

На правах рукописи

Терованесов Михаил Румельевич

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Специальность 05.09.03. - "Электротехнические комплексы и  
системы, включая их управление  
и регулирование."

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

01.5-7  
Диссертация является рукописью ЛННБ України ім.В.Стефаніка

Диссертационная работа выполнена в Государственном техническом университете



00761593 (V)

Научный руководитель: академик УА, доктор технических наук, профессор  
Груба Владимир Иванович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Макаров Михаил Иванович;  
кандидат технических наук  
Покрасс Владимир Львович

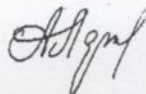
Ведущее предприятие: Институт шахтных и информационно-управляющих систем "Инсистемшахт",  
г.Донецк

Защита состоится 21 декабря 1995 г. в 11 часов на заседании специализированного совета К.06.04.04 в Донецком Государственном техническом университете по адресу:  
г.Донецк, ул.Артема 58, ауд.1201.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Донецкого государственного технического университета.

Автореферат разослан 21 ноября 1995 г.

Ученый секретарь специализированного совета, канд. техн. наук, доцент

 А. М. Ларин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность работы.

Повышение электропотребления предусматривает развитие электрических сетей, значительное увеличение количества и мощности трансформаторных подстанций, усложнение конфигурации сетей. Этот процесс происходит при одновременном росте аварий на энергообъектах, причинами которых, помимо других, являются ошибки обслуживающего персонала.

Увеличение за последние годы числа аварий из-за ошибок обслуживающего персонала вызвано неправильной переработкой имеющейся информации и принятием, в связи с этим, неверного плана оперативных действий, дефицитом информации о положении коммутационной аппаратуры при оперативных переключениях.

Существующие способы и средства получения информации не позволяют обеспечить эффективный дистанционный контроль за энергообъектом из-за ограничений по числу контролируемых датчиков, недостатков программного и технического обеспечения.

В этих условиях исключительно важное значение для повышения надежности электроснабжения и сокращения аварийно-восстановительного периода приобретают разработка методов получения полной и достоверной информации о последовательности оперативных переключений, разработка средств контроля состояния устройств защиты и автоматики, коммутационной аппаратуры в нормальных и аварийных режимах.

Следовательно, актуальной является задача создания системы оперативного контроля электроснабжения промышленных предприятий, позволяющей оперативно оценить состояние электроснабжения при различных режимах работы сети.

Ц е л ь ю р а б о т ы является разработка способов организации, алгоритма функционирования, структуры и средств системы оперативного контроля, позволяющих повысить эффективность электроснабжения промышленных предприятий.

И д е я р а б о т ы заключается во введении функции контроля и тестирования работоспособности элементов электроснабжения и использовании вероятностных характеристик двухуровневой системы массового обслуживания для организации си-

стемы оперативного контроля.

Основные задачи исследования:

- анализ существующих информационных систем контроля электроснабжения, методов и средств контроля и диагностирования электрооборудования на промышленных предприятиях;
- исследование характеристик потоков информационных сигналов состояния коммутационной аппаратуры, релейной защиты и автоматики;
- разработка математической модели системы оперативного контроля и определение основных параметров ее функционирования;
- разработка алгоритма функционирования, структуры, математического и технического обеспечения;
- внедрение и определение технико-экономической эффективности разработанных технических средств.

Научные положения и результаты, выносимые на защиту, и личный вклад автора в их разработку.

Положения. Автором установлено, что система оперативного контроля может быть представлена в виде двухуровневой системы массового обслуживания, которая разделяет процесс регистрации информационных сигналов на процесс считывания и записи в память и процесс извлечения из памяти с последующей обработкой, что позволяет повысить эффективность системы оперативного контроля за счет увеличения быстродействия обработки сигналов.

Результаты:

- разработана математическая модель системы оперативного контроля, отличающаяся представлением ее в виде двухуровневой системы массового обслуживания;
- установлены оптимальные соотношения параметров системы оперативного контроля относительно выбранной в качестве критерия вероятности потери информации;
- разработаны алгоритм функционирования, структура и средства системы оперативного контроля, реализация которых позволяет осуществить автоматический сбор и обработку информации о действии устройств релейной защиты, автоматики, коммутационной аппаратуры в нормальных и аварийных режимах.

