

**КИЕВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ ИМЕНИ 50-ЛЕТИЯ ВЕЛИКОЙ ОКТЯБРЬСКОЙ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ**

**На правах рукописи**

**СЕРЕЗЕНТИНОВ Геннадий Владимирович**

**УДК 621. 316. 717: 519. 24**

**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РУДНИЧНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ  
АППАРАТОВ С УЧЕТОМ СТОХАСТИЧЕСКИХ  
РЕЖИМОВ РАБОТЫ**

**Специальность 05. 09. 03. -**

**Электрооборудование (промышленность)**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание  
ученой степени кандидата  
технических наук**

**Киев - 1989**

Работа выполнена в Донецком ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте.

Научный руководитель

- кандидат технических наук,  
доцент МАКАРОВ М.И.

Официальные оппоненты

- доктор технических наук,  
профессор КУРЕННЫЙ Э.Г.

- кандидат технических наук,  
доцент ТАРАДАЙ В.И.

Ведущая организация

- Всесоюзный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт взрывозащитного и рудничного электрооборудования (ВНИИВЭ)

Защита состоится "16" октября 1989 г. в 15 часов на заседании специализированного совета К 068.14.18 в Киевском политехническом институте (252056, г. Киев, проспект Победы, 37).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Киевского политехнического института.

Автореферат разослан "14" сентября 1989 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
К 068.14.18,  
кандидат технических наук,  
доцент



В.Д. Романенко

## А Н Н О Т А Ц И Я

Цель реферируемой работы – повышение эффективности использования рудничных взрывозащищенных пускателей (РВП) и устройств управления (УУ) в результате выбора их по эквивалентной токовой нагрузке с учетом горно-геологических и технологических параметров очистных забоев и стохастических режимов работы, а также в результате предотвращения тяжелых коммутаций в категории применения АС-4.

В диссертационной работе решаются следующие задачи:

1. Исследуются стохастические режимы работы РВП и УУ наиболее типичных забойных технологических машин и механизмов (ТММ), применяемых в очистных забоях угольных шахт, для определения временных и токовых характеристик.

2. Разрабатывается вероятностная модель функционирования рудничных коммутационных аппаратов (РКА) очистных комбайнов и забойных скребковых конвейеров, позволяющая установить взаимосвязь между эквивалентной токовой нагрузкой и коэффициентом машинного времени.

3. Разрабатывается метод выбора РВП и УУ по эквивалентной токовой нагрузке с учетом горно-геологических и технологических параметров очистных забоев угольных шахт.

4. Анализируется характер изменения активного сопротивления силовой токоведущей цепи РВП и УУ и дается оценка неравномерности нагрева ее элементов в продолжительном режиме работы.

5. Разрабатывается метод расчета коммутационной износостойкости главных контактов и длительно допустимой присоединенной мощности коммутационных аппаратов.

Автор защищает следующие положения:

1. Метод выбора РВП и УУ по эквивалентной токовой нагрузке с учетом горно-геологических и технологических параметров очистных забоев угольных шахт.

2. Автоматизированный метод объединения сменных массивов случайных временных и токовых величин в однородные выборочные совокупности посредством парного критерия  $t$  -Стьюдента.

3. Вероятностную модель стохастических режимов работы РВП и УУ, учитывающую характер чередования перерывов и токовых нагрузок с признаками категорий применения АС-3 и АС-4.

4. Метод расчета коммутационной износостойкости и устройство предотвращения тяжелых коммутаций контактора РВП и УУ в категории применения АС-4 для ТММ очистных забоев, а также рекомендации по

снижению неравномерности нагрева силовой токопроводящей цепи.

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В основных направлениях экономической политики партии ставится задача к концу столетия снизить металлоемкость выпускаемой продукции почти в 2 раза.

Ежегодный выпуск РВП и УУ в течение последних 15 лет составляет 76,4...87,6 тыс. штук. Масса РВП во взрывонепроницаемом корпусе достигает 115...400 кг, а УУ - 1400...3400 кг. В то же время коэффициент их загрузки по току составляет 0,3...0,4. Кроме того, коэффициент, характеризующий отношение номинального тока аппарата к его массе, высоте и глубине, за последние 15 лет для РКА уменьшился в 2...2,5 раза.

В настоящее время на угольных шахтах имеет место несоответствие мощности электродвигателей мощности рудничных пускателей: в эксплуатации находится в 9,8 раза больше пускателей, имеющих номинальные токи 240(250) А, чем электродвигателей соответствующей мощности, а пускателей, имеющих номинальные токи 63 А, наоборот, в 2 раза меньше.

Одной из основных причин столь низкой эффективности использования рудничных коммутационных аппаратов является несовершенство существующих методов их выбора. Поэтому разработка метода выбора РВП и УУ, учитывающего их реальные эксплуатационные режимы работы, а также горно-геологические и технологические параметры очистных забоев, является весьма актуальной задачей, так как ведет к повышению эффективности использования РВП и УУ, а следовательно, к снижению их удельной металлоемкости.

Диссертационная работа выполнялась в соответствии с целевой комплексной отраслевой программой Ц-12 Минуглепрома СССР на период 1981...1985 гг. по проблеме 0.05.02 "Создать надежные и безопасные системы электроснабжения и электрооборудования высокопроизводительных очистных и проходческих машин и комплексов" и с отраслевой программой 013710 на период 1986...1990 гг. "Разработка принципов построения и освоение электрооборудования нового технического уровня, повышение безопасности и эффективности электроснабжения с целью обеспечения высокопроизводительной работы технологического оборудования и экономичного расходования электроэнергии на шахтах и разрезах", а также в соответствии с исследованиями по плану научно-исследовательских работ Донецкого политехнического института

(№ ГР 81080638).

