкой их эксплуатационной надежности. Средний статистический срок службы насоса на шахтах Минуглепрома Украины составляет всего 10 месяцев, а 70% парка эксплуатируемых насосов прошли капитальный ремонт. В то же время ВОУ ГП является ответственным звеном технологического процесса добычи полезного ископаемого, во много определяющим создание безопасных условий работы всего горного предприятия. Поэтому актуальным является создание научных принципов решения проблемы повышения надежности работы такого ответственного объекта.

Одной из отличительных особенностей ВОУ ГП является их высокая энергоемкость. Средняя потребляемая единичная мощность действующих установок составляет 225 кВт, а для намеченных к строительству 1247 кВт. Доля мощности ВОУ ГП составляет 15-17% общей электрической нагрузки шахты, а доля электропотребления - еще выше - 20-25%. Поэтому в условиях дефицита и вздорожания энергоресурсов актуальным является решение научной проблемы по созданию энергосберегающих режимов работы ВОУ ГП, что предопределяется высокой их экономической эффективностью. Только при локальном подходе энергосбережения потенциальные возможности экономии электроэнергии достигают 9-10%, что в абсолютных величинах для шахт Минуглепрома Украины составляет 150 млн. кВт.ч электроэнергии в год.

Данная работа выполнялась в соответствии с программой ГКНТ №52 "Диагностическое обеспечение надежной и эффективной эксплуатации энерго- и ресурсоемких машин", отраслевыми планами



ИИОКР Минуглепрома Украины по теме "Создание общешахтной интегрированной системы диспетчерского управления производством на базе новых унифицированных агрегируемых технических средств", тематическими планами работ НПО "Красный металлист" по темам "Создание методов и средств технического диагностирования водоотливных установок на базе КУТС ОШИС".

Цель работы — повышение надежности и экономичности функционирования мощных водоотливных установок горных предприятий.

Идея работы заключается в использовании закономерностей изменения режимов работы водоотливных установок в процессе эксплуатации с учетом влияния факторов возмущения внешней среды.

Методы исследований. Основные теоретические результаты работы получены путем использования современных методов математического и статистического моделирования с использованием ПЭВМ. Используются методы теории автоматического управления, теории надежности и случайных процессов, логико-вероятностный метод расчета надежности, метод дифференциальных уравнений, логического синтеза диагностических моделей, экспериментальный метод, метод лабораторных и промышленных испытаний.

Научные положения, разработанные диссертантом и выносимые на защиту:

1. Доминирующими факторами возмущения внешней среды, определяющими режим работы водоотливной установки во времени, являются изменения водопритока и заиленности водосборника. Текущее значение заиленности водосборника определяется соотношением измеряемых периодов времени заполнения водой разделенных по высоте частей водосборника, а изменения водопритока оцениваются как функция дисперсии измеряемых периодов заполнения всей рабочей емкости водосборника.

2. Критерий оценки безотказности функционирования резервированной системы оборудования водоотливной установки определяется из условия равенства интегралов вероятностей распределения функций периодов восстановления и наработки на отказ резервируемых элементов системы, на основании чего прогнозируется период безотказной ее эксплуатации.

3. Возмущения внешней среды, определяемые факторами изменения водопритока и степени заиленности водосборника, являются количественной основой диагностирования оборудования водоотливной установки в рамках разработанной структурно-функциональной модели.

4. Зависимости энергетических показателей работы системы оборудования водоотлива и ее отдельных элементов (насоса, приводного двигателя, трубопроводной сети) от режимных параметров функционирования установки являются количественной основой оценки надежности и экономичности ее эксплуатации как преобразователя энергии.

5. Обеспечение энергоберегающих режимов работы водоотливных установок в комплексе "энергосистема - потребитель" достигается на основе реализации разработанных принципов управления, заключающихся в предпиковой коррекции графика работы установки с учетом ограничивающих периодов максимума нагрузки энергосистемы, а также влияния изменений водопритока и степени заиленности водосборника.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций работы обеспечивается сочетанием теоретических и экспериментальных исследований; исходными теоретическими предпосылками, основанными на фундаментальных законах теории случайных процессов, надежности и автоматического управления, а также удовлетворительной сходимостью теоретических и опытных

данных (расхождения в определении физических величин водопритока и заиленности водосборника составляют 5-10 %, расходных характеристик и КПД насоса - 6-8 %) при 95 %-ных доверительных интервалах распределения случайных величин, длительным опытом эксплуатации в шахтных условиях созданных серийных технических средств диагностирования и энергосберегающего управления:

Научная новизна работы заключается в следующем:

- впервые установлены закономерности изменения доминирующих факторов возмущения внешней среды - водопритока и степени заиленности водосборника, а также их влияния на режим работы водоотливной установки во времени;

- впервые разработан критерий оценки безотказности функционирования резервированной системы оборудования водоотливной установки, определяемый из условия равенства интегралов вероятностей распределения функций периодов восстановления и наработки на отказ резервируемых элементов системы;

- разработана структурно-функциональная диагностическая модель взаимодействия элементов оборудования водоотливной установки как единой системы, отличающаяся наличием учета влияния на режим ее работы факторов возмущения внешней среды по изменениям водопритока и степени заиленности водосборника;

- установлены зависимости энергетических показателей работы системы оборудования водоотлива от режимных параметров функционирования установки, отличающиеся наличием учета КПД отдельных элементов - насоса, приводного двигателя, трубопроводной сети;

- разработаны научные принципы энергосберегающего управления водоотливными установками в условиях ограничений

энергосистемы, отличающиеся наличием учета фактора возмущения внешней среды по изменению степени заиленности водосборника.

Научное значение работы заключается в разработке научных принципов количественной оценки надежности и экономичности функционирования горного оборудования мощных водоотливных установок, в установлении закономерностей изменения доминирующих факторов возмущения внешней среды (водопритока и степени заиленности водосборника) и их влияния на режим работы установки, в установлении зависимостей энергетических показателей системы оборудования водоотлива и ее элементов (насоса, приводного двигателя, трубопроводной сети) от режимных параметров работы установки, в разработке научных принципов технического диагностирования и энергосберегающего управления водоотливными установками:

Практическое значение работы заключается в разработке научно обоснованных и экспериментально подтвержденных расчетных методик, способов и систем технического диагностирования и энергосберегающего управления мощными водоотливными установками, в основу которых положены:

- структурно-функциональный способ диагностирования системы оборудования водоотливной установки;
- способ экспресс-диагностирования насоса по видеоизмененным расходным характеристикам;
- способ экспресс-диагностирования насосной установки по уровню приведенных удельных энергозатрат;
- вариант термодинамического метода диагностирования насоса и насосной установки;
- способы энергосберегающего управления водоотливными установками с учетом ограничений энергосистем.

