

Министерство образования Украины  
Государственная горная академия Украины

на дровах рукописи

ТКАЧЕВ ВИКТОР ВАСИЛЬЕВИЧ

МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ  
ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

специальность 05.13.07 - "Автоматизация технологических  
процессов и производств"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

ДНЕПРОПЕТРОВСК

1995

LIB in B. Stepanov  
AN Ukraine

НВ 32.544

Работа выполнена на кафедре автоматизации производственных процессов Государственной горной академии Украины.

Научный консультант: доктор технических наук, профессор,  
член-корреспондент НАН Украины

Пивняк Г.Г.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,  
академик АИИ Украины

Чермалых В.М.

доктор технических наук, профессор

Егоров В.С.;

доктор технических наук, профессор,  
академик УТА

Борисов А.А.

Ведущая организация: "Донгипроуглемаш".

Защита состоится "19" октября 1995 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании специализированного совета Д 03.06.06 по защите диссертаций при Государственной горной академии Украины /320600, Днепропетровск-27, проспект Карла Маркса, 19, тел. 45-43-44/.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственной горной академии Украины.

Автореферат разослан "4" сентября 1995 г.

Ученый секретарь специализированного совета  
канд. техн. наук, доц. В.Т.Зайка

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00755449 (У)

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

## I. Общая характеристика работы

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ. Эффективность ведения технологических процессов горного производства определяется уровнем автоматизации и качеством управления технологией.

Новые технологии предполагают возможность изменения режимов работы оборудования, функционирование оборудования при частичном отключении отдельных технологических линий. Это предопределяет создание современных автоматизированных систем управления технологическими процессами в горном производстве (АСУТП).

Сложившиеся тенденции развития средств автоматизации и вычислительной техники, принципы управления народным хозяйством Украины в основном были ориентированы на централизованное управление в системах автоматизации технологических процессов. Как правило эти системы обладали громоздкостью, низкой надежностью, сложностью в эксплуатации; имели высокую стоимость; отсутствовал комплексный подход к разработке и проектированию как технических средств АСУТП, так и к локальным средствам автоматизации, что приводило к невозможности управления по единому критерию. Следствием этого, явилось практическое отсутствие АСУТП горного производства.

Оценивая уровень, достигнутый в нашей республике и в других странах по разработке АСУТП горного производства, следует отметить, что, с одной стороны, он не соответствует запросам отрасли на современном этапе, с другой стороны, уступает уровню таких стран, как США, Германия, Бельгия, Англия,

Франция.

Такое состояние разработки и внедрения АСУТП в горном производстве вынуждало к поиску новых подходов к структурам и моделям децентрализованных систем управления (ДСУ), в которых отсутствует центр управления и микропроцессорные контроллеры сами решают задачу управления в соответствии с правилом изменения запросов на ресурс управления. Это позволяет за счет использования несложных законов управления и эффективных алгоритмов функционирования микропроцессорных и компьютерных средств автоматизации обеспечить заданное качество управления технологическими процессами при значительном снижении затрат на разработку, монтаж и эксплуатацию, повышение живучести и надежности АСУТП горного производства.

Систематизация результатов теоретических и экспериментальных исследований создания АСУТП, разработка новых принципов построения и алгоритмов функционирования ДСУ, создание различных моделей ДСУ, в целом все эти работы составили основные аспекты той научной проблемы, которая в течение 1985 - 94 г. г. решалась под научно-методическим руководством и при непосредственном участии автора.

Проблемная ориентация исследований диссертационной работы определялась комплексной научно-технической программой "Мировой океан" (постановление ГКНТ СССР № 378 от 7.09.1987 г.) на 1987 - 1995 годы и планом естественных и общественных наук АН Украины на 1990 - 95 г. г., среди которых следует отметить такие госбюджетные и хозяйственные работы:

- исследование и разработка структур децентрализованных

микропроцессорных систем и способов управления распределенными технологическими процессами горнодобывающей промышленности ;

- разработка способа сбора, обработки и передачи данных о глубоководных объектах с использованием микропроцессоров и его экспериментальная проверка ;

- разработка макета системы управления манипулятором для установки временной механизированной панели кой крепи ;

- разработка системы программного управления конвейерными линиями и буровыми установками с автоматическими манипуляторами.

Целью ДИССЕРТАЦИИ является создание новых принципов построения и повышения эффективности АСУП горного производства на основе использования децентрализованного управления. Для достижения поставленной цели в диссертации необходимо решить следующие задачи научных исследований:

- определить правило поведения микропроцессорного контроллера в децентрализованной системе, обеспечивающей решение задачи управления в реальном масштабе времени;

- обобщить опыт моделирования децентрализованных систем и на этой основе разработать методы и модели децентрализованного управления технологическими процессами с различным принципом действия и различными постановками задач управления;

- разработать управляющие алгоритмы функционирования ДСУ и отдельных МК;

- разработать новые аппаратные и программные средства, обеспечивающие реализацию децентрализованного управления при

автоматизации процессов горного производства и сокращение сроков внедрения ДСУ.

НАУЧНАЯ ПРОБЛЕМА состоит в обобщении и развитии теории децентрализованного управления на основе принципа коллективного задания, что обеспечивает повышение эффективности, надежности и живучести систем автоматизации процессов горного производства.

ИДЕЯ РАБОТЫ заключается в создании систем управления распределенными в пространстве технологическими процессами горных предприятий на базе отдельных ЭВМ с одинаковым принципом действия, объединенных в вычислительную сеть и коллективно решающих задачу управления; при этом обеспечивается значительное упрощение алгоритмов управления отдельных контроллеров и как следствие повышается живучесть и надежность систем автоматизации.

На защиту выносятся следующие основные научные положения и результаты исследований, полученные автором при решении избранной научной проблемы.

## П о л о ж е н и я

1. На основе анализа существующих типов и структур АСУТП, использующих централизованные методы управления, показана необходимость и возможность решения задач локальной автоматизации процессов горного производства без центрального устройства управления. Децентрализация при этом выполняется в виде распределенного процесса принятия решения по уп-

равлению между микропроцессорными контроллерами, объединенными в вычислительную сеть и обеспечивающими решение задачи управления при выходе из строя некоторого количества контроллеров, что не может быть выполнено при централизованном управлении.

2. Децентрализованное управление на основе правил коллективного поведения обеспечивается при формировании правила поведения микропроцессорного контроллера с учетом общесистемного критерия и информации о тенденции изменения поведения других контроллеров в системе.

3. Установлено, что для стабилизации грузопотоков по производительности или качеству, управления манипуляторами и распределения ресурса времени канала связи зависимость количества шагов, при которой решается задача управления в децентрализованной системе, от коэффициента шага имеет оптимум. В зоне оптимума определяется диапазон значений коэффициента шага, в области которого управление осуществляется в реальном масштабе времени.

4. Доказано, что задача комплексной автоматизации подземной добычи и транспортирования полезного ископаемого на предприятиях с комбайновой выемкой может быть осуществлена с помощью одного регулируемого параметра. Таким параметром может служить скорость подачи комбайна, значение которой определяется микропроцессорным контроллером в соответствии с централизованной моделью и передается на вход регулятора комбайна в виде уставки.

## Результаты

1. Математические модели децентрализованной систем управления технологическими процессами с различными принципами действия и постановками задач управления.

2. Теоретически обоснованный алгоритмы работы децентрализованной системы управления, обеспечивающий решение задачи управления при выходе из строя некоторого количества микропроцессорных контроллеров.

3. Результаты исследований моделей децентрализованных систем управления, позволившие сделать вывод о том, что принципы коллективного управления применимы в децентрализованных системах управления различными технологическими процессами.

4. Математическая модель ДСУ грузопотоком калийного рудника, обеспечивающая стабилизацию грузопотока регулированием скорости подачи комбайнов, единственного изменяемого параметра в технологической цепи.

