

Библ. Д-644

АКАДЕМИЯ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР

ОБЪЕДИНЕННЫЙ УЧЕНЫЙ СОВЕТ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ
ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

На правах рукописи

ДОМРАЧЕВ В.М.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ И АЛГОРИТМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА
УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ КАРЬЕРОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ташкент
1968

А К А Д Е М И Я Н А У К У З Б Е К С К О Й С С Р

Объединенный Ученый Совет по техническим наукам
Отделения физико-технических и математических наук

На правах рукописи

ДОМРАЧЕВ В.М.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ И АЛГОРИТМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА
УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ КАРЬЕРОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

Специальность 255 - техническая кибернетика

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ташкент - 1968

6
АЧУ

Работа выполнена в Институте горного дела Сибирского отделения АН СССР, экспериментальная часть — в Вычислительном центре СО АН СССР и Институте экономики и организации промышленного производства СО АН СССР.

Научный руководитель: кандидат технических наук
М.М. Савкин.

Научный консультант: кандидат технических наук
Ю.Н. Ермолин.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Н.П. Ряшенцев; кандидат технических наук И.Б. Табакман.

Ведущее предприятие: кафедра промышленной электроники и автоматики Омского института инженеров железнодорожного транспорта.

Автореферат разослан "27" марта 1968 г.

Защита диссертации состоится " " в мае 1968 г. на заседании Объединенного Ученого Совета по техническим наукам Отделения физико-технических и математических наук АН Уз.ССР.

Ваши отзывы и замечания просим направлять по адресу:
г. Ташкент, ул. Гоголя, 70.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке АН Уз.ССР: г. Ташкент, ул. А. Тукаева, 1.

Ученый секретарь Совета
доктор технических наук,
профессор

У
Х.Х. УСМАНХОДЖАЕВ

Центральная библиотека
Академии наук Киргизской ССР

ВВЕДЕНИЕ

XXIII съезд Коммунистической партии Советского Союза, рассматривая задачи развития топливной промышленности страны на 1966–1970 гг., особое внимание обратил на наиболее полное использование возможностей развития открытого способа добычи полезных ископаемых.

В настоящее время открытыми горными работами добывается почти 70% всей железной руды, свыше 50% цветных металлов и 20% угля. К 1970 г. предполагается значительное расширение добычи полезного ископаемого открытым способом. Так, в частности, добыча руд цветных металлов увеличится в 1,5 раза, а удельный вес угля, добытого открытым способом, должен быть доведен до 28%.

Одним из основных путей достижения поставленных задач является широкое использование электронных вычислительных машин для управления производственными процессами на карьерах. В первую очередь это относится к управлению движением поездов. Железнодорожный транспорт в настоящее время является одним из наиболее распространенных видов транспорта на карьерах. Грузооборот его по углю составляет порядка 50%, а по руде и цветным металлам значительно выше.

Однако анализ работы карьеров с железнодорожным транспортом показывает низкое использование горнотранспортной техники (коэффициент использования экскаваторов и локомотивосоставов не превышает 0,5–0,6) и значительные затраты на железнодорожный транспорт.

Так, на Кальмакырском карьере удельный вес железнодорожного транспорта в себестоимости 1 м³ горной массы составляет около 35 процентов. Все это позволяет сделать вывод о значи-

тельных резервах улучшения существующей системы управления движением поездов на карьерах. Как показывает практика, наиболее радикальные из них могут быть найдены лишь с использованием ЭВМ.

Выполненная работа является частью исследований по большой и сложной проблеме совершенствования системы планирования и управления работой карьера на базе ЭВМ. Многие вопросы этой проблемы успешно решаются в работах В.В. Ржевского, А.Д. Школьников, И.Б. Табакмана, А.В. Гудкова, Н.Е. Реентовича, Р.В. Орлова, Саратовского, В.Л. Яковлева, М.И. Шмулевича, Н.М. Лепилкина и др.

Объектом исследования в диссертации являются системы управления движением поездов на карьерах. Предмет исследования составляют различные приемы алгоритмизации их для совершенствования управления движением поездов на карьерах на базе ЭВМ.

В отличие от большинства работ указанных выше авторов в ней рассматриваются главным образом методические вопросы по оценке различных приемов алгоритмизации управления движением поездов на карьерах. Решение этих вопросов имеет большое как теоретическое значение, так как позволяет анализировать полученные решения и выбрать направления дальнейшего их развития, так и практическое значение, так как дает оценку трудоемкости и эффективности совершенствования системы управления движением поездов на карьерах с использованием ЭВМ.