Разработанные системы технического диагностирования и энергосберегающего управления ВОУ ПИ доведены до уровня

опытно-промышленного и серийного производства. Экономический эффект от внедрения разработок составил 14 млн.грн., в том числе долевое участие автора 2.9 млн.грн. Результаты работы использованы в изданном учебном пособии для студентов вузов горных специальностей электромеханического профиля, в руководящих материалах по регулированию режимов электропотребления на предприятиях угольной промышленности, в утвержденном Минуглепромом СССР техническом задании на аппаратуру ВАР.1М.

Личный вклад автора заключается в теоретическом обобщении и решении крупной научно-технической проблемы - разработки научных принципов количественной оценки надежности и экономичности функционирования мощных водоотливных установок. Вклад автора в пределах отдельных разделов состоит:

- в установлении закономерностей изменения доминирующих факторов возмущения внешней среды - водопритока и степени заиленности водосборника, а также их влияния на режим работы водоотливной установки во времени;

- в разработке критерия оценки безотказности функционирования резервированной системы оборудования водоотливной установки, определяемого из условия равенства интегралов вероятностей распределения функций периодов восстановления и наработки на отказ резервируемых элементов системы;

- в разработке структурно-функциональной диагностической модели взаимодействия элементов оборудования водоотливной установки и возмущающих факторов внешней среды;

- в установлении зависимости энергетических показателей системы оборудования водоотлива и его отдельных элементов (насоса, приводного двигателя, трубопроводной сети) от режимных параметров работы установки;

- в разработке научных принципов энергосберегающего управления водоотливными установками с учетом ограничений энергосистемы и влияния на режим работы факторов возмущения внешней среды.

Реализация выводов и рекомендаций.

Основные результаты диссертационной работы по созданию систем технического диагностирования и энергосберегающего управления ВОУ ГП использованы в изданном учебном пособии для студентов вузов горных специальностей электромеханического профиля: Шевчук С.П. Повышение эффективности водоотливных установок.-Киев:УМК ВО Минвуза УССР,1990,-102 с., в Руководящих технических материалах "Указания по регулированию режимов электропотребления на предприятиях угольной промышленности" РТМ 12.25.010-81. М.:ИГД им. А.А.Скочинского,1981, в утвержденном Минуглепромом СССР техническом задании на аппаратуру ВАВ.1М от 29.12.1987.

Основные результаты диссертационной работы использованы НПО "Красный металлист":

- при создании серийной аппаратуры автоматизации водоотливных установок ВАВ.1М (объем выпуска с 1990 г. составляет 735 комплектов);
- при создании общешахтной системы энергосберегающего управления водоотливным комплексом ОСВП;
- при создании системы технического диагностирования водоотливной установки на базе КУТС ОШИС;
- при создании устройства контроля заиленности водосборника УКЗВС;
- при создании системы управления технологическими процессами шахт и диспетчерского управления производством на базе

комплекса унифицированных агрегируемых технических средств ОШИС;

- при создании серийной аппаратуры автоматизации вспомогательных водоотливных установок АВВУ.1;
- при создании серийного комплекса устройств технологического контроля электропотребления производственными участками шахт КУТЭ.1.

Апробация работы. Основные положения диссертации и ее отдельные разделы докладывались и обсуждались : на международной научно-практической конференции "Проблемы геогидромеханики в горном деле и строительстве", Киев, 1996; на XI международной конференции "Автоматизация в горном деле" ISAMC-92, Екатеринбург, 1992; на международной конференции "Современные пути развития горного оборудования и технологий переработки минерального сырья", Днепропетровск, 1996; на I Украинской конференции по автоматическому управлению "Автоматика-94" УААК, Киев, 1994; на XII международной конференции "Автоматизация в горной промышленности" ISAMC-95, Гливице, Польша, 1995; на всесоюзной конференции "Методы и средства управления электроснабжением", Киев, 1983; на II республиканской научно-технической конференции "Энергетики и электротехники в борьбе за технический прогресс и повышение эффективности производства", Киев, 1979; на республиканском семинаре "Автоматизированные системы управления электроснабжением горных предприятий", Киев, 1978; на научно-технических советах института Гипроуглеавтоматизация" /Москва/, "Автоматуглерудпром" НПО "Красный металлист", 1976 - 1994; на энергетической секции Высшей технической школы, Хельсинки, Финляндия, 1983; на отчетных научно-технических конференциях и годичных собраниях ученых Киевского политехнического института, Киев, 1976-1993; на совместном заседании кафедр Горной электромеханики и Автоматизации горной

промышленности Национального технического университета Украины "КПИ", Киев, 1996;

Дубликации. По теме диссертации опубликовано 60 печатных научных работ, включая 1 монографию, 1 учебное пособие, 1 брошюру и 9 авторских свидетельств, 3 работы опубликованы в зарубежных изданиях.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и приложений. Содержит 390 страниц машинописного текста, включая 67 иллюстраций, 21 таблицу, список использованных источников из 197 наименований и приложения на 72 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Состояние вопроса и задачи исследования. Большой вклад в решение проблемы создания научных основ повышения надежности и экономичности функционирования ВОУ ГП внесли коллективы Научно-исследовательского института горной механики им. М.М. Федорова, Донецкого технического университета, Государственной горной академии Украины, Института геотехнической механики НАН Украины, Национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт", Конотопского НПО "Красный металлист", Днепрогипрошахта, Южгипрошахта, Ясногорского машзавода, Сумского завода "Насосэнергомаш", видные ученые - М.М. Федоров, А.П. Герман, В.С. Пак, Г.М. Еланчик, А.И. Веселов, В.Г. Гейер, А.В. Докукин, В.М. Попов, С.С. Руднев, И.П. Филь, П.Ф. Беликов, Г.М. Нечушкин, Н.А. Богомолов, Н.Г. Картавий, В.В. Пак, Н.В. Паламарчук, Э.И. Антонов, О.В. Адам, В.И. Груба, А.В. Праховник, В.Б. Малеев, Н.Г. Логвинов, Б.В. Виноградов, Л.М. Васильев, Г.М. Тимошенко, В.И. Лазаренко, Ю.Т. Разумный, Г.И. Данильчук, В.К. Голованов и др.