Методы исследования. Для решения постав-

ленных в работе задач были использованы: теория вероятности, математическая статистика, теория случайных процессов, теория массового обслуживания, теория вычислительных систем.

**Теоретическая ценность и новизна** работы заключаются в исследовании и обосновании рациональной структуры системы массового обслуживания и разработке на ее основе эффективных способов организации системы оперативного контроля.

**Практическая значимость и новизна.** Внедрение предложенных способов организации, алгоритма функционирования, разработанных технических и программных средств системы оперативного контроля позволяет повысить качество работы дежурного персонала при производстве оперативных переключений, сократить простой электрооборудования и ускорить восстановление электроснабжения потребителей при его нарушениях за счет получения полной и достоверной информации о состоянии коммутационной аппаратуры, релейной защиты и автоматики.

**Уровень реализации, внедрение научных разработок.**

Разработанные приемо-передающие средства системы оперативного контроля, опытно-промышленные образцы устройства контроля исправности защиты от однофазных замыканий на землю внедрены на главной понизительной подстанции ОАО "Стирол" в опытную эксплуатацию. Опытно-промышленный образец устройства контроля и автоматической настройки компенсации внедрен на подстанции "Глдани" в сетях Грузглавэнерго. Методика расчета основных параметров системы оперативного контроля, алгоритм функционирования системы с возможностью дистанционного тестирования автоматики и релейной защиты, разработанное программное обеспечение использованы Информационно-вычислительным центром ПО "Макеевуголь" при проектировании автоматизированных систем управления технологическими процессами в угольной промышленности.

**Обоснованность и достоверность** научных положений, выводов и результатов обеспечивается применением апробированных методов теории случайных процессов, теории массового обслуживания, обоснованностью принятых до-

пущений, результатами экспериментальных исследований (расхождение между экспериментальными и расчетными данными не превышает 9,2%).

#### А п р о б а ц и я р а б о т ы.

Основные положения диссертационной работы были доложены на Всесоюзной научно-технической конференции "Разработка методов и средств экономии электроэнергии в промышленных системах и системах электроснабжения промышленности и транспорта", г.Днепропетровск (1990 г.), Международной научно-технической конференции "Актуальные проблемы фундаментальных наук", МГТУ, г.Москва (1991 г.), Всесоюзной научно-технической конференции "Проблемы энергосбережения", г.Киев (1991 г.), научно-технической конференции "Актуальные проблемы электроэнергетики", г.Севастополь (1991 г.), VII научно-технической конференции "Повышение надежности, экономичности и конкурентоспособности асинхронных электродвигателей и электроприводов", г.Кемерово (1992 г.), республиканской научно-технической конференции "Устройства преобразования информации для контроля и управления в энергетике", Харьков (1992 г.), расширенном заседании кафедры "Горная электротехника и автоматика" (1995 г.).

Разработанные устройства контроля настройки компенсации емкостного тока замыкания на землю экспонировались на международной выставке в г.Пловдиве (Болгария) и на ВДНХ СССР в г.Москве.

#### П у б л и к а ц и и.

По материалам диссертации опубликовано 7 печатных работ и получено положительное решение по заявке на изобретение.

#### С т р у к т у р а и о б ъ е м р а б о т ы.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и пяти приложений; изложена на 116 страницах машинописного текста, содержит 41 рисунок, таблицы, список литературы из 119 наименований.

Диссертационная работа выполнена в Донецком Государственном техническом университете на кафедре "Горная электротехника и автоматика".

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен анализ статистических данных по авариям на энергообъектах и рассмотрены существующие информационные системы контроля электроснабжения на промышленных предприятиях.