5. Функциональная и алгоритмическая структура, аппаратное и программное обеспечение системы автоматизированного управления разветвленными конвейерными линиями, являющейся основой при создании децентрализованной системы управления грузопотоками горного предприятия.

6. Языки технологического программирования локальных систем автоматизации, как составных частей децентрализованных АСУТП, обеспечивающие значительное сокращение затрат на разработку и внедрение программного обеспечения систем автоматизации.

ОБоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендации подтверждается применением апробированных методов математического моделирования, проведением экспериментальных исследований, методов имитационного моделирования и достаточной сходимость полученных теоретических и экспериментальных результатов, положительными промышленными испытаниями, внедрением результатов исследований в промышленность и проектные разработки.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА РАБОТЫ заключается в дальнейшем развитии теории децентрализованного управления с использованием принципов коллективного поведения и на этой основе:

- впервые обоснована концепция децентрализованного управления технологическими процессами и разработан способ формирования запросов на ресурс управления, реализация которого позволяла осуществить разработку простых и дешевых систем автоматизации в виде сети микропроцессорных контроллеров с локальными критериями управления;

- впервые предложены обобщенные алгоритмы работы децентрализованной системы и алгоритмы функционирования микропроцессорного контроллера в сети, обеспечивающие решение задачи управления в реальном масштабе времени при выходе из строя некоторого количества контроллеров;

- разработаны и исследованы математические модели децентрализованных систем в виде таких локальных критериев управления, реализация которых обеспечивает решение и бессистемной задачи управления при значительном сокращении затрат на программное обеспечение (в ряду с языками технологи-

ческого программирования).

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РАБОТЫ заключается:

1. В использовании полученных положений, обоснованных в диссертации для разработки новых систем автоматизации технологических процессов.

2. В возможности для разработчиков проводить исследования по влиянию отдельных параметров объекта и алгоритма на работоспособность системы на основе разработанных математических моделей и программ ДСУ различными технологическими процессами.

3. На основании теоретических исследований предложены алгоритмы функционирования ДСУ и отдельного МПЧ, обеспечивающие решение задачи управления в соответствии с поставленным критерием управления.

4. Теоретически и экспериментально доказана возможность решения задачи управления на основе правил коллективного поведения, без центра, что обеспечивает повышение надежности и живучести систем автоматизации.

5. На основании проведенных исследований разработана микропроцессорная система автоматизированного управления ответвленными конвейерными линиями (САУКЛ), являющаяся основной при управлении грузопотоками рудника, с экономическим эффектом от внедрения 300 000 рублей на комплект (в ценах 1990 г.).

Результаты работы в промышленности.

Результаты работы реализованы в виде:

1. Пакета прикладных программ для моделирования децент-

реализованных систем управления с коллективным решением задачи управления и практических рекомендаций по их использованию.

2. Прикладного программного обеспечения системы управления разветвленным конвейерным транспортом шахт и рудников.

3. Рабочей документации на систему управления разветвленным конвейерным транспортом шахт и рудников, являющейся основой децентрализованной системы управления грузопотоками, выполненной проектно-конструкторской организацией Пермгипрогормаш /Россия/.

4. Опытных образцов микропроцессорных контроллеров /МПК/ для системы управления разветвленными конвейерными линиями шахт и рудников, являющейся основой децентрализованной системы управления грузопотоком, изготовленных Прокопьевским заводом шахтной автоматики /Россия/, опытных образцов МПК для системы управления технологическим оборудованием на ПО "Павловск-грант", изготовленных НПО "Этал" г. Александрия.

5. Проекта по автоматизации комплекса поверхности шахты "Енакиевская" с использованием МКДЭС, выполненного проектной организацией Днепрогипрошахт.

6. Языков программирования МПК при построении локальных систем автоматики для управления технологическим оборудованием горнодобывающих предприятий. /По всем пунктам имеются подтверждающие документы/.

Методы исследований.

В процессе выполнения исследований применены:

- анализ и научное обобщение литературных источников по

децентрализованному управлению;

- методы коллективного управления автоматами;
- методы теории вероятностей и математической статистики; теория информации;
- методы теории электрических цепей.

В процессе исследований широко использованы методы имитационного моделирования на ПЭВМ, физические эксперименты на макетах и опытных образцах.

#### АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ

Основные материалы и результаты диссертационной работы докладывались и получали одобрение:

- на международных горных конгрессах ICAMC (г. Острава, Чехословакия, 1990 г., г. Екатеринбург, Россия, 1992 г.);
- на 4 - м международном симпозиуме по горной автоматике (г. Саскатун, Канада, 1990 г.);
- на Всесоюзной научно-технической конференции "Разработка методов и средств экономии электроэнергии в электрических системах электроснабжения промышленности и транспорта" (г. Днепропетровск, 1990 г.);
- на Всесоюзном научно-техническом семинаре "Контроль параметров технологических потоков на угольных предприятиях в условиях функционирования АСУ" (г. Москва, 1981 г.);
- на Всесоюзной школе-семинаре по робототехнике (г. Москва, 1981 г.);
- на научно-техническом семинаре "Обмен опытом применения микропроцессорных устройств при проектировании, наладке

и внедрении систем электроприводов технологических агрегатов на промышленных предприятиях" (г. Днепропетровск, 1991 г.);  
- на Всесоюзной школе-семинаре молодых ученых и специалистов "Промышленные роботы и гибкие автоматизированные производства" (г. Нарва, 1988 г.)

#### ПУБЛИКАЦИИ

Основное содержание диссертации опубликовано в 29-ти статьях и докладах, защищено 5-ю авторскими свидетельствами.

#### СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения, изложенных на 307 страницах, содержит список литературы из 210 - ти наименований, 114 рисунков, 12 таблиц и приложения на 22 страницах.

#### 2. Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность направления исследований, сформулированы цель и задачи исследований, отражены ее научная новизна и практическая ценность, положения, выносимые на защиту, приводятся сведения об апробации и публикации исследований, результаты исследований в промышленности, а также структура работы.

В первой главе проведен анализ работ в области создания систем автоматизации процессов горного производства, который показал, что технологические процессы добычи и транспортирования горной массы имеют большие резервы для улучшения их работы. Главным резервом является ритмичность работы всего

технологического цикла от добычи до подъема горной массы. Обеспечить ритмичность работ всего оборудования можно созданием АСУТП грузопотоком, которая координировала бы работу добычных комплексов на основе получения объективной информации о состоянии и работе оборудования технологической цепи. Рассмотренные тенденции развития АСУТП показали, что основным направлением их развития было использование централизованного управления, причем, по мере совершенствования больших ЭВМ увеличивалась степень централизации управления. Стоимость систем увеличивалась, а эффективность снижалась из-за низкой надежности, малой гибкости и высокой стоимости программного обеспечения. Централизованное управление оказалось эффективным при небольшом количестве каналов управления и контроля и территориальной сосредоточенности объекта управления.

При анализе структурных особенностей АСУТП горного производства выделены централизованные системы, иерархические и децентрализованные. Показано, что в настоящее время в эксплуатации имеются только некоторые локальные регуляторы, причем критерия управления отдельным оборудованием выбран без учета критерия управления всем технологическим процессом. Объединить же локальные регуляторы в единую АСУТП не представляется возможным, поскольку аппаратная реализация у них различна и не совместима критерия управления.