Однако, несмотря на большой объем выполненных фундаментальных исследований, не представляется возможным четко определить общие положения, обуславливающие обеспечение

надежности и экономичности эксплуатации всего комплекса оборудования ВОУ ПП, отсутствуют количественные меры надежности и экономичности эксплуатации этих установок, как резервированных систем оборудования, методики прогноза их работоспособности и экономичности функционирования. Изучение состояния проблемы позволило сформулировать следующие задачи исследований:

1. Исследовать закономерности изменения факторов внешней среды, влияющих на режим работы водоотливной установки, и разработать методики их количественной оценки.

2. Исследовать влияние способов резервирования и восстановления системы оборудования водоотливной установки на надежность ее работы и установить количественные меры их надежности.

3. Разработать критерий оценки безотказности функционирования водоотливной установки, как единой системы резервированного оборудования.

4. Разработать научные принципы диагностического обеспечения и энергосберегающего управления мощными водоотливными установками с учетом взаимодействия оборудования с внешней средой.

5. Разработать методики и средства технического диагностирования отдельных элементов оборудования водоотливной установки.

6. Разработать системы технического диагностирования и энергосберегающего управления водоотливными установками, устройства контроля водопритока, заиленности водосборника, учета энергозатрат.

Теоретические исследования режимов работы, стратегии резервирования и восстановления оборудования, способов управления и диагностирования водоотливных установок.

Режим функционирования ВОУ ГП во времени является циклическим. Продолжительность цикла T_n состоит из периода заполнения T_z водосборника водой и периода работы T_p насосной установки. Длительности цикла и его составляющих определяются объемом регулировочной емкости водосборника V_p , водопритоком Q , подачей насосной установки Q_p и степенью заиленности водосборника a

$$T_n = T_z + T_p = \frac{(1-a)V_p}{Q} + \frac{(1-a)V_p}{Q_p - Q} \quad (1)$$

Полезная вместимость водосборника зависит от степени его заиленности a , которая в свою очередь является случайной функцией $a(t)$ в период эксплуатации от t_0 до t_1 . Водоприток $Q(t)$ также является случайной величиной и зависит от гидрогеологии месторождения, периода эксплуатации горного предприятия, его глубины, сезона года и т.п. В процессе эксплуатации проточная часть насоса изнашивается, изменяется характеристика внешней сети, что предопределяет изменчивость подачи установки $Q_p(t)$. Поэтому, в общем случае, продолжительность цикла работы установки (1) определяется

$$T_n = t_3 - t_1 = \frac{V_p \int_{t_0}^{t_1} [1-v(t)] dt}{\int_{t_2}^{t_1} Q(t) dt} + \frac{V_p \int_{t_0}^{t_1} [1-v(t)] dt}{\int_{t_2}^{t_3} [Q_p(t) - Q(t)] dt}, \quad (2)$$

где $v(t)$ - скорость заиленности водосборника.

Количество циклов включения насосной установки в сутки (цикличность) с учетом (1) составляет

$$n_n = 24 / T_n = 24Q(Q_p - Q) / [(1-a)V_p Q_p] \quad (3)$$

Изменения объема воды в водосборнике в соответствии с (2) описываются уравнениями

$$V = \int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt, \quad \text{при } t_1 < t < t_2 \quad (4)$$

$$V = V_p \int_{t_2}^{t_3} [1 - v(t)] dt - \int_{t_2}^{t_3} [Q_p(t) - Q(t)] dt \quad \text{при } t_2 < t < t_3 \quad (5)$$

Основными параметрами, характеризующими режим работы ВОУ ГП с энергетической стороны, являются напор H_p и подача Q_p насосной установки, мощность N_n , КПД насоса η_p и трубопровода η_m . Более обобщенными показателями, интегрально характеризующими эффективность режима работы всего процесса откачки воды, являются удельные и приведенные удельные энергзатраты

$$y = W\phi / Q_p T; \quad (6) \quad \omega = y / H_r = W\phi / Q_p T H_r, \quad (7)$$

где $W\phi$ - фактический расход электроэнергии на водоотлив за период работы T ; H_r - геодезическая высота водоподъема.

В результате теоретических исследований установлена взаимосвязь между приведенными удельными энергзатратами (7) и КПД η всего комплекса оборудования ВОУ ГП

$$\omega = \omega_0 / \eta_p \eta_m \eta_d \eta_c = \omega_0 / \eta, \quad (8)$$

где ω_0 - удельная энергия идеального процесса водоподъема 1 м^3 чистой воды на 1 м высоты ($\omega_0 = 2,723 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^3 \cdot \text{м}$); η_d, η_c - КПД приводного двигателя насоса и электрической сети.

Установлено, что доминирующими факторами возмущения внешней среды, определяющими режим работы ВОУ ГП, являются изменения водопритока $Q(t)$ и степени заиленности водосборника - $a(t)$. В результате исследования процесса формирования водопритока (как случайной величины с определением закона распределения и периода стационарности), предложено вести его

описание посредством обобщенной 3-х ступенчатой модели, а физическую величину водопритока определять по времени заполнения ΔT_3 фиксированной части объема водосборника ΔV_3 с перепадом уровней воды Δh_3 ,

$$Q(t) = \frac{\Delta V_3}{\Delta T_3} = S \lim_{\Delta T_3 \rightarrow 0} \frac{\Delta h_3}{\Delta T_3} = S \frac{dh}{dt}, \quad (9)$$

где S - площадь горизонтального сечения водосборника.

Заиленность водосборника также является случайной величиной, проявляющей свойство функции одностороннего роста. Разработанная математическая модель оценки степени заиленности водосборника a позволяет разработать способ и средства контроля ее величины с заданными погрешностью B и доверительной вероятностью $P(B)$ этой информации. Суть способа состоит в оценке соотношения периодов времени T_{31} и T_{32} заполнения водой верхней незаиленной V_{p1} и нижней V_{p2} заиленной частей водосборника общей емкостью $V_p = V_{p1} + V_{p2}$

$$a = (V_{p2} / V_{p1} - T_{32} / T_{31}) / (1 + V_{p2} / V_{p1}) \quad (10)$$

Снижение погрешности B определения степени заиленности рекомендуется достигать посредством усреднения оценок по некоторому множеству измерений n . Например, для вероятности $P(B) = 0,05$ с учетом правила 3σ

$$P_{0,05} = \frac{3\sigma}{M_1} \left(\frac{1-a}{b} + 1 \right), \quad (11)$$

где M_1, σ - математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение оценок T_{31} .