Методы исследований. При решении поставленных в диссертационной работе задач использован аппарат теории вероятностей и математической статистики, методы регрессионного анализа и статистического моделирования.

Моделирование стохастических режимов работы РВП и УУ выполнено на основе метода Монте-Карло в результате генерации на ЭВМ равномерно и нормально распределенных случайных чисел.

Научная новизна заключается в разработке:

метода выбора РВП и УУ механизмов очистных забоев угольных шахт, который осуществляется по эквивалентной токовой нагрузке электродвигателей, представленной постоянной составляющей и степенной функцией коэффициента машинного времени, выраженного через суточную добычу и горно-геологические параметры угольных лав;

вероятностной модели стохастических режимов работы РКА, учитывающей вероятности чередования однородных перерывов длительностью до 40 с, от 40 до 1800 с и более 1800 с, а также вероятности однородных коммутаций с признаками категорий применения АС-3 и АС-4;

автоматизированного метода объединения сменных массивов случайных временных и токовых величин в однородные выборочные совокупности посредством парного критерия  $t$ -Стьюдента, когда по вычисленному  $t$ -критерию каждой пары массивов в совокупности объединяют только пары, удовлетворяющие критерию  $t$ -Стьюдента, причем в пределах выборочной совокупности любая пара сменных массивов является однородной;

метода расчета коммутационной износостойкости главных контактов контактора, учитывающего параметры эксплуатационных режимов работы рудничных коммутационных аппаратов и позволяющего определить максимально допустимую присоединенную мощность.

Практическая ценность. Предлагаемый метод выбора по эквивалентной токовой нагрузке позволяет на стадиях проектирования и эксплуатации систем электроснабжения очистных забоев угольных шахт применять РВП и УУ рациональных типоразмеров, как правило, меньших, что приводит к снижению их металлоемкости и стоимости. Предлагаемая вероятностная модель стохастических эксплуатационных режимов работы РКА позволяет рассчитывать значения суммарных временных и токовых нагрузок в любой точке системы электроснабжения очистного забоя, уточнять выбор групповых коммутационных аппаратов, соединительных кабелей и оценивать загрузку транзитных шин. Кроме того,

эту модель целесообразно использовать при выполнении тепловых расчетов на стадии конструирования рудничных взрывозащищенных коммутационных аппаратов и шахтных кабелей. Статистические модели активного сопротивления элементов силовых токоведущих узлов и значения температуры их перегрева при различных длительных токах позволяют прогнозировать токовые нагрузки и нагрев силовой цепи РВП и УУ. Разработан ряд технических решений для повышения эффективности использования РКА, защищенных авторскими свидетельствами. Разработано устройство предотвращения коммутаций в категории применения АС-4, которое позволяет увеличить надежность РКА в результате повышения коммутационной износостойкости силовых контактов контактора и улучшения микроклимата внутри взрывонепроницаемой оболочки или снизить их типоразмер без снижения надежности.

Реализация результатов работы. Разработанное устройство предотвращения тяжелых коммутаций контактора РКА (ПКМ) в категории применения АС-4 испытано в НПО "Взрывозащищенное электрооборудование" (г. Донецк) (протокол ПИЖЦ.640150.050), получено заключение института МАКНИИ о возможности безопасного применения блока ПКМ совместно с РВП серии ПВИ (протокол № 464-А, № 4525-И).

Метод выбора РВП и УУ по эквивалентной токовой нагрузке с учетом горно-геологических и технологических параметров очистных забоев и разработанное устройство ПКМ внедрены на шахтах ПО "Донецк-уголь" с годовым экономическим эффектом 0,65 тыс.руб. на один коммутационный аппарат. Метод выбора РВП и УУ также использован при разработке схем электроснабжения очистных участков угольных шахт проектным институтом ДОНГИПРОУГЛЕМАШ.

Вероятностная модель стохастических режимов РКА, метод расчета коммутационной износостойкости главных контактов контактора и метод объединения массивов случайных величин в укрупненные выборочные совокупности использованы при выполнении хозяйственных работ № ГР 81084146, 01870022576 с ИГД им. А.А. Скочинского и ПО "ДОНЕЦКГОРМАШ".

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались: на III, IV и V научно-технических конференциях, проводимых НИИ ПО "Кузбассэлектромотор" (г. Кемерово, 1982, 1984 и 1986 гг.), на республиканской конференции "Повышение надежности и долговечности машин и сооружений" (г. Киев, 1982 г.), на III республиканской конференции "Совершенствование технологии и механизации добычи полезных ископаемых" (г. Тбилиси, 1983 г.), на

семинаре "Основные направления развития взрывозащищенного электрооборудования в двенадцатой пятилетке" (г. Москва, 1986 г.), на научно-технической конференции "Пути повышения надежности и безопасности электрооборудования и электроснабжения угольных шахт" (г. Донецк, 1987 г.), на семинаре научного совета АН УССР "Научные основы электротехники" (г. Донецк, 1989 г.).

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 12 печатных работ, среди них - 4 авторских свидетельства.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, 23 приложений и списка литературы из 133 наименований. Основной текст содержит 137 страниц машинописного текста, иллюстрированного 28 рисунками.

Во введении сформулирована цель исследования и основные положения, выносимые на защиту, приведена аннотация работы.

В первой главе сделан обзор технологических машин и механизмов, управляемых РКА, проанализированы существующие методы их выбора при проектировании систем электроснабжения очистных забоев и показатели режимов их работы, а также сформулированы цели и основные задачи исследования.