Отмечено, что высокий уровень аварийности, связанный с ошибками обслуживающего персонала, вызван следующими основными причинами: отсутствие полноты информации о положении коммутационной аппаратуры, отсутствие контроля со стороны диспетчерского пункта о порядке проведения переключений. Такие недостатки существующих систем сбора и обработки информации, применяемых в системах электроснабжения, как ограничение числа объектов контроля, привязка аппаратных средств к жестко заданному алгоритму, сложность построения систем из-за использования дорогостоящей аппаратуры, не позволяют эффективно контролировать состояние электрооборудования и снизить аварии из-за ошибок оперативного персонала.

Анализ аварийных ситуаций, связанных с некачественным обслуживанием и неправильным действием релейной защиты и автоматики (РЗА), показал, что существенного снижения числа аварий можно добиться, осуществляя непрерывный автоматический контроль исправности устройств защиты. Был сделан вывод о целесообразности применения способа проверки работоспособности устройств без вывода из работы электрооборудования, как наиболее эффективного, относительно ущерба, наносимого народному хозяйству перерывами в электроснабжении.

В заключении главы сформулированы требования, предъявляемые к системе оперативного контроля, определены цель и задачи исследований.

Во второй главе проведены исследования характеристик объекта контроля, потоков информационных сигналов состояния элементов электроснабжения, разработана математическая модель системы оперативного контроля.

В качестве объекта исследования были рассмотрены системы электроснабжения, применяемые на предприятиях нефтехимической и горной промышленности. По результатам проведенного анализа было определено, что объемы передаваемой информации

о состоянии электрооборудования составляют порядка  $10^3 - 10^4$  бит.

На основе анализа статистических данных и оценки характеристик потоков информационных сигналов (ИС) при отказах электроснабжения в сетях 6кВ промышленных предприятий, при оперативных переключениях, при срабатывании устройств релейной защиты и автоматики, было определено, что распределение потока групп ИС описывается с достаточной степенью вероятности законом Пуассона. Для определения количественных характеристик потоков информационных сигналов была проанализирована одноканальная система массового обслуживания с Пуассоновским входящим потоком и одной обслуживающей линией типа М/М/1. Анализ полученных зависимостей (рис. 1) показал, что вероятность потери информации из-за переполнения очереди и время ожидания являются основными характеристиками, уменьшение значений которых приводит к повышению эффективности работы всей информационной системы в целом.

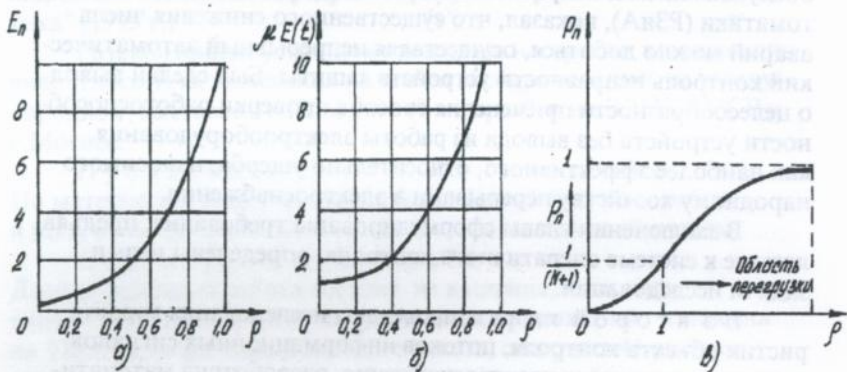


Рис. 1. Графики зависимости средней длины очереди (а), времени пребывания в системе (б), и вероятности потери информации (в) от величины нагрузки.



$$E(n) = \frac{\lambda (T_B - T_A)(2 - \lambda (T_B - T_A))}{2(1 - \lambda (T_B - T_A))}, \quad (2)$$

где  $T_A$  и  $T_B$  - время обработки каждого требования в первой и во второй фазах соответственно;  
среднее время ожидания в очереди:

$$E(W) = \frac{T_B - T_A}{2} \cdot \left( \frac{T_B - T_A}{1 - \lambda (T_B - T_A)} + 1 \right); \quad (3)$$

вероятность потери информации из-за переполнения очереди в системе;

$$P_n = \frac{(1-\rho)\rho^n}{(1-\rho^{N+1})}, \quad \rho = \lambda/\mu. \quad (4)$$

Полученные количественные характеристики двухуровневой системы оперативного контроля были положены в основу разработки алгоритма функционирования, выбора структурной схемы, технической реализации аппаратных средств.