Согласно ДСТУ 2860-94 ВОУ III следует классифицировать как объект со скользящим резервированием, основная часть

оборудования которого функционирует в ненагруженном резерве. На рис.1 приведена разработанная логическая схема расчета надежности ВОУ ГП, которая включает: В - водосборник, ПУ - приемное устройство, ГП - трубопровод подводящий, НА - насосный агрегат, ОК - обратный клапан, З - задвижка, ГН - трубопровод нагнетательный. Возмущающие факторы внешней среды: Q - водоприток, ρ - плотность воды, P_a - атмосферное давление на поверхность воды, T_w - температура воды. Последовательность элементов комплекта оборудования насосного агрегата НА образуют участки системы ВОУ ГП - насосные установки НУ1, НУ2. В течение заданного времени работы $(0, t)$ допускаются отказы в отдельности на каждом из участков НУ1, НУ2 и вызванные ими кратковременные перерывы в работе. При этом, для каждого из участков значение имеет свойство готовности, которое количественно характеризуется функцией готовности $\Gamma(t)$ или коэффициентом готовности K_r . В процессе эксплуатации участков НУ1, НУ2 чередуются случайные периоды времени наработки на отказ T_i и восстановления T_{w_i} . Для наиболее распространенного случая, когда эти периоды имеют показательный закон распределения, количественные значения показателей надежности для каждого из участков НУ составляют

$$\Gamma_0(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \exp[-(\lambda + \mu)t], \quad (12)$$

$$K_r = \lim_{t \rightarrow \infty} \Gamma(t) = \mu/(\lambda + \mu), \quad (13)$$

где λ и μ - интенсивности отказов и восстановления участка.

Для установления зависимостей показателей надежности резервированной восстанавливаемой системы ВОУ ГП воспользуемся методом дифференциальных уравнений для возможных состояний системы (рис.1), отображаемых соответствующим графом состояний (рис.2). При этом система может находиться в одном из трех состояний:

- 0 - оба участка системы работоспособны, рабочий участок НУ1;
- 1 - работает участок НУ2 при неработоспособном оборудовании участка НУ1;
- 2 - оба участка неработоспособны.

Возможных вариантов восстановлений - три, согласно рис. 2.

Система дифференциальных уравнений, например, для случая состояния системы в соответствии с графом рис.2, В запишется

$$\left. \begin{aligned} P_0'(t) &= -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t); \\ P_1'(t) &= \lambda P_0(t) - \lambda P_1(t) - \mu P_1(t) + 2\mu P_2(t); \\ P_2'(t) &= \lambda P_1(t) - 2\mu P_2(t). \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Для решения полученной системы дифференциальных уравнений следует учесть, что $P_0 + P_1 + P_2 = 1$ и начальные условия при $t=0$: $P_0(0)=1$, $P_1(0)=P_2(0)=0$. Воспользовавшись прямым и обратным преобразованием Лапласа получим

$$\Gamma_b(t) = 1 - \frac{\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2 + \mu^2} \left[1 + \frac{1}{\sqrt{\mu^2 + 4\lambda\mu}} (y_2 e^{y_1 t} - y_1 e^{y_2 t}) \right], \quad (15)$$

где $y_{1,2} = -(2\lambda + 3\mu \pm \sqrt{\mu^2 + 4\lambda\mu}) / 2$;

$$K_r^b = 2[1 + \lambda/\mu] / [(1 + \lambda/\mu)^2 + 1]. \quad (16)$$

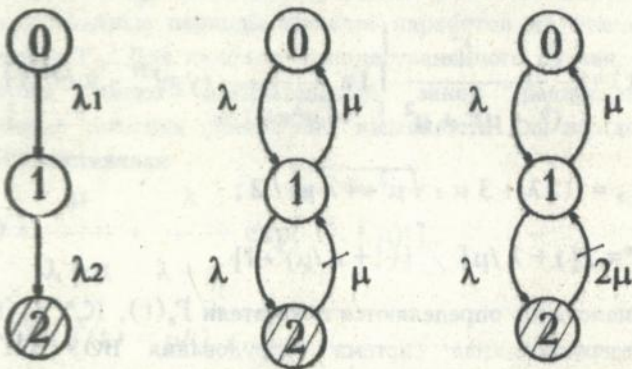
Аналогично определяются показатели $\Gamma_a(t)$, K_r^a , $\Gamma_6(t)$, K_r^6 .

Резервированная система оборудования ВОУ ПП должна функционировать между капитальными ремонтами безотказно. Для определения условий вероятности безотказной работы ВОУ ПП состояние 2 для графов рис.2,6,в должно быть поглощающим. Выполняя операции аналогичные (14), (15), получим

$$P_{6,b}(t) = \frac{1}{Z_2 - Z_1} (Z_2 e^{Z_1 t} - Z_1 e^{Z_2 t}), \quad (17)$$



Рисунок - 1 Логическая схема расчета надежности резервированной системы оборудования ВОУ ГП



а - без восстано-
вления

б - с восстано-
влением

в - с восстановлением
без ограничений

Рисунок - 2 Графы состояний резервированной системы оборудования ВОУ ГП

где $Z_{1,2} = -(\mu + 2\lambda \mp \sqrt{4\lambda\mu + \mu^2}) / 2$.

Последний результат позволяет определить среднее время безотказной работы системы

$$m_t = \int_0^{\infty} P(t) dt, (m_t)_a = 3/2 \lambda; (18) \quad (m_t)_6 = (\mu + 2\lambda) / \lambda^2. \quad (19)$$

Увеличение среднего времени безотказной работы составляет:

$$(m_t)_6 / (m_t)_a = 2(\mu + 2\lambda) / 3\lambda. \quad (20)$$

Так, при значениях $\lambda = 0.05$ 1/ч и $\mu = 0.1$ 1/ч среднее время безотказной работы повышается в 3 раза.

Для сравнения различных вариантов резервирования и восстановления системы оборудования ВОУ ГП на рис.3 приведены зависимости функции готовности $\Gamma(t)$, вычисленные для состояний резервированной системы, определяемых графами рис.2 (а, б, в), а также для нерезервированной системы - $\Gamma_0(t)$ по (12) при тех же значениях λ и μ . Коэффициенты готовности при этом составляют: $K_r^0 = 0.67$, $K_r^a = 0.72$, $K_r^6 = 0.85$, $K_r^b = 0.92$.