Во второй главе разработан метод объединения смесных массивов случайных временных и токовых величин в однородные выборочные совокупности, построена вероятностная модель функционирования РКА и рассмотрены причины занижения их токовой нагрузки.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований активного сопротивления и массогабаритные параметры силовой токоведущей цепи РВИ и УУ, дан анализ неравномерности нагрева ее элементов, разработано устройство предотвращения тяжелых режимов коммутации в категории применения АС-4, предложен метод расчета коммутационной износостойкости главных контактов контактора и определена максимально допустимая присоединенная мощность.

В четвертой главе приведены результаты моделирования случайных токовых нагрузок РКА, разработан метод выбора РВИ и УУ с учетом горно-геологических и технологических параметров в очистных забоях угольных шахт.

В пятой главе разработаны на стадиях конструирования, проектирования и эксплуатации рекомендации по совершенствованию РКА. Приведены результаты внедрения РКА в промышленности и получаемая при этом экономическая эффективность.

Результаты диссертационной работы сформулированы в выводах по

главам и в заключении.

Приложения содержат исходные статистические данные, листинги программы, используемых для выполнения расчетов, а также акты и справки, подтверждающие внедрение основных результатов исследований, представленных в диссертационной работе.

### КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Эффективное решение проблемы снижения металлоемкости невозможно без реализации комплекса мероприятий на стадиях конструирования, проектирования и эксплуатации РВП и УУ. Эти мероприятия должны осуществляться с учетом условий эксплуатации, горно-геологических и технологических параметров угольных лав, особенностей применения основных ТММ очистного участка, управляемых РВП и УУ.

Так как режим работы РВП и УУ определяется режимами функционирования ТММ, то целесообразно было провести статистические исследования парка основных забойных машин, и горно-геологических условий их эксплуатации.

В настоящее время на шахтах Донбасса эксплуатируется более 1,4 тыс. очистных угольных комбайнов, из которых 77,6% составляют узкозахватные очистные комбайны, работающие в лавах с пластами пологого падения до 35 град в комплексно-механизированных забоях (КМЗ) и лавах с индивидуальной крепью (ИКР). Из указанных очистных комбайнов доминирующим являются комбайны типа ИК-101 с электродвигателями АДЮ-2М (67,3%) и комбайны мощностью более 110 кВт типа ПШ-68 с электродвигателями ЭКВ4 и ЭКВ4-160 (до 10%).

Из скребковых конвейеров наибольшее распространение на шахтах Донбасса получили конвейеры типов: СР-70 (24,7%); СП-202 (19,6%); С-53 (18%) и СП-63М (17,1%).

Исследования эксплуатационных режимов работы забойных ТММ проводились в подземных условиях на 30 очистных участках угольных шахт в течение 70 добычных смен. Запись параметров режимов работы осуществлялась специальным многоканальным самопишущим прибором. Были получены ленточные машинограммы эксплуатационных режимов работы 25 очистных комбайнов типа ИК-101 и 6 типа ПШ-68; 27 забойных скребковых конвейеров типа СП-202, СП-63М и СПМ-87; 28 рудничных взрывозащищенных пускателей серии ПВИ и 20 устройств управления типа СУВ-350А.

Обработка полученных данных методами теории вероятности и кате-

математической статистики позволила получить вероятностную модель функционирования РКА очистных комбайнов и скребковых забойных конвейеров, учитывающую длительности перерывов, включений в категориях применения АС-3 и АС-4.

Считая сумму вероятностей появления перерывов  $P$  и включений  $Q$  при работе РКА полной группой событий, имеем

$$P + Q = 1.$$

Тогда с учетом вероятностей появления перерывов различных длительностей и включений в различных категориях применения получаем

$$\begin{cases} P_n (P_{40} (P_{40, АС-3} + P_{40, АС-4}) + P_{40 \dots 1800} (\sum_{i=1}^n P_{40 \dots 1800 i}) + P_{1800}) + Q = 1; \\ P + Q_n (Q_{АС-4} + Q_{АС-3} (\sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^k Q_{АС-3 j, l})) = 1, \end{cases} \quad (I)$$

где  $P_n$ ,  $Q_n$  - вероятность появления перерывов, включений в начале смены;

$P_{40}$ ,  $P_{40, АС-3}$  и  $P_{40, АС-4}$  - вероятность появления перерывов длительностью до 40 с, длительностью до 40 с после включений в категориях применения АС-3 и АС-4;

$P_{40 \dots 1800}$ ,  $\sum_{i=1}^n P_{40 \dots 1800 i}$  - вероятность появления перерывов длительностью от 40 до 1800 с по  $n$ -группам параметров распределений статистической плотности перерывов;

$P_{1800}$  - вероятность появления перерывов длительностью более 1800 с;

$Q_{АС-4}$  и  $Q_{АС-3}$  - вероятность появления включений в категориях применения АС-4 и АС-3;

$\sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^k Q_{АС-3 j, l}$  - вероятность появления включений в категории применения АС-3 по  $m$ -группам параметров распределений статистической плотности вероятности включений и по  $k$ -группам параметров распределения плотности вероятности токовых нагрузок.

Выбор значений параметров длительности включений, перерывов и значения токовой нагрузки осуществлялся по методу Монте-Карло на ЭЕМ с помощью случайных чисел равномерной плотности распределения.