В третьей главе разработаны алгоритм функционирования системы оперативного контроля и структурная схема, рассмотрены вопросы обеспечения надежности работы системы. Были определены параметры системы, являющиеся оптимальными относительно характеристик потоков информационных сигналов, которые использовались на стадии разработки аппаратной части системы контроля. В качестве критерия была выбрана вероятность потери информации из-за переполнения буферной памяти, определяемая согласно выражения :

$$P_{cs}(t) = 1 - e^{-\lambda_{cs} \cdot t}, \quad (5)$$

где  $\lambda_{cs}$  - параметр потока сбоев.

Определено, что емкость памяти, соответствующая одному месту, должна быть не менее 14 байт.

При разработке алгоритма функционирования, в отличие от известных информационных систем, была введена новая функция работы системы оперативного контроля, позволяющая проводить проверку работоспособности РЗиА в нормальном режиме работы автоматически путем тестовых проверок. Для исключения ложных

сигналов при срабатывании двухпозиционных датчиков из-за переходных процессов была введена временная отстройка, осуществляемая программным путем.

Выбор структурной схемы системы оперативного контроля проводился на основе сравнительного анализа сетей различной конфигурации. В качестве критерия была использована производительность информационной сети. Был сделан вывод, что информационная сеть с централизованной структурой обработки является более гибкой относительно наращивания производительности, требует меньше средств для организации такой сети (рис.2).

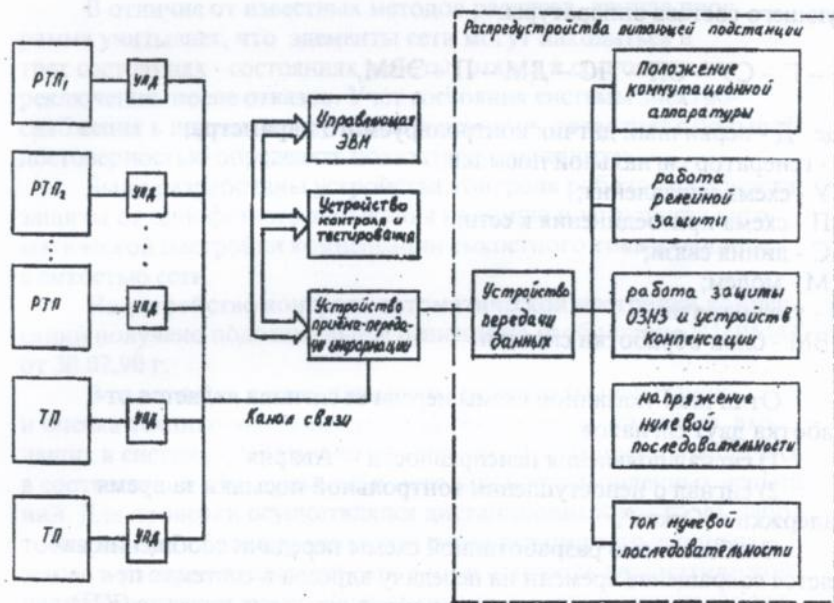


Рис.2. Структурная схема системы оперативного контроля электроснабжения промышленного предприятия.

Были рассчитаны показатели надежности, и определено, что с использованием блока контроля устройств РЗиА, уровень надежности соответствует нормативному.

Четвертая глава посвящена разработке технического и программного обеспечения для функционирования системы оперативного контроля.

Для разработанной структуры системы выбрана схема передачи сообщений, которая исключает потерю сообщения при неисправности аппаратуры канала, и использует режим интервальной посылки.