Таким образом, для повышения готовности резервированной системы оборудования ВОУ ГП необходимо стремиться к созданию условий осуществления ненагруженного резерва и восстановления без ограничений, когда существенно повышается как готовность, так и безотказность всей системы оборудования ВОУ ГП.

Учитывая наличие вторичных и кратных отказов, а также неизбежность возникновения необратимых функциональных повреждений ВОУ ГП, в процессе эксплуатации наблюдается снижение наработок T_1 и рост периодов восстановления $T_{в1}$ (рис.4). Критичным является их равенство, после чего наработка T_1 резервного участка становится меньше периода восстановления $T_{в1}$ поврежденного участка, и резервированная система ВОУ ГП становится неработоспособной. Поэтому критерием ненадежности системы является равенство (рис.4) интегралов вероятностей

распределения функций периодов восстановления $T_{в1}$ и наработки на отказ T_1 резервируемых участков системы НУ1, НУ2 в период эксплуатации $\tau_k - \tau_{k+1}$ между очередными капитальными ремонтами

$$И = \frac{\int_{\tau_k}^{\tau_{k+1}} f_1(T_{в1}) d\tau_1}{\int_{\tau_k}^{\tau_{k+1}} f_2(T_1) d\tau_2} > 1. \quad (21)$$

При этом критерий надежности системы

$$H=1-И, \quad 0 < H < 1. \quad (22)$$

Аналогично, критерий правильность функционирования ВОУ ГП по свойству экономичности с учетом (8) запишется

$$\Pi = \omega_0 / \omega = \eta, \quad 0 < \Pi < 1. \quad (23)$$

Для случая, когда изменения определяющего параметра критерия (22), (23) можно аппроксимировать линейной равномерно изменяющейся функцией

$$H(t) = H_H - V_H t; \quad \omega(t) = \omega_H + V_\omega t; \quad \eta(t) = \eta_H - V_\eta t, \quad (24)$$

то представляется возможным определить прогнозное время работоспособной и правильной эксплуатации ВОУ ГП

$$T_H = (H_H - H_{ГР}) / V_H; \quad T_\omega = (\omega_{ГР} - \omega_H) / V_\omega; \quad T_\eta = (\eta_H - \eta_{ГР}) / V_\eta, \quad (25)$$

где, H_H , ω_H , η_H и $H_{ГР}$, $\omega_{ГР}$, $\eta_{ГР}$ - соответственно начальные и граничные значения определяющих параметров; V_H , V_ω , V_η - скорости изменения этих параметров.

В качестве граничных значений показателей экономичности работы ВОУ ГП рекомендуется использовать их средние статистические данные для отрасли $\omega_{ГР} = 5.162 \text{ Втч/м}^3 \cdot \text{м}$ и $\eta_{ГР} = 0.52$, тогда критерии экономичности запишутся

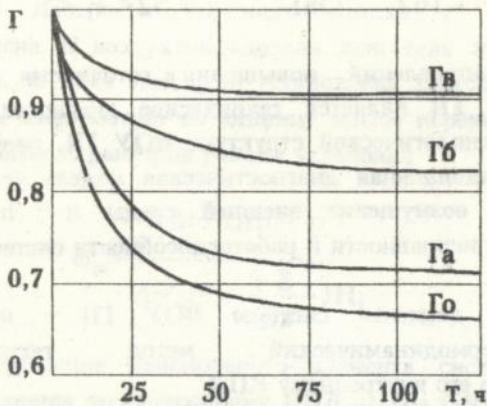


Рисунок - 3 Графики функций готовности системы оборудования ВОУ ГП при различных вариантах восстановления

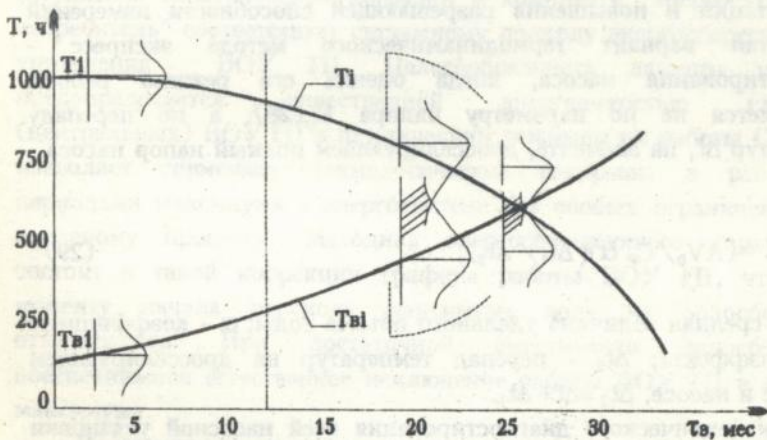


Рисунок - 4 Графическая интерпретация критерия оценки безотказности функционирования резервированной системы оборудования ВОУ ГП

$$2.723 < \omega < 5.162, \quad (26) \quad 0.52 < \eta < 1. \quad (27)$$

Одним из направлений повышения готовности системы оборудования ВОУ ГП является техническое диагностирование. Основываясь на технологической структуре ВОУ ГП, разработана структурно - функциональная диагностическая модель установки, которая учитывает возмущение внешней среды и позволяет установить функции исправности и работоспособности системы ВОУ ГП.

Для главного элемента системы ВОУ ГП - насоса - предлагается термодинамический метод технического диагностирования по его внутреннему КПД

$$\eta_p = 1 / (1 + C_p \Delta t / A g H_p), \quad (28)$$

где Δt - перепад температур между входным и выходным потоками насоса; C_p - удельная теплоемкость воды, A - тепловой эквивалент.

С целью приспособления к сложным горным условиям эксплуатации и повышения разрешающей способности измерений разработан вариант термодинамического метода экспресс - диагностирования насоса, когда оценка его режима работы выполняется не по параметру напора H_p (28), а по перепаду температур Δt_1 на элементе, дросселирующем полный напор насоса - Δp

$$\eta'_p = (AV_0 / C_p \alpha) (\Delta t_1 / \Delta t_2), \quad (29)$$

где V_0 - средняя величина удельного объема воды; α - коэффициент дроссельэффекта; Δt_2 - перепад температур на дросселирующем элементе и насосе, $\Delta t_2 = \Delta t + \Delta t_1$.