Рассматривая современное состояние технических средств автоматики и тенденции развития систем автоматизации, указывается, что в настоящее время созданы предпосылки для созда-

ния децентрализованных систем управления (ДСУ), в которых процесс принятия решения по управлению объектом распределен между унифицированными микропроцессорными контроллерами, осуществляющими управление отдельным оборудованием, объединенными в сеть и коллективно решающими задачу управления всем технологическим процессом. Решить поставленную задачу, не прибегая к использованию центральной ЭВМ или любых других дополнительных вычислительных устройств, можно, определив правила поведения каждого из локальных контроллеров, обеспечивающих достижение глобальной (для данного процесса) функции цели. Для этого необходимо согласовать работу всех контроллеров, децентрализовав между ними процесс принятия решения по управлению объектом. В этом случае в системе создается избыточность по управлению, необходимая для обеспечения живучести системы. Идея такого управления высказывалась в различные времена в работах Болгина Л.Н., Варшавского В.И., Поспелова Д.А. Но в одном случае они были ориентированы на экономические задачи, в другом на вычислительные.

При построении ДСУ технологический процесс удобно представить в виде нескольких машин, участвующих в одном технологическом процессе.

Имеется объект управления, состоящий из  $N$  машин ( $M^1, M^2, \dots, M^N$ ), участвующих в одном техпроцессе (рис. 1). Объект имеет  $p$  входов ( $X^1, X^2, X^3, \dots, X^p$ ), на которые подаются различные воздействия. В общем случае в качестве входных воздействий могут выступать материальные, энергетические потоки, время и т.д. Каждая из машин перерабатывает получаемый

входной поток  $X_i$  в соответствии со своим назначением и получает выходной продукт  $Y_i$ . Функции  $f_i(X_i)$  в теории коллек-

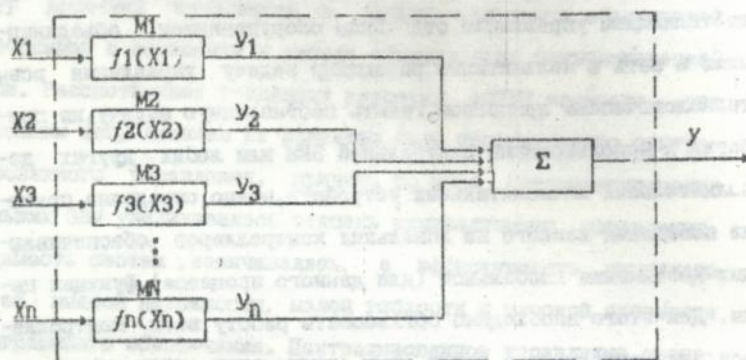


Рис. 1

тивного поведения автоматов принято называть функциями пользы  $i$ -й машины. Получения конечного продукта технологического процесса  $Y$  осуществляется суммированием  $Y_i$

$$Y = \sum_{i=1}^N Y_i, \quad (1)$$

Такое представление объекта позволяет решение задачи управления свести к задаче распределения ресурса входных воздействий  $X = \sum X_i$  таким образом чтобы выходной продукт  $Y$  имел заданные показатели (производительность, качество, время). Задача распределения ресурса имеет смысл, если этот ресурс ограничен. Технологические процессы горного про-

изводства всегда имеют ограничения (пропускная способность конвейерных линий, скипового подъема, ограниченный объем аккумуляющих емкостей и т.д.).

Полная формулировка задачи управления звучит так. Необходимо распределить имеющийся в наличии ресурс входных воздействий  $X$  между потребителями на части  $X^i$  таким образом, чтобы обеспечить минимум отклонения величины (или качества) конечного продукта  $Y$  от заданной величины  $Y_3$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} I = (Y - Y_3)^2 \longrightarrow \min; \\ Y = \sum_{i=1}^N Y^i; \\ Y = f^i(X^i); \\ X - \sum_{i=1}^N X^i = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, N), \end{array} \right. \quad (2)$$

где  $I$  - критерий управления;  
 $X - \sum_{i=1}^N X^i = 0$  - ограничения.

Известны способы решения поставленной задачи управления на основе теоремы Куна-Таккера, используемые при централизованных способах управления. После определения частных производных  $\frac{\partial f^i(X^i)}{\partial X^i}$  и решения системы алгебраических уравнений вычисляют все значения  $X^i$ .

Рассмотрим решение вышеставленной задачи с использованием принципа коллективного поведения, но в качестве устройств управления используются МК, которые выполняют функции локальных регуляторов. Как правило, вся вычисля-

тельной мощностью контроллера полностью не используется. Поэтому возникает возможность объединив эти контроллеры в единую сеть, использовать резервную вычислительную мощность для решения задач управления всем технологическим процессом.

Предположим, стоит та же задача управления, которая сформулирована выше (2). Имеется сеть, состоящая из локальных контроллеров. Каким образом можно решить поставленную задачу, не прибегая к использованию центральной ЭВМ или любых других дополнительных вычислительных устройств? Для этого необходимо определить правила поведения каждого из локальных контроллеров, обеспечивающие согласованные действия МПК для достижения глобальной (для данного процесса) функции цели.

Причем функционирование коллектива МПК необходимо увязать через ограничения, формулируемые из задачи управления всем объектом (процессом).

Для этого воспользуемся той же теоремой Куна-Таккера.

$$\begin{aligned} & \left( \sum_{i=1}^N f^i(X^i) - Y_0 \right) \frac{df^i(X^i)}{dX^i} - \lambda = 0; \\ & \sum_{i=1}^N X^i = X; \quad i = (1, 2, \dots, N). \end{aligned} \quad (3)$$

В результате получаем систему уравнений (3). Обновим  $df^i(X^i)/dX^i$  как  $f^i(X^i)$  для краткости записей.

$$\begin{aligned} I_{N^1} &= \left( \sum_{i=1}^N f^i(X^i) - Y_0 \right) f^i(X^i) - \lambda = 0, \\ \lambda \left( \sum_{i=1}^N X^i - X \right) &= 0; \quad i = (1, 2, \dots, N) \end{aligned} \quad (4)$$

Первое уравнение системы (4) можно рассматривать как локальный критерий для  $i$ -го контроллера. Поясним подробнее.

В том случае, когда все  $I_{n^i}$  будут равны 0, при  $\sum_{i=1}^N X^i = X^0$  будет достигнут экстремум глобальной функции цели и будет распределен весь ресурс  $X^0$ . Под ресурсом будем понимать энергию, сырье, перемещение, время, управляющее воздействие и др. Распределение ресурса между контроллерами в сети можно осуществить путем выдачи в линию связи запросов на ресурс  $X^i$  каждым контроллером, а также величины выходного продукта,  $Y^i = f^i(X^i)$  на каждом шаге итерационного процесса решения задачи управления. Каждый контроллер, принимая из линии связи эту информацию, накапливает  $\sum_{i=1}^N Y^i$  и  $\sum_{i=1}^N X^i$ , а затем вычисляет отклонение  $I_{n^i}$  от 0. Эту информацию можно использовать для формирования правил поведения каждого контроллера в коллективе контроллеров, т.е. правил изменения запросов  $X^i$  с целью достижения нулевого значения локальной функции цели. При использовании традиционного подхода к решению задач управления решается система (4) и в результате находят значения  $X^1, X^2, \dots, X^N$  и  $\lambda$ , при которых  $I_{n^i} = 0$  и  $X = \sum X^i$ . В случае организации кооператива контроллеров нет необходимости вычислять точные значения всех переменных заранее, главное определять тенденцию изменения  $X^i$  каждым контроллером таким образом, чтобы направление изменения  $X^i$  обеспечивало приближение  $I_{n^i}$  к 0, а при достижении  $I_{n^i} = 0$  изменение  $\lambda$  прекращалось.

Анализ системы уравнений (4) показывает, что выражение

$$\left( \sum_{i=1}^N f^i(X^1) - Y_2 \right) f^i(X^1) \quad (5)$$

определяет величину и знак отклонения  $I_{\text{п}}^1$  от 0, что может быть использовано для определения величины и направления изменения  $X^1$ .