Сменные среднеквадратичные токовые нагрузки с учетом полученных параметров определяются по формуле:

$$J_{\text{экв тмм}} = \left[ \frac{\sum_{j=1}^L J_R^2 (A(-\ln R_j)^{1/B} + C)}{\sum_{j=1}^L (A(-\ln R_j)^{1/B} + C) + \sum_{i=1}^M (D(-\ln R_i)^{1/F} + G)} \right]^{0.5}, \quad (2)$$

где  $J_R$  - среднее значение токовой нагрузки электродвигателей очистных комбайнов и скребковых конвейеров за время одного вклю-

чения; для очистных комбайнов  $J_R = \exp(R_j \cdot \bar{b}_\lambda + \bar{y}_0)$ ; для скребковых конвейеров  $J_R = \bar{b} R_j + \bar{y}$ ;

$L$  и  $M$  - число включений и перерывов в смену;

$A, B, C, D, F, G, \bar{b}_\lambda, \bar{b}, \bar{y}_0, \bar{y}$  - параметры распределений временных и токовых величин;

$R_j$  - случайные числа.

Аппроксимирующие кривые частоты для всех укрупненных совокупностей временных и токовых величин очистных комбайнов и забойных скребковых конвейеров в составе КМЗ и лав с ИКР, а также суммарной токовой загрузки выводов УУ представлены на рис. 1.

Для получения однородных выборочных совокупностей применялся специально разработанный автоматизированный метод объединения сменных массивов случайных временных и токовых величин в однородные выборочные совокупности посредством парного критерия  $t$ -Стьюдента. Суть метода заключается в определении основных статистических характеристик каждого сменного массива (математическое ожидание, дисперсия и среднеквадратичное отклонение) и упорядочении вычисленных статистик с учетом увеличения значений дисперсий; вычислении значения критерия  $t$ -Стьюдента для каждой пары сменных выборок и объединения в однородные выборочные совокупности массивов, для которых при уровне значимости  $\alpha = 0,1$  и вычисленном значении степени свободы  $K$  критическое значение критерия превышает расчетное  $t_{1-\alpha}^* > |t|$ .

Нагрев РКА, кроме временных и токовых параметров режима работы, определяется также сопротивлением их силовой токоведущей цепи. Экспериментальные исследования элементов силовой токоведущей цепи РВП и УУ позволили разделить их на  $n_1$  элементов с незначительным изменением активного сопротивления  $\sum_{i=1}^{n_1} R_{const i}$  под действием усилия затяжки крепежных элементов (силовые токоведущие шины и их болтовые соединения) и на  $n_2$  элементов со случайным характером изменения сопротивления  $\sum_{i=1}^{n_2} R_{var i}$  соединений (силовые контакты контактора, разъединителя и стыковые контакты). Сумма сопротивлений  $\sum_{i=1}^{n_2} R_{var i}$  изменяется под действием токовой и бестоковой коммутации по нормальному и логарифмически нормальному законам. Активное сопротивление элементов силовой токоведущей цепи РВП и УУ  $R_{PKA}$  определяется по формуле

$$R_{PKA} = \sum_{i=1}^{n_1} R_{const i} + \sum_{i=1}^{n_2} R_{var i} = \sum_{i=1}^{n_1} R_{const i} + \sum_{i=1}^{n_3} (\bar{b}_i \cdot R_j + \bar{x}_i) + \sum_{i=1}^{n_4} (\exp(R_j \cdot \bar{b}_{\lambda i} + \bar{y}_i)) ,$$

где  $\bar{b}_i, \bar{x}_i, \bar{b}_{\lambda i}, \bar{y}_i$  - параметры распределений активного сопротив-