Для технического диагностирования всей насосной установки рекомендуется использовать композицию термодинамического метода диагностирования насоса и его приводного двигателя. При этом внутренний КПД электропривода предлагается оценивать по

удельной плотности теплового потока Γ через поверхность теплообмена B воздухоохладителя двигателя и его потребляемую мощность $N_{\text{э}}$. Для этой цели установлена зависимость приведенных удельных энергозатрат на единицу массы перекачиваемой воды ω_m от режимных параметров работы установки

$$\omega_m = \frac{(\Delta t + \alpha \Delta p) C_p}{AV_0 \left(1 - \frac{rB}{N_{\text{э}}}\right) H_r} \quad (30)$$

Определение неисправного элемента системы согласно (8) осуществляется по внутреннему КПД насоса (29), его привода η'_d и трубопроводной сети η_r

$$\eta'_d = 1 - rB/N_{\text{э}}, \quad (31) \quad \eta_r = \Delta / \rho g H_r, \quad (32)$$

Организация работы ВОУ ГП в режиме потребителя - регулятора электрической нагрузки в комплексе "энергосистема - потребитель" соответствует системному подходу энергосберегающего управления ВОУ ГП. Целесообразность данного режима предопределяется существенной энергоемкостью главных (центральных) ВОУ ГП и циклическим режимом их работы (3), что позволяет совмещать технологические перерывы в работе с периодами максимума в энергосистеме без особых ограничений по основному процессу. Методика энергосберегающего управления состоит в такой коррекции графика работы ВОУ ГП, чтобы к моменту начала периода максимума вода из водосборника откачивалась. При достаточной вместимости водосборника обеспечивается естественное исключение работы ВОУ ГП в период максимума.

Постановка вопроса о такой организации работы ВОУ ГП обоснована А.В. Праховником в 1971 г. При этом упрощенной целевой функцией такого режима электропотребления является минимизация затрат на производство, распределение и потребление

единицы энергии за интервал времени T (введена В.В. Михайловым)

$$\Sigma Z = \int_0^T P(t)M(t)e + \int_0^T \Delta P(t)b + \int_0^T P(t)a_0 / T + 3n > \min$$

где $P(t)$ - функция мощности электропотребления и соответственно доли производства энергии; $\Delta P(t)$ - функция потерь энергии в распределителях; $M(t)$ - функция топливной составляющей в зависимости от графика загрузки; e - стоимость единицы топлива; b - стоимость единицы электроэнергии; a_0 - стоимость единицы мощности, участвующей в пиковой части графика нагрузки; $3n$ - удельные приведенные затраты предприятия на создание энергосберегающих режимов.

Для обеспечения условий энергосберегающего режима работы ВОУ ГП с учетом (1), (4), (5) установлены следующие требования к подаче установки Q_p и регулировочной емкости водосборника V_p

$$\frac{Q_p}{Q} > 1 / \left[1 - \frac{(1+a)T_m}{T_n} \right]; \quad (33) \quad V_p > (1+a)QT_m + \Delta V_d, \quad (34)$$

где T_m , T_n - периоды максимума и провала в графике нагрузки энергосистемы; ΔV_d - допустимый остаточный объем воды в водосборнике на момент начала максимума.

Исследованиями установлено, что обеспечение условий энергосберегающего режима работы ВОУ ГП возможно различными способами управления в зависимости от условий эксплуатации. Исходя из стратегии управления в основу этих способов заложены два принципа управления: предпикового включения насоса и резервного аккумуляирования водопритока. В первом случае с приближением к началу максимума предусматривается предпиковое включение насоса при условии, когда объем воды в водосборнике соответствует заданному его значению V_p .

$$V_3 = V_p \int_{t_0}^{t_1} [1 - v(t)] dt - \alpha t, \quad (35)$$

где α - скорость убывания величины задания.

Из сравнения заданного (35) и фактического (5) законов изменения объема воды в водосборнике получаем искомое условие энергосберегающего управления

$$\alpha(t_3 - t_2) = \int_{t_2}^{t_3} [Q_p(t) - Q(t)] dt. \quad (36)$$

При различных способах предпикового включения насоса предусматриваются различные варианты достижения условия (36) и обеспечения минимального объема воды в водосборнике V_{\min} на момент начала максимума t_m , что соответствует целевой функции энергосберегающего управления

$$V \rightarrow V_{\min} < \Delta V_d, \quad \text{при } t \rightarrow t_m. \quad (37)$$

Математические модели, описывающие режимы работы ВОУ ГП при различных способах управления по реализации условий (36), (37), предусматривают определение критериев качества управления - доли остаточного объема воды в водосборнике - $\Delta V_d / V_p$ и требуемого соотношения между подачей установки и водопритоком - Q_p / Q .

Экспериментальные исследования влияния элементов ВОУ ГП на надежность работы всей установки выполнены методом экспертных оценок мнений специалистов. При этом установлено следующее ранжирование элементов ВОУ ГП: насос - 38%, приемное устройство - 18%, зашламляемость водосборника - 13%, управляемая задвижка - 8%, обратный клапан - 6%, заливной насос - 6%, высоковольтная ячейка - 4%, аппаратура управления - 3%, приводной двигатель - 2%, трубопроводы, арматура - 2%.

Для главного элемента ВОУ ГП - насоса выполнены экспериментальные исследования влияния состава шахтных вод на процесс изнашивания проточной части насоса. В объем исследований входило определение массовой концентрации взвеси и

вязкости в пробах перекачиваемой шахтной воды, а также исследование гранулометрического состава твердой взвеси в воде, выполненное на установке GRANULOMETRE 715 E 482 с разрешающей способностью фракций частиц от 1 до 192 мкм. Анализ показал, что существенное (на порядок) отклонение массовой концентрации взвеси в воде практически не влияет на вязкость жидкости, а средние размеры частиц взвеси (6 - 28 мкм) на порядок меньше допустимых значений для насосов по ГОСТу 10407-70 и ТУ заводов изготовителей. Следовательно, аргумент о чрезмерно быстром абразивном износе насоса по данной группе шахт не подтверждается, что свидетельствует о возможном сопутствующем кавитационном изнашивании. Этот результат использован при разработке научных принципов диагностического обеспечения насосной установки.

Экспериментальные исследования разработанного варианта термодинамического метода технического диагностирования насоса выполнены на установке, оборудованной насосом ВНМ-18 с подачей - $18 \text{ м}^3/\text{ч}$, напором - 50 м и КПД - 0,50 - 0,55. Среднеквадратическое отклонение значений внутреннего КПД насоса, полученных термодинамическим методом, составляет 6% по отношению к статопараметрическим данным полного КПД насоса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных научных исследований решена крупная научно-техническая проблема, заключающаяся в повышении надежности и экономичности функционирования мощных водооливных установок путем разработки научных принципов создания систем энергосберегающего управления и технического диагностирования, что имеет важное народнохозяйственное и социальное значение.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. На основании исследования закономерностей изменения факторов внешней среды, установлено, что доминирующее влияние на режим работы водоотливной установки во времени оказывают изменения водопритока и заиленности водосборника. Установленные закономерности данных факторов позволили разработать способы и технические средства их количественной оценки.