Действительно, в случае, когда  $\sum f^i(X^1)$  больше  $Y_2$ , необходимо уменьшить значения  $f^i(X^1)$  каждому контроллеру. Функция  $f^i(X^1)$  определяет направление изменения  $X^1$  для уменьшения (или увеличения) значения  $f^i(X^1)$ . Тогда правило изменения запросов каждым контроллером принимает вид

$$X_{k+1, i} = X_{k, i} - C \left[ \alpha_1 \left[ \sum_{i=1}^N f^i(X^1) - Y_2 \right] f^i(X_{k, i}) + \alpha_2 \left[ X - \sum_{i=1}^N X^1, k \right] + \lambda \right], \quad (6)$$

где  $k$  - номер шага;  $C$  - коэффициент шага итерации (в дальнейшем коэффициент шага). Коэффициенты  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  в уравнении (6) введены для обеспечения безразмерности получаемого результата, что облегчит рассуждения при рассмотрении моделей объектов различной физической природы. Основным достоинством такого децентрализованного управления является то, что каждый МК определяет только одно значение  $X^1$  на основании своего правила поведения, кроме того обеспечивается независимость решения задачи управления от количества контроллеров в системе.

Целенаправленный обзор литературных источников показывает, что в настоящее время не существует методов построения моделей ДСУ, обеспечивающих решение задачи управления

технологическим процессом. Исходя из этого, показана необходимость на базе углубленных исследований принципов построения математических моделей систем автоматизированного управления различными технологическими процессами определять класс объектов, к которым применимо децентрализованное управление с использованием принципов коллективного поведения автоматов, обобщить опыт моделирования децентрализованных систем и разработать на этой основе методику построения моделей децентрализованных АСУТП (на примере нескольких систем), разработать обобщенный алгоритм функционирования для различных децентрализованных АСУТП, позволяющий упростить прикладное программное обеспечение системы, исследовать модели децентрализованных АСУТП различного принципа действия с целью определения границ работоспособности и влияния параметров алгоритма и объекта на функционирование системы, разработать математическую модель децентрализованной АСУТП грузопотоком на примере калийного рудника и провести исследование ее работоспособности, разработать структуру линии связи для децентрализованных АСУТП, разработать алгоритм функционирования микропроцессорного контроллера в ДСУ, с целью ускорения внедрений ДСУ разработать ядро программирования локальных микропроцессорных систем автоматизации для управления различными технологическими процессами в оборудовании, разработать и внедрить опытную партию и алгоритмическое программное обеспечение системы управления разветвленными конвейерными линиями шахт и рудников, как основы для построения децентрализованной АСУТП горнодобывающих предприятий.

Во второй главе проведен анализ правила поведения МК в ДСУ и показано, что возможна ситуация, когда изменения запросов на ресурс управления прекращаются, но весь ресурс не распределен. В этой связи предложен обобщенный алгоритм функционирования ДСУ, в котором на каждом шаге формирования запроса предусмотрена проверка на распределенность ресурса управления.

Эффективность разработанного алгоритма функционирования ДСУ проверялась на различных функциях пользы  $f(X)$ . Исследования правила поведения МК (6) проведены с использованием компьютера, изменялся только характер функций пользы. Для примера были приняты линейная функция  $f(X) = AX + B$ ; экспоненциальная  $f(X) = A e^X$ , логарифмическая  $f(X) = A \lg B X$  и обратная  $f(X) = \frac{A}{X}$ .

Анализ исследований показал, что для всех видов вышеупомянутых функций  $f(X)$  алгоритм обеспечивает решение задачи управления с заданной точностью.

Установлено, что общим для всех рассмотренных выше функций пользы является то, что зависимость количества шагов, за которое распределяется весь ресурс управления от коэффициента шага  $K = f(C)$ , имеет участок, на котором ресурс распределяется всего за 3 - 5 шагов (рис. 2).

График этой зависимости можно разделить на три зоны. Зона 1, в которой значения коэффициента шага малы, а количество шагов, за которое решается задача распределения ресурса, велико. Зона 2, в которой значения коэффициента шага оптимальны, а количество шагов минимально, и зона 3, в

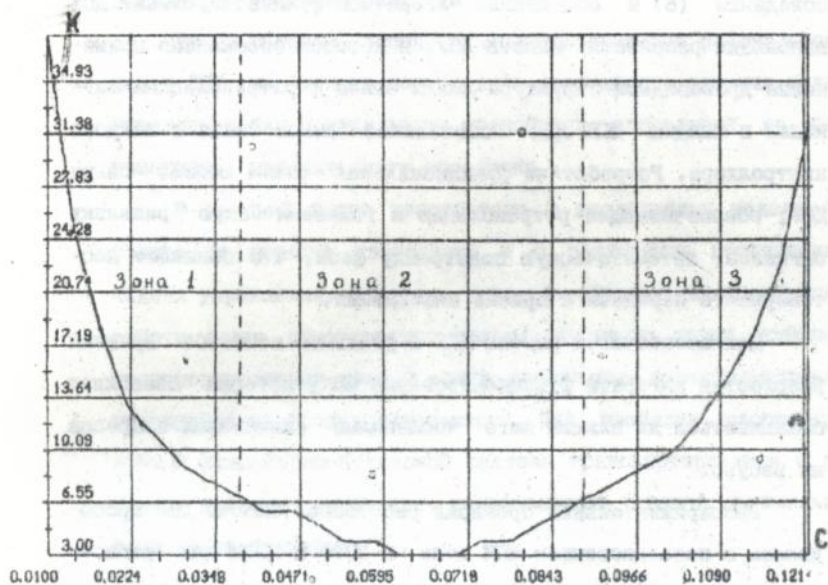


Рис. 2.

которой коэффициент шага имеет большие значения, при этом количество шагов, за которое решается задача распределения ресурса, резко возрастает.

За пределами значимый коэффициент шага зоны 2 изменение запросов носит характер незатухающих колебаний (зона 3) или распределение ресурса происходит очень медленно (зона 1). Работа ДСУ при этих значениях коэффициента шага в реальном масштабе времени невозможна.

Для экспериментальной проверки возможности решения в

дачи управления несколькими МПК в соответствии с правилом поведения (6) и обобщенным алгоритмом функционирования ДСУ выполнена разработка макета ДСУ, в котором обосновано применение древовидной структуры линии связи с ретрансляцией сигналов в каждом МПК для ответвления линии связи с каждого контроллера. Разработана функциональная схема канала связи ДСУ, обеспечивающая ретрансляцию и гальваническую развязку сигналов, автоматическую подстройку фазы, что повышает достоверность передачи и приема информации.

Для обеспечения работы ДСУ в реальном масштабе времени разработан алгоритм функционирования МПК, который позволяет обмениваться на каждом шаге численными значениями запросов на ресурс.

Экспериментальная проверка работоспособности ДСУ проводится с использованием МПК типа MS 2702 и ПЭЭМ для регистрации результатов эксперимента.

Программы МПК реализовали алгоритмы функционирования МПК в ДСУ, обобщенный алгоритм распределения ресурса для функций пользы таких же, как и при моделировании на компьютере, а именно: линейной, экспоненциальной, логарифмической и обратной.

Анализ результатов эксперимента показывает, что характер зависимости  $K = f(C)$  для всех видов  $f(X)$  идентичен зависимости  $K = f(C)$ , полученным в процессе моделирования на компьютере.

Во всем диапазоне изменения коэффициента шага разниц в количестве шагов, за которых распределяется ресурс и значе-

ний коэффициент шага, не превышает 10 %, что вполне удовлетворяет условиям практики.

Таким образом, экспериментальная проверка работоспособности ДСУ на макете подтвердила возможность решения задачи управления без центрального устройства управления на базе принципов коллективного поведения.