Схема сообщений реализуется за счет использования следующего состава аппаратуры:

Д -- Г -- СУ -- СП -- ЛС -- ДМ -- П -- ЭВМ,

где Д - первичный датчик контролируемого параметра;

Г - генератор сигнальной посылки;

СУ - схема управления;

СП - схема присоединения к сети;

ЛС - линия связи;

ДМ - модем;

П - узел памяти;

ЭВМ - блок обработки сигнала.

Отличием указанной схемы передачи сигнала является обработка двух сигналов:

1) сигнал появления неисправности - "Авария";

2) сигнал о непоступлении контрольной посылки за время задержки - "Отказ".

Особенностью разработанной схемы передачи сообщений является сокращение времени на передачу адресов в системах передачи данных с большим числом контролируемых пунктов (КП), что соответствует специфике организации системы оперативного контроля на крупных промышленных предприятиях. Реализация разработанной схемы передачи сообщений при осуществлении контроля за несколькими объектами была осуществлена с помощью аппаратно-программного микропроцессорного комплекса, состоя-

щего из центральной электронно-вычислительной машины, микроконтроллерной сети и группы датчиков.

В качестве метода доступа к линиям связи был использован интервально-маркерный метод, позволяющий устранить конфликты в канале и наиболее полно использовать пропускную способность канала.

Для сбора и передачи данных, в соответствии с алгоритмом работы системы оперативного контроля, было разработано программное обеспечение работы микроконтроллерной сети.

В качестве прикладной программы была разработана программа оценки надежности электроснабжения по данным, получаемым с контролируемых объектов электроснабжения.

В отличие от известных методов расчетов, данная программа учитывает, что элементы сети могут находиться в трех состояниях - состояниях работы, отказа и состоянии переключения после отказов. Учет состояния системы электроснабжения в период между переключениями, позволяет с большей достоверностью определять показатели надежности.

Были разработаны устройства контроля работоспособности защиты от однофазного замыкания на землю и устройства автоматической настройки компенсации емкостного тока в резонанс с емкостью сети.

На устройство контроля автоматической настройки компенсации получено положительное решение на изобретение N1695447 от 30.07.90 г.

В пятой главе приведены результаты испытаний и оценка технико-экономической эффективности устройств, входящих в систему оперативного контроля. Испытания проводились в соответствии с программой и методикой промышленных испытаний. Для проверки осуществлялся дистанционный контроль работоспособности блока селективной сигнализации замыкания на землю в распределительной сети 6 кВ и контроль автоматической настройки компенсации, с использованием всего комплекса приемо-передающих средств, входящих в систему оперативного контроля. Эффективность действия приемо-передающих устройств определена экспериментальным измерением ошибочных распознаваний на фоне помех при отсутствии и наличии полезного сигнала. Вероятность ошибки в работе устройств приближенно определялась

из выражения:

$$P_o = N_o / N_n, \quad (6)$$

где  $N_n$  - общее число помех, поступивших на вход приемного устройства;

$N_o$  - общее число ошибочных распознаваний помехи.

По результатам проведенных испытаний была получена зависимость вероятности ошибки распознавания  $P_o$ , как функции числа измеряемых полуволн  $n$ , приведенная на рис.3. Полученная эмпирическая зависимость позволила найти длительность сигнала при установленном уровне достоверности приема.

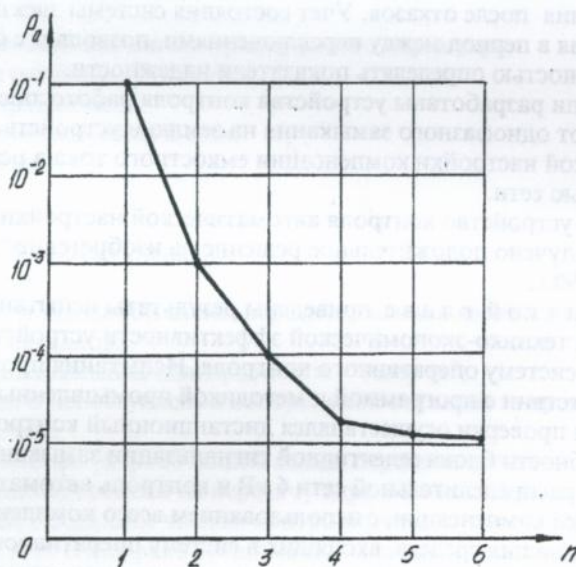


Рис. 3. Зависимость вероятности ошибки распознавания от числа измеряемых полуволн.