В этом направлении решаются следующие задачи:

- а) анализ систем и методов управления железнодорожным транспортом карьеров, технических средств диспетчеризации и основных направлений совершенствования их с использованием ЭВМ;
- б) разработка и экспериментальная проверка методики оценки приемов алгоритмизации управления движением поездов на карьерах;
- в) исследование путей и разработка рекомендаций снижения трудоемкости алгоритмизации рассматриваемого процесса.

Задачи решались с использованием экономико-математических методов, методов теории алгоритмов и теории автоматизации и

телемеханики. Экспериментальные работы выполнялись на ЭВМ типа М-20, а также посредством макетирования и лабораторной проверки предлагаемых решений.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений. Содержание глав излагается ниже. В первом приложении приведены алгоритм и программа расчета суточного графика движения поездов на Кальмакырском карьере, во втором — система регистрации информации о состоянии рассматриваемых объектов.

В первой главе рассматриваются существующие системы управления железнодорожным транспортом на карьерах, используемые технические средства диспетчеризации и основные направления совершенствования их с использованием ЭВМ.

Система управления движением поездов на карьере представляет собой органическое сочетание людей и комплекса технических средств, реализующее совокупность взаимосвязанных методов по целенаправленной обработке информации о процессе. В общей системе управления работой карьера система управления железнодорожным транспортом, а наряду с управлением горными работами, энергоснабжением карьера и т.п. занимает соподчиненное положение. Она является одной из подсистем, объединенных системой более высокого ранга, системой управления карьера в целом. Ввиду сложности она отнесена к классу больших или сложных систем автоматического управления.

В диссертации подробно анализируются вопросы структурного построения систем управления движением поездов, рассматриваются функции отдельных элементов системы и их взаимодействие между собой.

Основной формой управления движением поездов на карьерах в настоящее время является форма диспетчерского управления. Применение ее обусловлено необходимостью координации пропуска большого числа локомотивосоставов по транспортной сети карьера в зависимости от состояния и потребностей в работе горного оборудования. В диссертации рассматриваются различные структуры диспетчерского управления движением поездов и их увязка с диспетчерской службой карьера в целом.

Выбор методов управления движения поездов в значительной степени обусловлен задачей управления транспортом, а также наличием технических средств, предназначенных для ее решения.

Задача управления транспортом чрезвычайно сложна в силу стохастичности самого процесса движения поездов и его взаимозависимости от работы горного оборудования. Слабая изученность его значительно затрудняет разработку оптимальных методов управления.

Методы управления движением поездов на карьерах в настоящее время состоят в следующем. Вся организация перевозок на карьере осуществляется в два этапа: оперативное планирование работы транспорта на рассматриваемый отрезок времени и оперативное руководство движением поездов.

Планирование организации перевозок заключается в увязке в единую систему большого комплекса мероприятий по работе горного и транспортного оборудования для достижения поставленной цели. В диссертации рассматриваются требования к суточным и сменным оперативным планам работы транспорта на карьерах, анализируются достоинства и недостатки их различных форм.

При существующей организации движения поездов на карьерах диспетчер полагается главным образом на свой опыт и интуицию в оценке поездной обстановки и принятии решения. Поэтому вполне очевидны большие непроизводительные простои горнотранспортного оборудования, неполное использование пропускной способности транспортных коммуникаций, простой экскаваторов и фабрик. Большинство исследователей считает, что до 20% непроизводительных простоев горно-транспортного оборудования происходит из-за ошибок диспетчерской службы, возникающих вследствие субъективного истолкования диспетчерами производственной обстановки и недостатка времени на обдумывание принимаемых решений.

Облегчить работу диспетчера и значительно улучшить использование горно-транспортного оборудования должны применяться на железнодорожном транспорте карьеров технические средства диспетчеризации. В работе дается подробный их обзор, классификация и характеристика.