В третьей главе разработаны и исследованы модели ДСУ самого различного назначения и с различными постановками задачи управления. Показано, что для обеспечения ритмичности работы всего оборудования технологического цикла добычи и транспортирования горной массы необходимо заставить грузопоток по производительности. Для наиболее распространенной конвейерно-бункерной системы транспортирования в качестве критерия управления целесообразно принять минимальное заполнение бункеров

$$I_{л} = \sum_{i=1}^N h_i \longrightarrow \min ; \quad (7)$$

$$h_i = \frac{1}{S_i} (Q_i - G_i) \cdot T + h_{i0}$$

где  $Q_i$  - входной грузопоток бункера;

$G_i$  - выходной грузопоток бункера;

$T$  - время управления;

$h_{i0}$  - начальное заполнение бункера;

$S_i$  - площадь сечения бункера.

С учетом ограничений  $\psi = G_{ном} - \sum_{i=1}^N G_i > 0$  получена аналитическая зависимость, определяющая правило изменения запросов на ресурс для поставленной задачи управления:

$$G_{i,k+1} = G_k - C \left[ \alpha_1 \left[ 2 \cdot \frac{1}{S_1} (Q_1 - G_1) T \right] + h_1 - \lambda - \right. \\ \left. - \alpha_2 \left[ G_{\text{НОМ}} + \sum_{i=1}^N G_i \right] \right]. \quad (8)$$

Компьютерные исследования данной модели ДСУ с учетом обобщенного алгоритма изменения запросов на ресурс показали, что зависимость  $K = f(C)$  имеет четко выраженный минимум количества шагов, при котором ДСУ работоспособна в реальном масштабе времени. В диапазоне  $C$  от  $-0.31$  до  $-0.05$  ресурс управления распределяется за 2-3 шага. Установлено, что с увеличением количества заполненных бункеров диапазон значений  $C$ , при которых ДСУ остается работоспособной, уменьшается, что подтверждает правильность выбранного критерия управления.

Моделирование живучести ДСУ осуществлялось программно, путем установки отдельным контроллерам значений запроса на ресурс, равных нулю. При этом установлено, что за 2 - 3 шага оставшиеся контроллеры распределяют весь ресурс управления между собой. Это подтверждает правильность обобщенного алгоритма функционирования ДСУ.

На примере калийного рудника показано, что, если критерий управления сформулирован в виде стабилизации качества грузопотока  $I_n = (\Delta F)^2 \longrightarrow \min$ , где  $\Delta F$  - отклонение качества полезного ископаемого в грузопотоке от заданного, то правило изменения запросов на ресурс ДСУ принимает вид

$$Q^i, k+1 = Q^i, k - CZ \left\{ \alpha_1 \left[ \frac{\sum_{i=1}^N \Delta F^i Q^i}{\sum_{i=1}^N Q^i} \right] - \frac{1}{\sum_{i=1}^N Q} \left[ \Delta F^i - \frac{\sum_{i=1}^N \Delta F^i Q^i}{\sum_{i=1}^N Q} \right] - \alpha_2 \left[ Q^i - \sum_{i=1}^N Q^i \right] - \lambda \right\} \quad (9)$$

при ограничениях

$$H_{\max} \geq \frac{V_0}{S} + \frac{1}{S} \sum_{i=1}^N \int_0^1 \rho^i(t-\tau) dt \geq H_{\min}, \quad (10)$$

где  $\frac{V_0}{S}$  - начальный уровень руды в бункере.

Исследования модели показали, что ДСУ сохраняет работоспособность в реальном масштабе времени в диапазоне изменения коэффициента выата от 0,11 до 0,25.

Обосновано применение децентрализованного управления в системе управления манипулятором-крепежестановщиком.

Задача управления сформулирована следующим образом.

Задан ресурс движений приводов манипулятора по каждой координате:  $Q_x, Q_y, Q_z$ ; необходимо этот ресурс распределить между приводами так, чтобы обеспечить заданные перемещения  $S_x, S_y, S_z$  с определенной точностью. Каждый из приводов манипулятора отрабатывает ресурс  $S_i$  - как часть пути движения схвата. Полное перемещение схвата определяется как

$$S = \sum_{i=1}^N S_i \quad (11)$$

Необходимо поддерживать значение  $S$  наиболее близко к заданному  $S_3$ :

$$I = (S - S_c)^2 \longrightarrow \min, \quad (12)$$

Функция пользы от движений манипулятора определялась в процессе решения обратной задачи о положении звена манипулятора через обобщенные координаты степеней подвижности  $q_1$ .

$$A \leq q_1 \leq B, \quad (13)$$

где  $A$  и  $B$  - ограничения на каждой координате.

С учетом ограничений

$$L_1 = \lambda_1 (B_1 - q_1) \geq 0 \quad \text{и} \quad H_1 = R_1 (q_1 - A_1) \geq 0 \quad (14)$$

получено аналитическое выражение, определяющее правило изменения запросов на ресурс управления (перемещений) в ДСУ.

Исследования имитационной модели ДСУ манипулятором показали, что изменения запросов на ресурс носят характер аналогичный ранее рассмотренным моделям, а при отказе какой-либо степени подвижности ресурс перераспределяется уже на следующем этапе.

Показана возможность децентрализованного распределения канала связи между МПК в системах автоматического контроля и информационных системах, когда за время  $T$  МПК в линии связи необходимо передать максимум информации в порядке убывания ее важности, что можно выразить следующим образом:

$$\sum_{i=1}^m \left[ \sum_{j=1}^{K(i,j)} a_j b_j - n_i = 0 \right]^2 \longrightarrow \min, \quad (15)$$

где  $n^i$  - количество информации передаваемое  $i$ -м контроллером;

$a_{ij}$  - величина, характеризующая объем и важность информации;

$k(i)$  - количество групп информации в МПК.

Правило изменения запросов на ресурс при ограниченных

$$N - \sum_{i=1}^m n_i = 0, \quad (16)$$

где  $N$  - пропускная способность канала связи, определяется выражением

$$n^{i, k+1} = n^{i, k} - C \left[ \lambda - \alpha_1 \left[ \sum_{j=1}^{k(i)} (a_{ij}) \right] - n - \alpha_2 \left[ N - \sum_{i=1}^m n_i \right] \right]. \quad (17)$$

Исследования модели ДСУ распределением времени канала связи показали, что при 10 МПК в системе быстрее всего канал распределяется в том случае, когда количество информации, накопленной контроллерами, равно пропускной способности канала. При этом ДСУ работоспособна в широком диапазоне значений коэффициента шага. С увеличением количества информации в МПК диапазон значений коэффициента шага уменьшается. Характер изменения запросов на ресурс при различных значениях коэффициента шага аналогичен характеру изменения в ранее рассмотренных моделях.

Четвертая глава посвящена разработке математической модели ДСУ грузопотоком горизонта на примере калийного рудника.

На основе анализа технологической схемы транспортировки руды установлено, что структура ДСУ содержит три уровня: уровень забойных конвейеров, панельных и магистральных.

На каждом уровне определен критерий управления и ограничена с учетом того, что технологическая схема содержит только один регулируемый параметр - скорость подачи комбайна  $V_n$ .