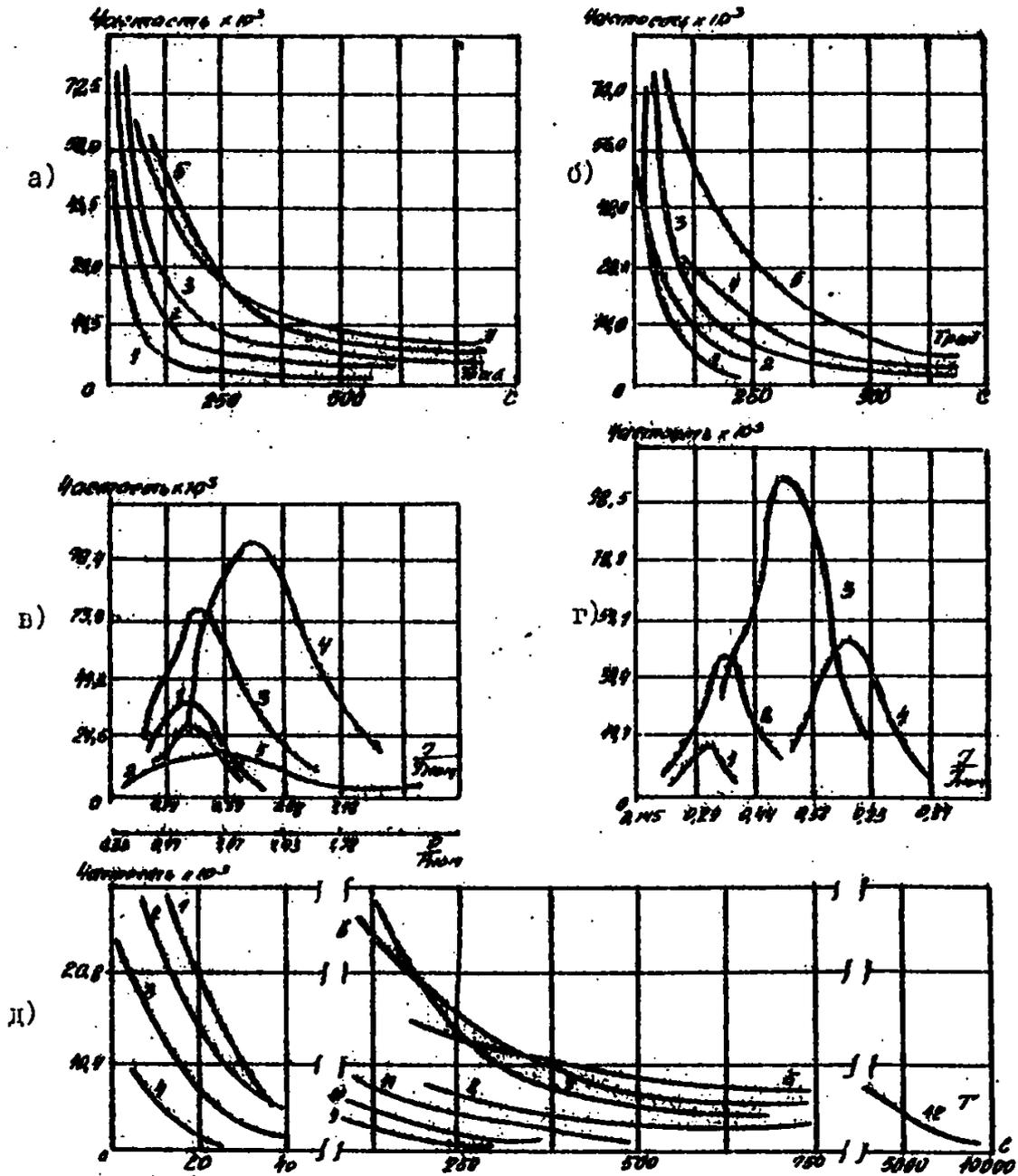


Рис. 1. Аппроксимированные кривые частоты временных и токовых параметров РВН и УУ I...5 для совокупностей времени включения (а) и I...4 токовой нагрузки (в) очистных комбайнов, соответственно (б) и (г) для скребковых конвейеров, 5 для суммарной мощности выводных элементов СУВ-350 (в); группы перерывов между включениями (д) до 40 с в работе очистных комбайнов (2,4) и скребковых конвейеров (1,3) в категории применения АС-3, АС-4 соответственно, 40...1200 с в работе очистных комбайнов (5,6,9,10) и скребковых конвейеров (7,8,11), 1800 с и более в работе любых механизмов (12)

ления элементов;

$\Pi_3$  и  $\Pi_4$  - число элементов с нормальным и логарифмически нормальным распределениями активного сопротивления.

Кроме того, элементы токоведущей электрической цепи РВП в каждой фазе имеют конструктивные особенности, обусловленные различными массогабаритными параметрами и площадью поверхности охлаждения. Случайный характер изменения активного сопротивления, конструктивные особенности силовой токоведущей цепи приводят к неравномерности нагрева РКА. При этом одни элементы одной и той же силовой цепи имеют нагрев выше, а другие - ниже допустимых значений. Для оценки влияния конструктивных особенностей РКА на нагрев каждого из  $\Pi$  элементов силовой токоведущей цепи определены параметры  $\beta_{0n}$  и  $\beta_{1n}$  установленной экспоненциальной зависимости перегрева  $\tau_n$  от значения тока  $I$  продолжительного режима

$$\tau_n = \beta_{0n} e^{\beta_{1n} I}$$

Влияние электрической дуги на эффективный выбор РВП и УУ забойных механизмов учитывает разработанный метод расчета коммутационной износостойкости главных контактов и определения допустимой присоединенной к РКА мощности. Метод основан на вероятностной модели (1) и (2) режима работы РВП и УУ, позволяющей определить долю включений в категории применения АС-4 и среднюю частоту  $f_{AC}$  циклов включений-отключений (ВО) в час. Затем по справочным данным определяется коммутационная износостойкость контактора. Присоединенная мощность  $P_{AC-4} / \%$  к рудничным пускателям с долей циклов ВО в категории применения АС-4, равной 50, 10 и 0% определяется аппроксимирующим выражением:

для пускателей типа ПВИ-250

$$P_{AC-4} / \% = A_1 / \% - A_2 / \% f_{AC} ;$$

для пускателей типа ПВИ-63

$$P_{AC-4} / \% = B_1 / \% f_{AC} - B_2 / \%$$

где  $A_1 / \%$ ,  $A_2 / \%$ ,  $B_1 / \%$ ,  $B_2 / \%$  - параметры, зависящие от доли циклов ВО категории применения АС-4 со значением 50, 10 и 0%.

Для повышения коммутационной износостойкости главных контактов контактора забойных ТММ разработано и внедрено устройство ПЦИ, которое с целью снижения отключаемого тока обеспечивает выдержку времени на отключение (рис. 2). В качестве датчика используется собственный трансформатор тока РКА, контакты герконовых реле вклю-

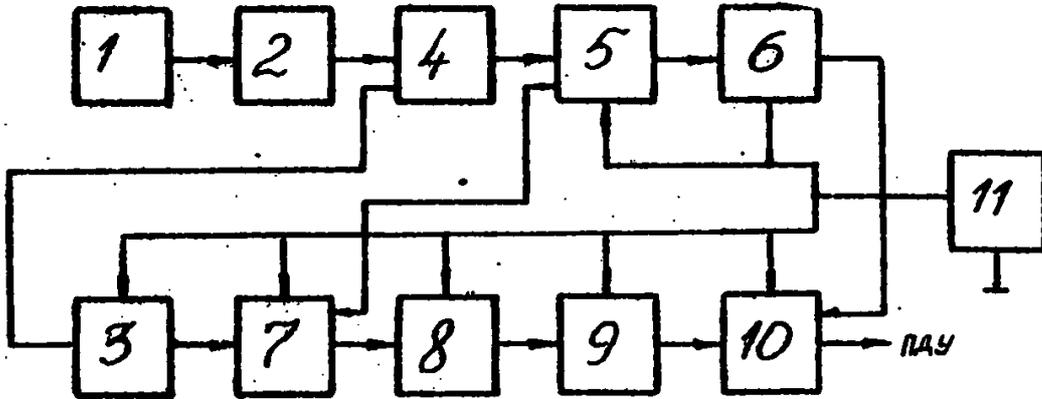


Рис. 2. Блок-схема устройства повышения коммутационной износоустойчивости главных контактов: 1 - трансформатор тока; 2 - формирователь сигнала; 3 - генератор тока; 4 - делитель напряжения; 5 - компаратор; 6 - исполнительный орган; 7 - элемент оравнения "И"; 8 - RC-цепь; 9 - вспомогательный орган; 10 - цепь шунтирования; 11 - источник питания