Все средства диспетчеризации разделяются на три группы: средства и виды связи, средства сигнализации и средства централизованного контроля и управления. Первая группа средств предназначена для обмена устной информацией между людьми, организующими движением поездов. Это наиболее распространенная группа технических средств на карьерах. Вторую группу составляют технические средства, информирующие поездные бригады и т.п. о наличии опасных мест и средства часофикации. Последняя группа средств предназначена для непосредственной автоматизации пропуска поездов по транспортной сети. Технические средства этой группы в настоящее время решают задачи механизации приготовления маршрута, безопасности движения поездов и организации их движения между отдельными пунктами. Применение этих средств позволяет на 50-70% увеличить пропускную способность отдельных пунктов и участков, сократить на 30-35% эксплуатационный штат и повысить безопасность движения поездов. Особенно интенсивно они стали внедряться на карьерном транспорте в последние годы. Однако эти средства диспетчеризации, позволяя значительно увеличить интенсивность движения поездов, не только не упрощают, но значительно усложняют работу диспетчера.

Все это привело к необходимости автоматизации работы диспетчера на основе использования ЭВМ. В диссертации дается анализ работ по автоматизации с помощью ЭВМ управления движения поездов на карьерах и подробно анализируются основные направления совершенствования системы управления.

В настоящее время можно различить две основные тенденции использования ЭВМ для указанных целей. Во-первых, посредством создания специализированных ЭВМ, предназначенных лишь для решения задачи непрерывного оперативного планирования, а в дальнейшем, очевидно, и регулирования движения поездов. Сюда можно отнести большинство работ ДГИ им. Плеханова. Второе направление связано с использованием универсальных цифровых вычислительных машин для создания комплексной автоматизированной системы планирования и управления карьера в целом. При

этом задача оперативного планирования работы транспорта решается подсистемой управления как одна из многих сопряженных задач планирования и управления на карьере (ИГД СО АН СССР, ИК АН Уз. ССР и др.). В работе подробно анализируются оба метода. Одним из особенностей второго направления является сложность реализации на универсальной ЭВМ процесса построения оптимального графика движения поездов на карьерах. Поскольку, по нашему мнению, второе направление является более перспективным, то основная часть работы посвящена проблеме анализа, оценки и разработки наиболее простых, но достаточно хороших машинных алгоритмов решения этой задачи.

Во второй главе диссертации ставится и решается задача оценки приемов алгоритмизации управления движением поездов на карьерах.

В данной главе диссертации подробно анализируются особенности алгоритмизации управления движением поездов на карьерах. Они обусловлены спецификой процесса, его изученностью и применяемыми методами построения машинных моделей процесса. В настоящее время наибольшее распространение для решения этой задачи получили методы эвристического программирования. При применении этих методов алгоритм решения создается не на основе математического анализа задачи, а на основе экспериментального изучения решения этих задач человеком, т.е. на воссоздании некоторых интеллектуальных человеческих действий и на анализе специфических свойств и особенностей объекта, в отношении которого осуществляется программирование.

Применение таких методов для построения алгоритма значительно затрудняет решение вопросов по его анализу и оценке, поскольку существующие и разрабатываемые в теории алгоритмов оценки относятся к строго формализованным задачам. Это одно из основных требований применимости разработанных оценок. Другая особенность их состоит в том, что они являются частными оценками, так как рассматривают лишь одно из свойств алгоритма. Как правило, оценивается либо сложность реализации алгоритма на ЭВМ, либо точность получения машинной модели. В

диссертации дается подробный анализ такого рода оценок и показывается их неприемлемость для рассматриваемых методов алгоритмизации. Широкое развитие работ по использованию ЭВМ для автоматизации управления процессами и внедрение их в практику работы карьеров требует построения комплексной оценки метода алгоритмизации, которая позволяла бы не только охарактеризовать полученное решение, но и процесс получения его.

В основу построения такой методики оценки приемов алгоритмизации положено следующее.

1. Построение алгоритма управления является одним из основных ответственных этапов разработки системы автоматического управления сложным объектом.

2. Применяемый метод алгоритмизации предъявляет свои требования к исходной информации о процессе и в известной мере предопределяет трудоемкость исследования процесса.

3. Метод алгоритмизации влияет на сложность алгоритма, а значит на трудоемкость реализации алгоритма.

4. Различные по сложности алгоритмы требуют различных методов и технических средств для оптимальной реализации.

5. Применение алгоритма, разработанного рассматриваемым методом, в системе управления должно способствовать повышению качества управления.