Для уровня забойных конвейеров при критерии управления

$$I_3 = \left\{ \sum_{i=1}^n [Q_3(i) - Q_n(j)] \right\}^2 \rightarrow \min, \quad (18)$$

где

$$Q_3(i) = a(i) * V(i); \quad (19)$$

$$a(i) = 60 * b(i) * m(i) * \gamma;$$

$V(i)$  - скорость подачи комбайна,

и ограничений

$$q_3 I(V) = V_{\max}(i) - V(i) \geq 0 \quad (20)$$

правило изменения запросов на ресурс представлено в виде уравнения на скорость подачи комбайна, и имеет вид:

$$V_{k+1}(i) = V_k(i) - \alpha \left\{ 2 * a(i) * \alpha_1 \left[ \sum_{j=1}^n [Q_3(i) - V(j)] \right] - a(i) + \alpha_2 \left[ \sum_{j=1}^n [Q_3(i) * V(j) - \lambda] \right] - \lambda \right\}, \quad (21)$$

С целью проверки правильности решения задачи управления децентрализованной системой эта же задача решалась ме-

тодом Марквардта, используемым при решении задач управления централизованными системами.

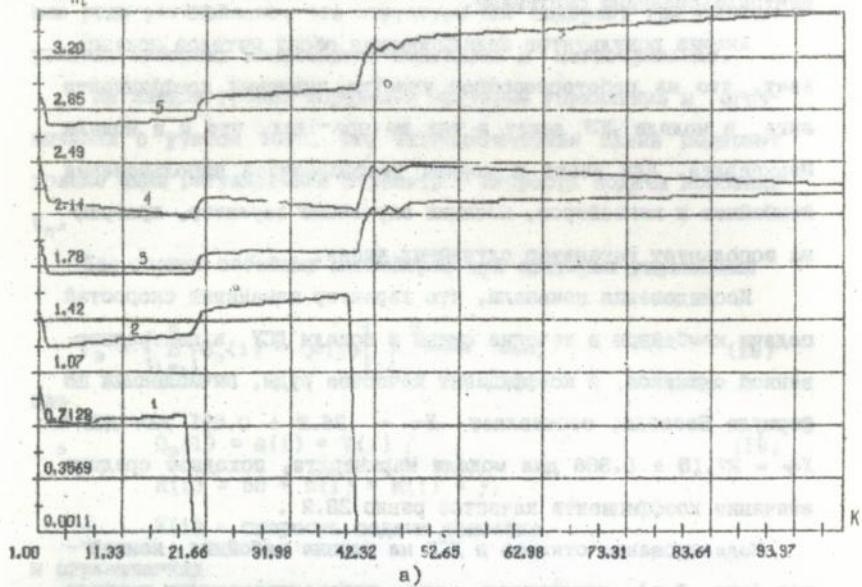
Анализ результатов моделирования обоих методов показывает, что на работоспособном участке значения коэффициента шага в модели ДСУ лежат в тех же пределах, что и в модели Марквардта. Для учета в модели коэффициентов использования комбайнов и конвейеров, имеющих случайный характер, программа использует генератор случайных чисел.

Исследования показали, что характер изменения скоростей подачи комбайнов в течение смены в модели ДСУ и централизованной одинаков, а коэффициент качества руды, вычисленный по формуле Бесселя, составляет  $X_{ср} = 26.2 \pm 0.891$  для ДСУ и  $X_{ср} = 27.15 \pm 0.386$  для модели Марквардта, исходное среднее значение коэффициента качества равно 28.2.

Моделирование отказов в ДСУ на уровне забойных конвейеров (рис. 3.а) показывает, что перераспределение ресурса (при выходе из строя сначала третьего, а затем первого комбайна) происходит через несколько шагов, через это же время восстанавливается и производительность панели (рис. 3.б).

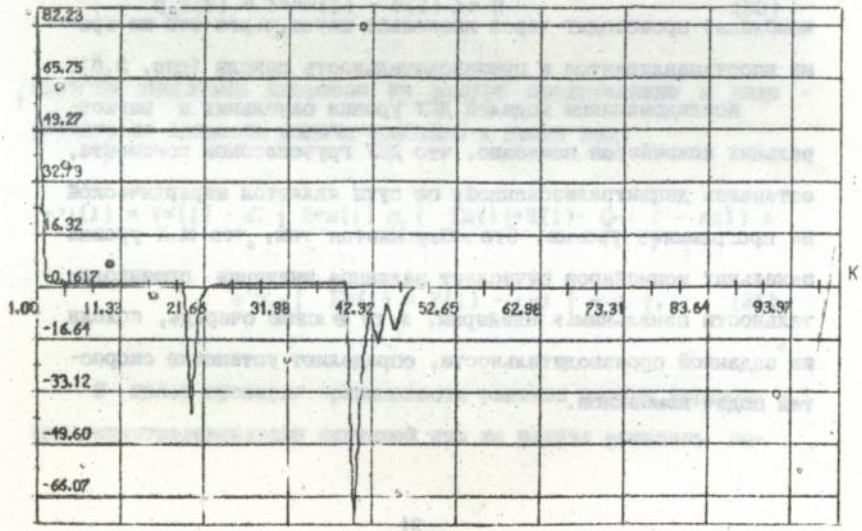
Исследованиями моделей ДСУ уровня панельных и магистральных конвейеров показано, что ДСУ грузопотоком горизонта, оставаясь децентрализованной, по сути является иерархической программой уровня. Это объясняется тем, что М.К. уровня панельных конвейеров вычисляет заданное значение производительности панельным конвейерам, а те в свою очередь, исходя из заданной производительности, определяют установки скоростей подачи комбайнов.

Зависимость изменения скоростей подачи комбайнов при наличии отказов



а)

Отклонение грузопотока от заданного значения



б)

Рис. 3  
32

На основе анализа энергозатрат добывного комбайна показана возможность построения ДСУ, обеспечивающей минимизацию энергозатрат при заданной производительности комбайна. Постановка задачи на этом этапе имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} & \left| \frac{H_{j,k} - H_{j,k-1}}{V_{п,j,k} - V_{п,j,k-1}} \right| \longrightarrow \min; \\ & Q_1 - \sum_{j=1}^m Q_j = 0 \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

при ограничениях

$$V_{п,\min} \leq V_{п} \leq V_{п,\max}, \quad (23)$$

а правило изменения запросов на ресурс (правило изменения скорости комбайна) определяется выражением

$$\begin{aligned} V_{п,j,k+1} = & V_{п,j,k} - C \left[ \alpha_1 \left[ \frac{H_{j,k} - H_{j,k-1}}{V_{п,j,k} - V_{п,j,k-1}} \right] + \right. \\ & \left. + \alpha_2 \left[ Q_1 - \sum_{j=1}^m Q_j - V_{п,j,k} \right] - \lambda \right]. \end{aligned} \quad (24)$$

Выполненные исследования модели показали, что ДСУ остается работоспособной в широком диапазоне разброса характеристик комбайнов.

В пятой главе выполнена разработка аппаратного и программного обеспечения ДСУ. На основе результатов исследования моделей и структур сформулированы требования к структурно-функциональному составу комплекса технических и программных средств ДСУ. Показано, что комплекс технических средств, кроме узлов ввода-вывода аналоговой и дискретной информации,

необходимых для управления технологическим оборудованием, должны содержать устройства сопряжения с каналом связи, обеспечивающие построение древовидной структуры линии связи. Кроме того, в предложенной структуре обосновано применение второго микропроцессора в блоке связи и устройства сопряжения двух каналов с общим блоком памяти для повышения живучести ДСУ.

Разработаны на уровне изобретений и испытаны в промышленных условиях устройства ввода дискретной информации, обеспечивающие ввод информации как с сосредоточенных объектов, так и с рассредоточенных и позволяющие осуществлять диагностику как самих датчиков, так и цепей, соединяющих их с блоком управления. Предложенные технические решения позволяют сократить расход кабельной продукции при монтаже ДСУ. Модуль связи разработан таким образом, что обеспечивается ретрансляция сигнала в древовидную структуру линии связи с гальванической развязкой каждого ответвления. Наличие модуля сопряжения двух каналов позволяет организовать работу двух микропроцессоров (МП в модуле связи и центрального) через буферное ОЗУ таким образом, что при сбое одного МП другой возьмет на себя функции управления и тем самым увеличит живучесть системы.