2. В результате исследования влияния способов резервирования и восстановления на надежность водоотливной установки, как единой системы, установлено, что для повышения ее надежности необходимо стремиться к созданию условий осуществления ненагруженного (скользящего) резерва и восстановления без ограничений. При ненагруженном активном резервировании восстановление способствует повышению надежности водоотливной установки как за счет готовности, так и за счет безотказности, а среднее время наработки на отказ возрастает в 2-3 раза.

3. Разработанный критерий оценки безотказности функционирования водоотливной установки, как единой системы резервированного оборудования, определяется из условия равенства интегралов вероятности распределений функций периодов восстановления и наработки на отказ резервируемых элементов системы и позволяет прогнозировать время безотказной эксплуатации установки.

4. Разработанная структурно-функциональная диагностическая модель взаимодействия элементов оборудования водоотливной установки с возмущающими факторами внешней среды позволяет установить зависимости изменения совокупностей диагностических параметров при соответствующих неисправностях системы и на этой основе разработать методику и систему комплексного рабочего диагностирования всей установки.

5. Установленные закономерности изменения расходных характеристик насоса при соответствующих его неисправностях

позволяют разработать способ рабочего экспресс-диагностирования насоса для контроля его работоспособности и правильности функционирования при монтаже и в процессе эксплуатации.

6. На основании теоретических и экспериментальных исследований процессов преобразования энергии в насосе и насосной установке установлены зависимости их энергетических показателей (удельных энергозатрат, КПД) от режимных параметров работы, которые положены в основу количественной оценки надежности и экономичности эксплуатации данного оборудования. Это позволило использовать термодинамический метод для рабочего экспресс-диагностирования насоса и насосной установки.

7. Разработанные принципы обеспечения внепиковых режимов работы водоотливных установок, отличающиеся наличием учета внешних ограничений энергосистемы и возмущений по водопритоку и заилности водосборника, что позволяет реализовывать системный подход при организации работы водоотливных установок и разработать энергосберегающие режимы их работы, а в конечном счете минимизировать затраты на процесс водоотлива в комплексе "энергосистема - потребитель". На этой основе разработаны способы управления, а также установлены технологические требования к выбору емкости водосборника и подачи установки, что позволяет реализовать функцию энергосберегающего управления водоотливом как на действующих шахтах, так и в практике проектирования.

8. Исследованием влияния элементов водоотливной установки на надежность всей системы установлено, что главными элементами, определяющими ее надежность, являются насос (38%) с его подводным устройством (18%) и регулировочная емкость водосборника (13%). Для основного элемента - насоса - выполнены исследования проб перекачиваемой шахтной воды по определению концентрации взвеси, кинематической вязкости и гранулометрического состава. На этой основе предполагается концепция не только абразивного, но и кавитационного износа

насоса, что позволяет учесть данный факт при разработке принципов диагностического обеспечения насосной установки.

9. Разработанные системы технического диагностирования и энергосберегающего управления, отдельные устройства контроля водопритока, заилленности водосборника, подачи насоса, удельных энергозатрат доведены до уровня серийного и опытно-промышленного производства с внедрением на шахтах Минуглепрома Украины. Общий годовой экономический эффект от внедрения разработок составил 14 млн.грн., в том числе долевое участие автора 2,9 млн.грн.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Шевчук С.П. Повышение эффективности водоотливных установок // Учебное пособие для горных специальностей электромеханического профиля. - Киев: УМК ВО Минвуза УССР, 1990-103с.
2. Данильчук Г.И., Шевчук С.П., Василенко П.К. Автоматизация электропотребления водоотливных установок. - Киев: Техника, 1981. - 102 с.
3. Шевчук С.П. Основные направления обеспечения надежности и экономичности функционирования гидромеханического оборудования главных водоотливных установок горных предприятий // Материалы междунар. научно-практич. конф. "Проблемы геогидромеханики в горном деле и строительстве". Киев, 1996. - с.30-31.
4. Шевчук С.П. Внепиковое управление водоотливной установкой при переменном притоке // Изв. вузов, Горн. журнал, 1993, №2. - С.94-98.
5. Шевчук С.П., Тертышная Е.Т., Диденко В.М. Диагностика энергетической эффективности насосной установки // Вестн.

Киев.политехн. ин-та. Горн. электромеханика и автоматика .-
Киев : Лыбидь, 1993, №24.- С. 60-66.

6. Шевчук С.П., Данильчук Г.І. Позапікове управління насосними установками шахт//Тематич. збірник доповідей І-ї Української конференції з автоматичного керування "Автоматика-94" УААК, Київ, 1994.- С.456.
7. Шевчук С.П., Башлак А.Н. Коррекция давления установившегося потока жидкости в подводящем трубопроводе насоса//Вест. Киев. политехн. ин-та. Горн. электромеханика и автоматика .- Киев : Лыбидь, 1993, №24.- С. 57-60.
8. Шевчук С.П. О влиянии внепикового управления электропотреблением водоотлива горных предприятий на допустимое время перерыва в его работе//Вестн. Киев. политехн. ин-та. Горн. электромеханика и автоматика.- Киев : Лыбидь, 1992, №23.-С.34-38.
9. Шевчук С.П. Термодинамический метод диагностирования мощных насосных установок горных предприятий//Материалы междунар. конф. "Современные пути развития горного оборудования и технологий переработки минерального сырья". Днепропетровск, 1996.-С.16.
10. Данильчук Г.И., Шевчук С.П., Комаха А.Р. Взрывобезопасная аппаратура для автоматизации водоотливных установок ВАВ. 1М//Вестн. Киев. политехн. ин-та. Горн. электромеханика и автоматика.- Киев: Лыбидь, 1993, №24.-С.33-39.
11. Шевчук С.П. Устройство контроля наличия подачи насоса //Вестн. Киев. политехн. ин-та. Горн. электромеханика и автоматика.- Киев: Лыбидь, 1993, №24.-С. 53-56.
12. Шевчук С.П., Русаловський А.В., Матвиенко Н.П. Модернизация аппаратуры автоматизации шахтных водоотливных установок//Уголь Украины, 1988, №10.- С.27-29.