Для построения такой оценки процесс алгоритмизации управления движением поездов нами разбит на ряд следующих этапов:

- а) анализ производственного процесса;
- б) постановка задачи и разработка алгоритма;
- в) формализация алгоритма и его программирование;
- г) отладка и контрольное решение задачи;
- д) определение затрат по реализации алгоритма в системе управления;
- е) определение экономического эффекта от реализации алгоритма в системе управления.

На первом этапе производится исследование и содержательное описание процесса управления движением поездов. На втором

- строгая запись задачи управления, разработка блок-схемы алгоритма и составление исходной информации. В дальнейшем алгоритм записывается либо на одном из алгоритмических языков, либо сразу на языке машины, осуществляется проверка правильности записи и работоспособности его. При определении затрат по реализации алгоритма в системе управления необходимо решить вопрос о реорганизации существующей системы управления и выбрать необходимые технические средства. Если оценить все затраты по предыдущим этапам и текущие затраты по реализации алгоритма в стоимостных единицах, то оценка приема алгоритмизации процесса управления движения поездов может быть получена с использованием "Методики определения экономической эффективности внедрения новой техники, механизации и автоматизации производственных процессов в промышленности". Выражение оценки приема алгоритмизации имеет следующий вид:

$$A_{эфф} = \max [C_1 - C_2 + E_H (K_y - (1 + \eta + R)) \cdot (\sum_{h=1}^n N_{ср. h} \cdot L_h \cdot t_h + T_{алг} \cdot t_a) - \beta \cdot C_{сист} - \frac{z \cdot C_{маш}}{n_0 \cdot T_{маш}} \sum_{i=1}^n a_i - \sum_{k=1}^d N_k z_k - \sum_{j=1}^m l_j z_j] \quad (I)$$

- где:
- C_1 - себестоимость транспортировки 1 м³ горной массы до внедрения системы, реализующей алгоритм, руб.;
 - C_2 - то же, после, руб.;
 - E_H - коэффициент эффективности капитальных вложений в данную отрасль хозяйства;
 - K_y - неамортизируется часть стоимости производственных фондов, руб.;
 - η - коэффициент, определяющий размер дополнительной заработной платы и отчислений на социальное страхование;
 - R - коэффициент, определяющий величину накладных расходов;
 - $N_{ср. h}$ - средняя трудоемкость обработки документа ^h наименования, чел.-час./ документ;

- L_h - количество документов h — наименования, обрабатываемых в час.;
- t_h - средняя часовая тарифная ставка работников, занятых обработкой документов, руб./час.;
- $T_{алг}$ - трудоемкость работ по постановке задачи, разработке и проверке алгоритма, чел./час.;
- t_a - средняя часовая тарифная ставка работников, занятых разработкой и проверкой алгоритма, руб./час.;
- β - коэффициент, учитывающий затраты на проектирование системы;
- $C_{сист}$ - стоимость проектируемой автоматизированной системы, руб.;
- z - общее число раз расчета алгоритма в год;
- $C_{маш}$ - стоимость ЭВМ, руб.;
- n_0 - эффективное быстродействие ЭВМ при реализации данного алгоритма, опер./сек.;
- $T_{маш}$ - общее время работы ЭВМ в год;
- $\sum_{i=1}^n a_i$ - оценка алгоритмической сложности разработанного алгоритма, опер.;
- N_k - число контролируемых и управляемых объектов на железнодорожных станциях карьеров, шт.;
- l_j - протяженность перегонных устройств автоматики, включенных в систему, км;
- z_k, z_j - общая сметная стоимость единиц измерения периферийных устройств (контролируемый объект, км устройств автоматики).

При сравнении нескольких методов алгоритмизации предпочтение следует отдать тому, который дает максимум выражения (I). Если карьер, на котором автоматизируется управление движением поездов, работает по новой системе планирования и экономического стимулирования / принятой сентябрьским (1965) Пленумом ЦК КПСС, то общее выражение оценки приема алгоритмизации должно быть иным. При работе карьера по этим условиям, мероприятия по внедрению новой техники и т.п. должны быть направлены на

то, чтобы капитальные вложения давали максимально-возможный эффект, в чем должен быть заинтересован как коллектив предприятия, так и его отдельные работники. Особое внимание обращается на эффективное использование имеющихся у предприятия производственных основных фондов, оборотных средств, различных материальных ресурсов, в том числе и средств, предназначенных для улучшения новой техники. В этих условиях оценку деятельности предприятия предполагается производить по двум основным показателям: величине прибыли и уровню рентабельности фондов. К сожалению, в настоящее время нет окончательно разработанной методики определения экономической эффективности новой техники при работе предприятия в новых условиях. В качестве примера одного из подходов к решению этой самостоятельной экономической задачи сошлемся на работу К.М. Великанова^ж.