С целью сокращения сроков внедрения и затрат на разработку программного обеспечения локальных микропроцессорных систем автоматики, составляющих основу ДСУ, разработаны языки программирования ST и ЯПТК, позволяющие проектировать системы автоматизации на базе описания состояния объекта о

использованием графов или схем алгоритмов.

Разработанные языки программирования ST и ЯПГК использованы при проектировании самых различных систем автоматизации проектным институтом "ЭТХП., Днепрогипрошахт, Пермгипрогоршах (Россия).

Разработана микропроцессорная система автоматизированного управления разветвленными конвейерными линиями шахт и рудников, реализующая древовидную структуру линии связи, в которой ввод дискретных сигналов осуществляется по двухпроводной линии связи с диагностикой датчиков и цепей, соединяющих их с блоком управления, а программа управления написана на языке ST. Эта система отвечает всем требованиям, сформулированным к аппаратным и программным средствам ДСУ. Опытные партии систем, изготовленные Прокопьевским заводом шахтной автоматики, прошли успешные испытания в промышленных условиях рудников ПО "Уралкалий" и ПО "Белорускалий" и переданы в опытно-промышленную эксплуатацию. Экономический эффект от внедрения САУГХ составляет 930 тысяч рублей в ценах 1990 года. В 1994 - 1995 гг. осуществляется освоение серийного производства системы.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дано теоретическое обобщение и предложены пути решения научно-технической проблемы, связанной с развитием децентрализованных автоматизированных систем управления технологическими процессами, заключающиеся в раз-

вяти Теории децентрализованного управления и разработке на ее основе комплекса аппаратных и программных средств составляющих основу ДСУ.

Основные научные результаты, выводы и практические рекомендации диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Выполнен анализ состояния и тенденций развития АСУТП горного производства и показано, что перспективным направлением является создание децентрализованных АСУТП, обладающих высокой надежностью и живучестью.

2. Создан единый обобщающий подход к построению децентрализованных АСУТП, принцип действия которых основан на использовании теории коллективного поведения микроконтроллеров, обеспечивающих решение задачи управления без центра.

3. Теоретически обосновано правило формирования поведения по одному методическому принципу, заключающемуся в том, что значение запроса на ресурс управления определяется на основе информации о тенденциях изменения запросов других контроллеров и в соответствии с локальным критерием управления.

4. Исследованы теоретические вопросы построения децентрализованных систем управления на принципе коллективного решения задачи управления. На моделях с различными функциями пользы экспериментально подтверждена правильность метода построения децентрализованных АСУТП.

5. Получила дальнейшее развитие теория децентрализованного управления с различными постановками задач управления:

- определены аналитические зависимости, составившие ос-

нову математической модели ДСУ грузопотоком горизонта рудника, выполняющей управление скоростями подачи комбайнов таким образом, что обеспечивается заданная производительность на уровне панельных и магистральных конвейеров;

- разработан теоретически обоснованный обобщенный алгоритм работы ДСУ и функционирования микроконтроллера, обеспечивающий функционирование ДСУ при выходе из строя некоторого количества МК, что подтверждает живучесть ДСУ;

- разработана и обоснована структура ДСУ грузопотоками рудника;

- получены аналитические зависимости, использованные для создания модели ДСУ грузопотоком, обеспечивающей минимум энергозатрат добываемых комбайнов при заданной производительности панельного конвейера.

5. Выполненные исследования позволили сформулировать основные функциональные и технические требования к микропроцессорному контроллеру ДСУ.

6. Разработаны микропроцессорные комплексы технических средств, отвечающие требованиям ДСУ.

7. Разработаны программные средства МК в виде языков технологического программирования, обеспечивающие снижение затрат на создание программного обеспечения и ускорение внедрения ДСУ.

8. Разработаны аппаратные и программные средства автоматизированной системы управления рудными конвейерными

линиями (САУКЛ), действующей основой ДСУ грузопотоками рудника.

9. Промышленные испытания опытных образцов системы САУКЛ показали, что она обеспечивает все функциональные требования и реально служит основой для создания ДСУ горизонта рудника.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Автоматизация процессов подземных горных работ / А.А. Иванко, И.А. Бражников, В.В. Ткачев и др. - К.: Выща шк., 1987, - 328 с.

2. Ткачев В.В. Исследование моделей децентрализованных микропроцессорных систем управления технологическими процессами. // Обогащение руд. - 1991, - № 2. - С. 38-43.

3. Ткачев В.В. Разработка математической модели децентрализованного управления транспортной системой калийного рудника // Обогащение руд. - 1993, - № 4, - С. 53 - 56.

4. Ткачев В.В. Разработка и исследование способа управления добычей и транспортированием полезного ископаемого при непрерывной подаче руды на конвейер, обеспечивающего минимальные энергозатраты добычных комбайнов. // Обогащение руд. - 1993, - № 5-6, - С. 69.

5. Ткачев В.В. Разработка математической модели децентрализованной системы управления конвейерно-бункерным транспортированием горной массы. // Обогащение руд. - 1993, - № 5-6, - С. 73.

6. Ткачев В.В., Бубликов В.М. Особенности программных средств управления технологическими объектами в угольной

промышленности. // Горная электромеханика и автоматика: Респ. межвед. науч.-техн. сб.- 1990.- Вып. 57. - С. 40-44.

7. Ткачев В.В., Бубликов В.М. Децентрализованное управление добычей полезного ископаемого в подземных условиях - Днепропетровск, 1993. - 13 с. - Деп. в ГНТБ Украины 01.03.93. N 3.

8. Ткачев В.В., Бубликов В.М. Децентрализованное управление конвейерными линиями горизонта рудники. - Днепропетровск, 1993. - 14 с. - Деп. в ГНТБ Украины 01.06.93. N 6.

9. Ткачев В.В., Бубликов В.М. Проходческий забой как модель в информационной системе горного робота. // Горная электромеханика и автоматика: Респ. межвед. науч.-техн. сб.- 1985.- Вып. 46. - С. 31 - 35.

10. Ткачев В.В., Козарь Н.Б., Чернышев В.П. Микропроцессорная система управления конвейерным транспортом. // Горная электромеханика и автоматика: Респ. межвед. науч.-техн. сб.- 1988.- Вып. 53. - С. 44 - 48.

11. Ткачев В.В., Пупченко В.С. О применении роботов в горной промышленности Кузбасса. // Горный журнал- 1980.- N 10. - С. 20 - 23.

12. Ткачев В.В. Вычислительный-моделирующий комплекс для полунатурного моделирования микропроцессорных систем управления роботами и технологическими процессами.// Механизация и автоматизация производства- 1983.- N 10 - С.16-19.

13. Ткачев В.В., Бубликов В.М. Интерактивная система управления манипуляционным роботом для проходческих работ. - Днепропетровск, 1982. - 16 с. - Деп. в ГНТБ Украины

14. Ткачев В.В., Кармалит А.В., Косяк Н.П. Язык логического управления для микропроцессорных систем. // Обогащение руд.- 1992.- N 5 - С. 10 - 14.

15. Ткачев В.В., Циркун Л.И., Хаванов В.А. Подсистема автоматического управления сборкой-разборкой бурового ствола установки КЕВ. // Горная электромеханика и автоматика: Респ. межвед. научно-техн. сб.- 1983. - вып. 42. - С. 40-43.

16. Пупченко В.С., Ткачев В.В., Чернышев В.В. О применении роботов в шах е. // Горная электромеханика и автоматика: Респ. межвед. научно-техн. сб. - 1981, - Вып. 38- С. 25 - 28.

17. Система учета и контроля расхода энергии для угольных шахт. / Г.Г. Пивник, В.В. Ткачев, В.Т. Завис и др. // Промышленная энергетика - 1992. - N 7. - С. 19 - 21.