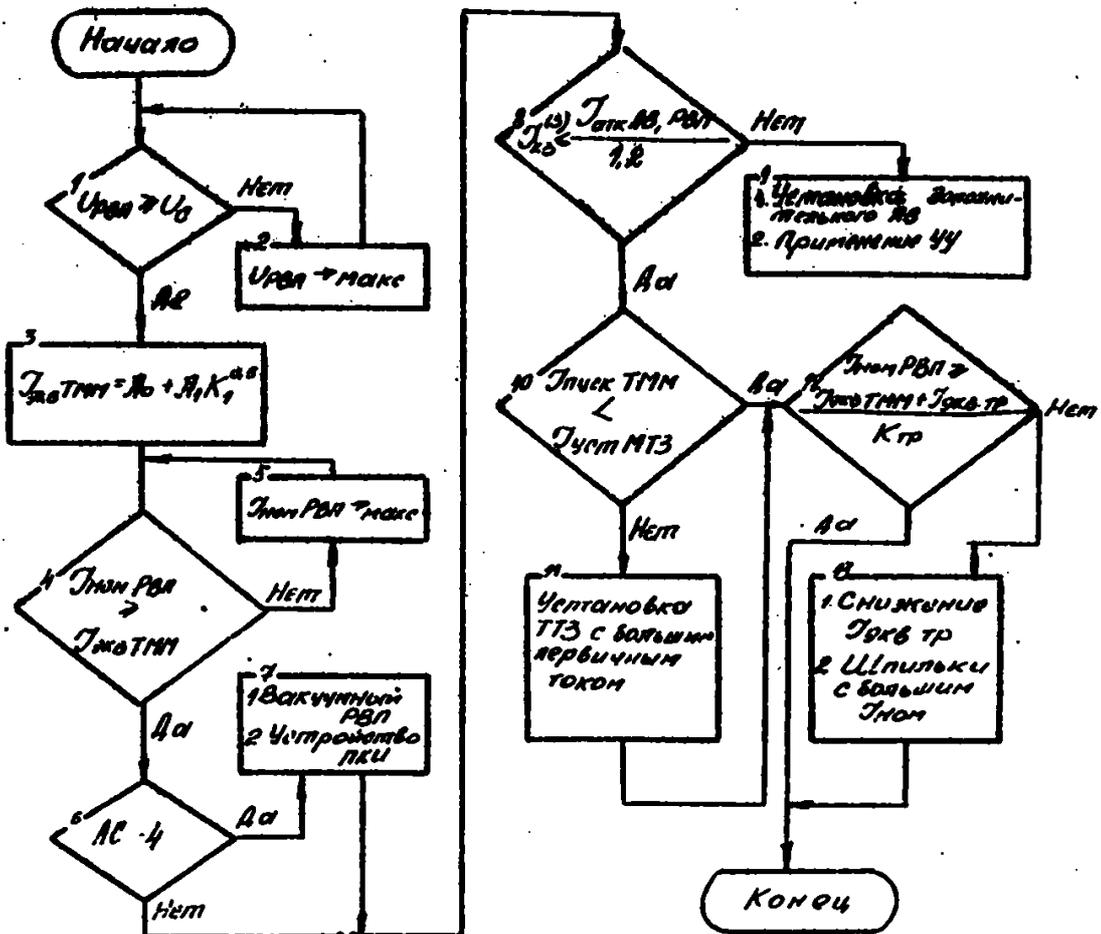


Рис. 3. Алгоритм выбора ОК механизмов очистного забоя

чены в искробезопасные цели кнопочного поста дистанционного управления. Схема обеспечивает контроль исправности элементов блока ПКМ.

Применение указанного устройства позволяет не только повысить коммутационную износостойкость контактора, но и обеспечить снижение номинальной мощности, массогабаритных параметров и стоимости выбираемых коммутационных аппаратов, а также улучшить микроклимат внутри взрывонепроницаемой оболочки, в результате чего повышается надежность аппаратуры защиты, управления и сигнализации РВП и УУ.

Вероятностная модель эксплуатационных режимов работы РКА и устройство ПКМ легли в основу метода выбора РВП и УУ по эквивалентной токовой нагрузке в течение смены с учетом горно-геологических и технологических параметров очистных забоев угольных лав. Взаимосвязь между указанными параметрами была получена на основе моделирования методом Монте-Карло эксплуатационных режимов работы РВП и УУ. Связь временных параметров режима работы с горно-геологическими и технологическими параметрами осуществлялась посредством коэффициента машинного времени  $K_M$  очистного комбайна и скребкового забойного конвейера, который можно определить для реальных условий эксплуатации.