13. Шевчук С.П., Толубицкий А.П. Повышение надежности внепикового режима электропотребления шахтного водоотлива // Вестн. Киев. политехн. ин-та. Горн. электромеханика и автоматика. - Киев: Лыбидь, 1991, №22. - С.47-49
14. Шевчук С.П., Русаловский А.В., Горбань А.А. К вопросу диагностирования шахтных водоотливных установок // Вестн. Киев. политехн. ин-та. Горн. электромеханика и автоматика. - Киев. Лыбидь, 1990, № 21, - С. 23-26.
15. Шевчук С.П. Внепиковое управление шахтной водоотливной установкой при переменном притоке // Сб. трудов XI междунар. конф. "Автоматизация в горном деле" I. САМС. - Екатеринбург: 1992, - С. 111-112.
16. Шевчук С.П., Русаловский А.В. Контроль заилённости шахтных водосборников // Вестн. Киев. политехн. ин-та. Горн. электромеханика и автоматика. - Киев: Лыбидь, 1992, №23; С.38-42.
17. Шевчук С.П., Данильчук Г.И. Автоматическое измерение притоков шахтных вод // В сб. Горная электромеханика и автоматика. - Киев: Техника, 1980, вып. 36. - С. 23-25.
18. Шевчук С.П. Исследование и разработка статического измерителя энергии // Вестн. Киев. политехн. ин-та. Горная электромеханика и автоматика. - Киев: Высшая школа, 1985, № 16, - С. 27-32.
19. Шевчук С.П., Пирский А.А. Внепиковое управление водоотливными установками // Сб. трудов XII международной конференции по автоматизации горной промышленности. IСAМС'95. - Гливице, Польша, 1995, - С. 381-386.
20. Патент України № 93060585, МКВ5FO4 4В51/00. Пристрій для визначення коефіцієнта корисної дії насосів / С.П.Шевчук, О.Т.Тертишна, В.М.Діденко. - Пріоритет від 05.01.1993.
21. А.С. 1767232 СССР МКИ G05D9/12. Устройство управления насосной установкой / С.П.Шевчук, А.В.Русаловский, Н.П.Матвиенко. Оpubл. 30.10.1992, Бюл. №37.

22. А.С. 1372284 СССР, МКИ G05D9/12. Устройство для определения заиленности водосборника / С.П.Шевчук, А.В. Русаловский, Н.П.Матвиенко. - Оpubл.12.12.1992, бюл. № 48.
23. А.С. 1372284 СССР, МКИ G05D9/12. Устройство управления электропотреблением водоотлива / С.П.Шевчук - Оpubл.07.02.1988, бюл. № 5.
24. А.С. 813353 СССР, МКИ G05BII/00. Устройство для управления технологическим процессом, например водоотливом шахт / Г.И.Данильчук, С.П.Шевчук - Оpubл.15.03.1981, бюл. № 10.
25. А.С. 881691 СССР, МКИ G05D9/12. Устройство для автоматического управления водоотливом открытых горных работ / Г.И.Данильчук, С.П.Шевчук, С.Г.Данильчук. - Оpubл. 15.11.1981, бюл. № 42.
26. А.С. 1367098 СССР, МКИ H02J13/00. Система контроля и управления электропотреблением шахт / С.П.Шевчук, А.И.Лепихов, Е.Н.Янчук. - Оpubл. 15.01.1988, бюл. № 2.
27. А.С. 1725197 СССР, МКИ G05D9/12. Устройство для управления электропотреблением водоотливной установки / С.П.Шевчук, А.В.Русаловский. Оpubл. 07.04. 1992, бюл. №13.
28. А.С. 1479886 СССР, МКИ G01R21/06. Способ определения активной и реактивной мощности и устройство для его осуществления / А.В.Русаловский, С.П.Шевчук. - Оpubл. 15.05.1989, бюл. № 13.

А Н Н О Т А Ц И Я

Шевчук С.П. Повышение надежности и экономичности функционирования мощных водоотливных установок горных предприятий (рукопись).

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.16 - "Горные машины". Институт геотехнической механики НАН Украины, Днепропетровск, 1997.

Защищаются научные положения по разработке принципов количественной оценки надежности и экономичности функционирования горного оборудования мощных водоотливных

установок, на основании которых созданы методики и средства технического диагностирования и энергосберегающего управления. Доминирующими факторами возмущения внешней среды, влияющими на режим работы водоотливной установки, являются изменения водопритока и степени заиленности водосборника.

Установлена целесообразная стратегия резервирования и восстановления комплекса оборудования водоотливной установки и разработан критерий оценки безотказности его функционирования, как единой системы резервированного оборудования. Осуществлено промышленное внедрение разработанных методик, систем технического диагностирования и энергосберегающего управления с годовым экономическим эффектом 14 млн. грн.

Ключевые слова: горное электромеханическое оборудование, режим работы, критерии надежности и экономичности функционирования, резервированная система оборудования.

A N N O T A T I O N

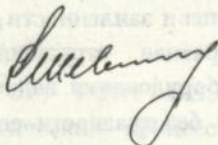
Shevchuk S.P. The promotion of reliability and thriftiness of functioning of the water-ebbing installations at the mining enterprises.

Doctorate (Tech. Sc) thesis by speciality 05.15.16 - "Mining Machines", Institute of geotechnical mechanics of NAS Ukraine, Dnepropetrovsk, 1997.

Defending of the scientific theses about the elaboration of the principles of quantitative valuation of reliability and thriftiness of functioning of the mining electromechanical equipment of powerful water-ebbing installations, on the base of what are created the methods and safe-energy control. On the base of exploration of the process of inter-action of the working wheel of the pump with the pumping mining water found the perspective directions of the scientific explorations in the field of water-ebb installation reliability; there some recommendations are established for the practice of it's projekt, creation and exploitation.

There is also established a good strategy of reservation and regeneration of complex of the water-ebb installation equipment. There is realized an industrial induction of the elaborated methods, systems of technical diagnostic and safe-energy control with annual economical effect 14 mln.grn.

Соискатель



С.П. Шевчук

АВТОРЕФЕРАТ

Відповідальний за випуск В.Г. Перепелиця

Підписано до друку 21.04.97. Умовн. друк.

арк. 2,0. Тираж 100. Замовлення № 132

Лаб. офсетного друку НТУУ "КПІ".

252056, Київ - 56, пр. Перемоги, 37

435843

AB 37.756