Расхождение теоретических и экспериментальных данных при оценке работы устройств автоматической настройки компенсации получено с погрешностью не более 9,2%. Такое расхождение обусловлено погрешностью самого арифметико-логического устройства в блоке автоматической настройки компенсации и влиянием помех в линии связи при передаче контрольных сигналов.

Проведенный технико-экономический анализ подтвердил, что с доверительной вероятностью  $P = 0,95$  интенсивность отказов в системе электроснабжения по причине однофазных замыканий на землю в сетях без блока контроля работоспособности защиты выше, чем в сетях с блоком контроля в 1,9 раз.

Основываясь на расчетах технико-экономической эффективности был сделан вывод, что применение разработанных устройств для контроля состояния и работоспособности системы электроснабжения является экономически целесообразным по сравнению с существующими средствами телесигнализации и контроля.

В заключении подведен общий итог работы и сформулированы выводы по результатам проведенных исследований.

В приложении приведены тексты разработанных программ и представлены документы, подтверждающие внедрение результатов работы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дано решение актуальной научной задачи, важной для повышения эффективности электроснабжения промышленных предприятий, заключающейся в разработке способов организации системы оперативного контроля, структуры и алгоритма функционирования на основе использования двухуровневой системы массового обслуживания.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем.

1. Эффективным средством снижения аварий, связанных с ошибками оперативного персонала при производстве оперативных

переключений и неправильной работой релейной защиты, является осуществление контроля правильности оперативных переключений и контроля функционирования устройств релейной защиты и автоматики.

2. Разработана математическая модель системы оперативного контроля, которая описывается как одноканальная двухуровневая система массового обслуживания. Получены аналитические выражения, которые позволяют определить на основании характеристик реальных потоков двухпозиционных сигналов основные параметры функционирования аппаратных средств системы оперативного контроля.

3. Обоснован выбор критерия оценки качества функционирования аппаратных средств, в основу которого положено использование вероятности потери информации.

4. Разработаны алгоритм работы и структурная схема системы оперативного контроля, отличающиеся введением функций автоматического контроля и тестирования устройств релейной защиты и автоматики для своевременного определения неисправности защит.

5. Разработаны программное обеспечение сбора и передачи информации о состоянии объекта контроля и программа, позволяющая рассчитать показатели надежности электроснабжения с учетом дополнительного состояния, в котором может находиться система в период между отказом и завершением переключения.

6. Экспериментально подтверждена возможность работы разработанных устройств контроля исправности релейной защиты и автоматики в реальной сети. Полученные характеристики обеспечивают нормативный уровень вероятности ошибки распознавания сигнала и надежную работу разработанных устройств в условиях помех в каналах связи.

7. Комплект приемо-передающих устройств внедрен на главной понизительной подстанции ПО "Стирол", где используется для осуществления контроля исправности защиты от однофазных замыканий на землю и контроля настройки компенсации емкостных токов. Ожидаемый экономический эффект от внедрения составляет 235 млн.крб в год (в ценах 1994 г.).

Основные научные результаты диссертации опубликованы в

следующих работах:

1. Груба В.И., Терованесов М.Р., Чупайленко А.А. "Устройство для автоматической настройки дугогасящих катушек". - Заявка N 1695447, положительное решение от 30.07.90.

2. Терованесов М.Р. Блок автоматической настройки компенсации // Донецк.политех.ин-т.- Донецк, 1989.- 12 с. Деп.в УкрНИИТИ 14.11.89, N 2571.