В результате моделирования установлены значения  $K_M$  для наиболее широко применяемых типов очистных комбайнов и забойных скребковых конвейеров. Так, для комбайна ИК-101 в составе КМЗ коэффициент машинного времени составляет 0,016...0,844, в составе ИКР - 0,043...0,459; для комбайна ПШ-68 в составе КМЗ - 0,078...0,633; для скребкового забойного конвейера в составе КМЗ - 0,036...0,771, а в составе ИКР - 0,066...0,768. Эквивалентная токовая нагрузка РКА за смену определяется по формуле

$$I_{\text{экв. т.м.}} = A_0 + A_1 K_M^{0.5} = A_0 + A_1 \left( D_{\text{ц}} P_{\text{ц}} / T_{\text{см}} P_{\text{см}} M \chi^2 K_{\text{з}} V_{\text{п}} K_{\text{гн}} \right)^{0.5},$$

где  $A_1$ ,  $A_0$  - коэффициенты, зависящие от степени механизации очистного забоя;  $K_M$  - коэффициент машинного времени;  $D_{\text{ц}}$  - добыча угля за один цикл, т;  $P_{\text{ц}}$  - число циклов работы очистного комбайна в сутки;  $T_{\text{см}}$  - продолжительность рабочей смены, мин;  $P_{\text{см}}$  - число добычных смен в сутки;  $M$  - вынимаемая мощность пласта, м;  $\chi$  - плотность угля в пласте вместе с породными прослойками, т/м<sup>3</sup>;  $z$  - ширина захвата очистного комбайна, м;  $K_{\text{з}}$  - коэффициент использования захвата;  $V_{\text{п}}$  - скорость подачи комбайна, м/мин;

$K_{\text{гн}}$  - коэффициент уменьшения нагрузки при сложных горно-геологических условиях очистного забоя.

Разработанный метод выбора РВП и выводных элементов УУ по эквивалентной токовой нагрузке применим в угольных лавах с углом падения пласта до 35 град., вынимаемой мощностью пласта-0,5... 2,5 м, длиной очистного забоя-100...240 м.

Выбор РВП начинается с проверки соответствия напряжения РВП  $U_{рвп}$  (рис. 3) напряжению сети  $U_c$  (блок 2). По вычисленному среднему среднеквадратичному току ТММ  $I_{экв\ тмм}$  (блок 3) выбирают типоразмер пускателя, номинальный ток которого  $I_{ном\ рвп}$  соответствует  $I_{экв\ тмм}$  (блок 4). При невыполнении условий блоков 1 и 4 необходимо перейти к ближайшему большему типоразмеру РВП по напряжению и току. По справочным данным оценивается наличие циклов ВО в категории применения АС-4 (блок 6), в случае их наличия рекомендуется выбирать РВП с вакуумным контактором, встраивать в РВП блок исключения циклов ВО в категории применения АС-4 (блок 7).

В блоке 8 оценивается коммутационная способность выбранного РВП сравнением значения трехфазного тока КЗ  $I_{кз}^{(3)}$  и предельного тока отключения РВП  $I_{откл\ рвп}$ . Если РВП не выполняет функции отключения тока КЗ, то проверяется отключающая способность автоматического выключателя  $I_{откл\ АВ}$ . При выполнении условия блока 8 оценивается превышение пусковым током  $I_{пуск\ тмм}$  максимальной границы уставок максимальной токовой защиты  $I_{уст\ мтз}$  в блоке

10. В случае невыполнения условия блока 10 необходимо предусмотреть установку трансформатора тока ТТЗ с большим первичным током (блок 11). В блоке 12 оценивается нагрузочная способность вводных шпилек РВП с учетом эквивалентной транзитной нагрузки  $I_{экв\ тр}$  и коэффициента транзита  $K_{тр}$ . При невыполнении условия блока 12 целесообразно снизить транзитную нагрузку  $I_{экв\ тр}$  или предусмотреть установку вводных шпилек с большим номинальным током.

Приведенный метод позволяет при проектировании систем электропитания более точно определить токовую нагрузку в сравнении с применяемым методом коэффициента спроса, а на стадии эксплуатации - уточнить типоразмер РВП и УУ.

Для повышения эффективности использования РКА на стадии эксплуатации, кроме качественного и своевременного технического обслуживания и ремонта, регламентированных разработанным при участии автора и внедренным в отрасли "Альбомом технологических карт по техническому обслуживанию и текущему ремонту основного рудничного электрооборудования", а также путем прогнозирования возможных отказов. Взаимосвязь между параметром потока отказов РКА, электро-

двигателей очистных комбайнов, скребковых конвейеров и режимами их работы, условиями окружающей среды описывается регрессионным уравнением вида

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4,$$

где  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$  - параметры регрессионного уравнения;  $X_1$  - коэффициент токовой загрузки;  $X_2$  - количество циклов ВО в час;  $X_3$  - влажность окружающей среды, %;  $X_4$  - вибрационная нагрузка электродвигателя, мм  $c^{-1}$ .

Анализ регрессионного уравнения прогнозирования отказов пускателей типа ПВИ-250 показывает, что их надежность в большей степени определяется частотой циклов ВО, чем коэффициентом загрузки по току. Так, увеличения коэффициента токовой загрузки в 2 раза (в пределах 0,5...1,0) снижает наработку на отказ пускателя всего в 1,003 раза, а при увеличении частоты циклов ВО (в пределах 75...150) снижает наработку в 2,5 раза.

Таким образом, повышение токовой нагрузки в 1,5...2,0 раза при переходе с большего типоразмера пускателя на меньший не приводит практически к снижению его надежности. В то же время увеличение частоты циклов ВО существенно сказывается на надежности рудничных магнитных пускателей. Поэтому на стадии эксплуатации РКА для повышения эффективности их использования при неснижаемом уровне надежности необходимо уменьшать частоту циклов ВО. Ограничение частоты циклов ВО обеспечивается блоком ПКИ.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработан метод выбора по эквивалентной токовой нагрузке РВП и УУ для включения забойных механизмов на основе статистического моделирования эксплуатационных режимов работы ТММ с учетом горно-геологических и технологических параметров и для включения стационарных механизмов с учетом, кроме стандартных параметров режимов работы, еще и длительности пусковых периодов.