18. Пупченко В.С., Ткачев В.В., Зарицкий В.В. Структурные особенности АСУТП угольной шахты. // Уголь. - 1981, - N 12. С. 41-44.

19. А.с. 1162989, СССР, МКИ<sup>3</sup> E21D 13/04. Крепеустановка для рамной крепи. / В.В. Ткачев, В.М. Бубликов, А.А. Иванов. Опубл. 23.06.85, Бюл. N 23.

20. А.с. 1517051, СССР, МКИ<sup>3</sup> G08L 19/16. Устройство для дистанционного контроля состояния двухпозиционных объектов. / В.В. Ткачев, Л.И. Лоскарев, Н.В. Козарь, М.Е. Полицкий. Опубл. 23.10.89, Бюл. N 39.

21. А.с. 978103, СССР, МКИ<sup>3</sup> G05B 19/18. Устройство программного управления. / В.В. Ткачев, Л.И. Циркун. Опубл. 20.11.82, Бюл. N 44.

22. А.с. 1405082, СССР, МКИ<sup>3</sup> G07C 03/00, G08C 19/16. Устройство для дистанционного контроля состояния двухпозиционных объектов. / В.В. Ткачев, В.А. Хазанов, Н.В. Козарь, В.А. Сазеров, Е.В. Чернишова. Опубл. 23.06.88, Бюл. N 23.

23. А.с. 830308, СССР, МКИ<sup>3</sup> G05B 19/18. Устройство программного управления. / В.В. Ткачев, Л.И. Цвирикун. Опубл. 15.05.81, Бюл. N 18.

24. Ткачев В.В., Бубликов В.М. Об одном подходе к роботизации процесса проведения подготовительных выработок комбайнами. Механизация и автоматизация промышленности Кузбасса. // Тез. докл. на научно-техн. конф. - Кемерово, 1982. - С. 20 - 23.

25. Ткачев В.В., Цвирикун Л.И. Автоматизация ручных работ при бурении вееров скважин в подземных условиях. Механизация и автоматизация ручных и трудоемких операций в промышленности Кузбасса. // Тез. докл. на научно-техн. конф. - Кемерово, 1982. - С. 20 - 25.

26. Ткачев В.В., Кермалек А.В., Чернишев Л.В. О создании манипуляционных роботов для проходческих работ. // Тез. докл. Всесоюз. инт. семинара молодых ученых и специалистов "Промышленные роботы и гибкие автоматизированные производства"-Иркутск, 1988. - С. 10 - 14.

27. Ткачев В.В., Зайка В.Т., Надточий В.Р. Система учета электропотребления для подземных горных работ. // Тез. докл. Всесоюз. научно-техн. докл. "Разработка методов и средств экономии электроэнергии в системах электроснабжения промышленности и транспорта". - Днепропетровск, 1990. - С.263 - 265.

28. Ткачев В.В., Вукочов В.Б. Стенд для исследования робототехнических систем. // Тр. 11-й Всесоюз. школы-семинара по робототехнике.-М., 1981 - С. 106 - 107.

29. Ткачев В.В., Джиркуи Л.И. Система программного управления комплексом манипуляторов бура. // Тез. докл. семинара-совещания "Адаптация, обучение и планирование поведения роботов".-Николаев, 1987 - С. 20 - 24.

30. Ткачев В.В., Коварь Н.В. Система автоматического управления конвейерным транспортом яхт на базе применения микропроцессоров. // Тез. докл. Всесоюз. научно-техн. семинара "Контроль параметров технологических потоков на угольных предприятиях в условиях функционирования АСУ".-М., 1981.- Вып. 3.- С. 30 - 34.

31. Децентрализованные системы горной автоматизации. / А.М. Виноград, А.Ф. Мултан, В.Б. Ткачев, В.Г. Зильбермандт. // Докл. на 4-м международном симпозиуме по горной автоматизации, г.Саскатун. 16-18 сентября 1990.- Канада, 1990.- С. 25-30.

32. Новые технические и программные средства в составе микропроцессорного комплекса Пото-М. / А.М. Заславский, В.В. Ткачев, В.И. Головки, В.В. Смоктай. // Тез. докл. научно-техн. семинара "Обмен опытом применения микропроцессорных устройств при проектировании, наладке и внедрении систем электроприводов технологических агрегатов на промышленных предприятиях", г.Днепропетровск. I - 4 октября 1991г. - Днепропетровск, 1991.- С. 31 - 32.

33. Пилипук Г.Г. Ткачев В.В., Осипов Е.Р. Результаты к...

следования в области автоматизации горного производства на базе применения вычислительной техники. // Тезисы доклада на 10-м международном конгрессе ICAMC-90, г.Острава, 22 - 26 октября. 1990 г. - Чехословакия. 1990, - С. 18 - 20.

34. Пупченко Б.С., Ткачев В.В.: О робототизации нек торых технологических процессов подземной добычи угля. // Тез. докл. семинара-совещания "Адаптация, обучение и планирование поведения роботов". - Николаев, 1980, - С. 20 - 24.

Личный вклад автора в основных работах, опубликованных в соавторстве:

в [ 1 ] лично автором написаны главы 3, 13 и подраздел 7.3;

в [ 6,7,8,9,10,24,28,29,30,31,32,33 ] соавтателя принадлежит научная постановка задачи, анализ результатов и обобщение выводов;

в [ 17,27 ] - участие в разработке структуры системы;

в [ 14 ] - разработана концепция языка логического управления.

В остальных работах вклад авторов равнозначен, а в авторских свидетельствах на изобретения [ 19 - 23 ] определяется справками о творческом участии.

Соавтатель

 В.В. Ткачев

#### АННОТАЦИИ

Ткачев В.В. "Методы и модели децентрализованного управления при автоматизации процессов горного производства",

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.07 - "Автоматизация технологических процессов и производств." Государственная горная академия Украины. Днепропетровск. 1995 год.

Получены аналитические выражения, определяющие правило поведения микропроцессорного контроллера в децентрализованной системе управления.

Предложен обобщенный алгоритм функционирования децентрализованной системы управления.

Разработана микропроцессорная система автоматизированного управления разветвленными конвейерными линиями шахт и рудников, являющаяся основой децентрализованного управления грузопотоками на горном предприятии.

#### ANNOTATION.

Tcachev V.V. Methods and models for decentralized control by on of automation of processes of mining productions.

Dissertation to search scholar degree doctor of technical sciences on 05.13.07 speciality "Automation of technology processes and productions".

State of mining university, Dnepropetrovsk, 1995.

Analytical description conditioned of rules behaviour of microprocessor control in decentralized system control was obtained.

Generalized algorithm function of decentralized system of control was proposed.

Microprocessor system of automated control of branched of conveyers lines in mines, fundamental for decentralized control of loadstream on the mines, was elaborated.

#### Ключові слова:

колективне поведіння, децентралізоване керування, алгоритм функціонування, математична модель, мікропроцесорний контролер.

**Тячев Виктор Васильевич**

**Методы и модели децентрализованного управления  
при автоматизации процессов  
горного производства**

**Автореферат**

Подписано в печать 13.07.95.

Формат 60 x 80 1/16 Бум. тип. А 3

Офс. печ. Усл. печ. л. 2.0

Уч.-изд. л. 2.0 Тираж 100 экз.

Заказ № 38 Бесплатно,

Ротапринт ИТА Украины. 320027,

Днепропетровск, пр. К. Маркса, 19

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

DEPARTMENT OF CHEMISTRY

PHYSICAL CHEMISTRY

LABORATORY

CHICAGO, ILL.

1950

REPORT

ON

THE

...

AB-5. 740

32.957

11811

AB 32.948

**AB 32.948**