3. Груба В.И., Терованесов М.Р., Чупайленко А.А. Использование автоматических систем диспетчерского управления для повышения экономичности работы шахтных электрических сетей // Разработка методов и средств экономии электроэнергии в электрических системах и системах электроснабжения промышленности и транспорта: Тез. докл. Всесоюзной науч.-техн. конференции. - Днепропетровск, 1990.- С. 267.

4. Груба В.И., Чупайленко А.А., Терованесов М.Р. Вопросы автоматизации систем диспетчерского управления для повышения экономичности работы электрических сетей заводов и шахт // Актуальные проблемы электроэнергетики: Сб. тез. докл. конференции. - Севастополь, 1991.- С.18-19.

5. Груба В.И., Чупайленко А.А., Терованесов М.Р. Преобразование и обработка информации в автоматической системе диспетчерского управления шахтными электрическими сетями // Проблемы энергосбережения: Тез. докл. Всесоюзной науч.-техн. конференции. - Киев, 1991.- С. 95-96.

6. Груба В.И., Чупайленко А.А., Терованесов М.Р. Вопросы применения микропроцессорной системы в автоматизации диспетчерского управления шахтными электрическими сетями // Актуальные проблемы фундаментальных наук: Сб. докл. Международной науч.-техн. конференции. - Москва, 1991.- С. 69-73.

7. Груба В.И., Чупайленко А.А., Терованесов М.Р. Повышение функционирования системы электроснабжения путем применения системы оперативного контроля и управления // Устройства преобразования информации для контроля и управления в энергетике: Тез. докл. четвертой республиканской науч.-техн. конференции. - Харьков, 1992.- С. 25.

8. Груба В.И., Чупайленко А.А., Терованесов М.Р. Повышение надежности узлов нагрузки системы электроснабжения шахты // Повышение надежности, экономичности и конкуренто-

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

способности асинхронных электродвигателей и электроприводов: Тез. докл. VII научн.-техн. конференции.-Кемерово, 1992. - С. 32-33.

Личный вклад соискателя в работах, написанных в соавторстве, заключается в следующем: предложены схемные решения основных узлов устройства контроля автоматической настройки компенсации и устройств, входящих в систему оперативного контроля /1,5/; обоснованы требования к системе оперативно-го контроля /3/; исследованы вероятностные характеристики потоков информационных сигналов и разработана математическая модель /4,6/; выполнено обоснование оптимальных параметров и структурной схемы системы оперативного контроля /7,8/.

#### АНОТАЦІЯ

Терованесов М.Р. Розробка системи оперативного контролю електропостачання промислових підприємств. Дисертація у вигляді рукопису на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 - електро-технічні комплекси та системи, включаючи їх управління та регулювання.

В дисертації розроблені математична модель системи оперативного контролю, алгоритм функціонування та структурна схема. Встановлено, що система оперативного контролю може бути представлена у вигляді дворівневої системи масового обслуговування з пуассонівським входним струмом. Встановлено закон розподілу характеристик струмів інформаційних сигналів дії пристроїв релейного захисту, автоматики, комутаційної апаратури. Здійснено впровадження у промислову експлуатацію розроблених пристроїв.

#### Annotation

Terovanesov M.R. The development of system of operated control of the industries enterprises electric supply. Thesis as a copy for the scientific degree of the candidat of technology on speciality 05.09.03 - electric technical complexes and systems with the control.

In the thesis a mathimatic model of the operated control, function algorithm, structure scheme are developed. It is found, that the sistem of control can be presented as a two level system of queuing with the Poussons upholding stream. The low of the destrubution of the information signals from the action of relay protection devices, automatic, commutation equipment is stated. The developed technical devices is introduced in industrial service.

#### Ключові слова:

контроль електропостачання, струм інформаційних сигналів, дворівнева модель масового обслуговування, тестування електрообладнання, алгоритм функціонування.

*Терованесов*

*407253*

---

Подп. в печать 17.11.95г. формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>6</sub> . Бумага тип.  
Ризо-принт. Усл. печ. л. 1,0. Уч. - иад. л. 1,0. Тираж 100 экз. Зак. 5-2.  
Донецкий государственный технический университет, 340000,  
Донецк, ул. Артема, 58

---