2. Предложен автоматизированный метод объединения сменных массивов случайных временных и токовых величин в однородные выборочные совокупности посредством парного критерия  $t$ -Стьюдента, который значительно упрощает обработку большого числа массивов случайных параметров режимов работы.

3. Разработана вероятностная модель стохастических эксплуатационных режимов работы РКА, учитывающая характер чередования токовых

нагрузок с признаками категории применения АС-3 и АС-4 и перерывов в однородных группах интервалов времени продолжительностью до 40 с, от 40 до 1800 с и более 1800 с, используя распределения временных и токовых параметров.

4. Предложен метод определения коммутационной износостойкости главных контактов контактора рудничных коммутационных аппаратов забойных ТММ на основе стохастической модели режимов работы. По параметрам режимов работы - доли циклов ВО в смешанной категории применения АС-3 и АС-4 и частоте ВО определена допустимая токовая нагрузка РКА.

5. Предложены модели изменения активного сопротивления контактных элементов силовой токоведущей цепи РКА.

6. Разработано и внедрено устройство повышения коммутационной износостойкости главных контактов контактора, позволяющее снизить массогабаритные параметры и стоимость РКА при неснижаемом уровне их надежности.

7. Разработаны рекомендации по повышению эффективности использования РВП и УУ:

повышение коммутационной износостойкости главных контактов контактора при конструировании (на уровне изобретений);

использование более точных методик выбора с учетом стохастических режимов работы при проектировании;

рациональное техническое обслуживание и ремонт при эксплуатации.

8. Получен экономический эффект в размере 0,65 тыс.руб. на один пускатель на трех шахтах ПО "Донецкуголь", где были внедрены основные результаты работы.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. А.С. 1076969 СССР, МКИ<sup>4</sup> Н 01 Н 9/04. Коммутационный электрический аппарат для взрывоопасной среды / В.А. Вальчук, М.И. Макаров, Г.В. Серезентинов, А.Г. Шаталов (СССР): - 4 с.: ил.

2. Альбом технологических карт по техническому обслуживанию и текущему ремонту основного рудничного электрооборудования / М.И. Макаров, Г.В. Серезентинов и др. - М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1984. - 521 с.

3. Макаров М.И., Серезентинов Г.В. Режимы работы пускателей забойных механизмов в условиях шахт Донбасса - Донецкий политехнический ин-т. - Донецк, 1985. - II с. - Деп. в УкрНИНТИ 07.08.85, № 1736.

4. Макаров М.И., Серезентинов Г.В., Пужно М.К. Исследование режимов работы коммутационных аппаратов забойных механизмов в условиях шахт Донбасса // Повышение надежности и экономичности взрывозащищенного электрооборудования: Тез. докл. У Межресп. науч. конф. 22-23 апреля 1986 г. - Кемерово, 1986. - С. 26.

5. А.с. 1261042 СССР МКИ<sup>4</sup> N 02 N 5/10. Трехфазный взрывобезопасный пускатель / Г.В. Серезентинов, В.А. Платонов, К.И. Москалец, (СССР). - 4 с.: ил.

6. Симонов Н.Ф., Макаров М.И., Серезентинов Г.В. Прогнозирование надежности рудничного взрывозащищенного электрооборудования // Основные направления развития взрывозащищенного электрооборудования в двенадцатой пятилетке: Тез. докл. семинара. - М.: Информ-электро, 1986. - С. 24-25.

7. Макаров М.И., Серезентинов Г.В., Ронжин И.С. Исследование сопротивления ошиновки пускателя ПВИ-250 и станции управления СУВ-350 / Донецкий политехнический ин-т. - Донецк, 1987. - 10 с. - Деп. в ЦНИИУголь 20.04.87, № 4119.

8. Макаров М.И., Серезентинов Г.В., Кардаш В.В. Исследование нагрева силовой цепи пускателя ПВИ-250 в различных режимах работы // Повышение технического уровня взрывозащищенного электрооборудования: Сб. науч. тр. ВНИИВЭ. - Донецк, 1987. - С. III-III7.

9. Серезентинов Г.В. Моделирование эксплуатационных режимов работы рудничных взрывозащищенных пускателей и устройств управления // Пути повышения надежности и безопасности электрооборудования и электроснабжения угольных шахт: Тез. докл. науч. конф. 28-30 октября 1987 г. - Донецк, 1987. - С. 8.

10. А.с. 1427539 СССР МКИ<sup>4</sup> N 02 P 5/34. Электропривод / Г.В. Серезентинов, С.С. Поволоцкий, В.А. Наримный, М.И. Макаров (СССР). - 3 с.: ил.

11. Макаров М.И., Серезентинов Г.В. Повышение эффективности использования взрывозащищенных пускателей и устройств управления // Снижение металлоемкости взрывозащищенного электрооборудования: Сб. науч. тр. ВНИИВЭ. - Донецк, 1988. - С. 71-79.

12. Заявка 4479057/24-07, N 01 N 33/59. Устройство для повышения коммутационной износостойкости контактора шахтного пускателя / Г.В. Серезентинов, С.В. Константинов, Д.Н. Слободянюк, М.И. Макаров, В.В. Кардаш (СССР). - Заявлено 06.07.89. - Положительное решение от 15.03.89.



Подписано к печати 22. 08. 89. БП № 06146  
Формат 60x84/16. Бумага писч. белая. Офс. печать.  
Усл. п. л. 1, 0. Заказ № 439. Тираж 100 экз.  
Бесплатно.

---

Донецкий научно-исследовательский угольный институт  
340048 Донецк, 48, Артема, 114. Участок оператив-  
ной полиграфии Донуги