Если до автоматизации управления движением транспорта прибыль предприятия составляла $\Pi_x^{(1)}$, а после $\Pi_x^{(2)}$, то выражение оценки эффективности метода алгоритмизации можно записать так:

$$A_{эфф} = \max (\Pi_x^{(2)} - \Pi_x^{(1)}) = \\ = \max \left[\sum_{j=1}^z (Q_j^{(2)} - Q_j^{(1)}) C_j - U_x^{(2)} + U_x^{(1)} \right] \quad (2)$$

где: j - вид продукции, реализованной за год,,
 $j = 1, 2, \dots, z$;

$Q_j^{(1)}$ - годовой объем реализации j -го вида продукции до внедрения системы, реализующей алгоритм;

$Q_j^{(2)}$ - то же, после;

C_j - оптовая цена единицы j -го вида продукции, руб./шт., руб./1 м³;

^ж К.М. Великанов. Определение экономической эффективности новой техники в условиях расширения хозяйственной деятельности предприятия. ЛИЭИ им. П.Толыятти, "Знание", Л., отд., 1966.

$U_x^{(1)}$ - общая сумма издержек предприятия за год до внедрения системы, реализующей алгоритм, руб./год;
 $U_x^{(2)}$ - то же, после.

В диссертации подробно рассматривается порядок расчета величин, входящих в выражение оценки алгоритма.

Третья глава диссертации посвящена опробованию методических предложений по оценке приема алгоритмизации, развиваемых в предыдущей главе.

Одним из первых вопросов, возникающих при практическом использовании любой методики является знание условий правильного ее использования. Эти условия названы нами "Условиями сопоставимости методов алгоритмизации". Они состоят из общих требований, предъявляемых методикой определения экономической эффективности, и частных, определяемых рассматриваемой задачей. Так, сущность последних сводится к тому, чтобы сравниваемые методы алгоритмизации рассматривались для однотипных по сложности и размерности задач и одинаковых методов исследования процесса и условий реализации алгоритма. Очевидно, лучшим моментом выполнения этих условий было бы решение задачи управления транспортом на одном и том же карьере различными способами с использованием одного метода записи алгоритмов и однотипной ЭВМ для проверки их работоспособности и эффективности. В противном случае необходима соответствующая корректировка для сопоставления полученных результатов.

Поскольку рассматриваемая задача оценки приема алгоритмизации сложна, то очень важно четко представлять задачи эксперимента. На наш взгляд, они состоят в следующем:

- а) выбор объекта и его исследование;
- б) постановка задачи и выбор метода ее решения (в данном случае метода алгоритмизации);
- в) разработка алгоритма и проверка его на ЭВМ;
- г) определение путей реализации алгоритма в системе управления;
- д) получение количественной оценки эффективности рассматриваемого метода алгоритмизации;

е) анализ результатов применения разрабатываемой методики для оценки приемов алгоритмизации задачи управления движением поездов.

В качестве объекта исследования был выбран Кальмакырский карьер, который разрабатывает медномолибденовое месторождение.

Рассматривается следующая технологическая схема ведения горных работ в карьере: добыча экскаваторами циклического действия, погрузка вскрыши и руды в думпкары и перевозка железнодорожным транспортом породы в отвалы и руды на фабрику.

Процесс управления работой железнодорожного транспорта на рассматриваемом карьере является марковским дискретным процессом. В силу этого ему присущи следующие свойства.

1. Состояние процесса на каждом шаге характеризуется небольшим числом параметров состояния. К ним относятся наличие руды на фабрике, наличие или отсутствие свободных порожних локомотивосоставов, занятость или свобода забоев и т.п.

2. Определение управления производится на каждом шаге посредством выбора одного из нескольких возможных.

3. Результатом управляющего воздействия является перемещение локомотивосоставов по транспортной сети, при котором параметры состояния процесса примут новое значение (произойдет изменение количества руды на фабрике, освободится или станет занятым тот или иной забой и т.п.).

4. Предистория процесса не имеет значения при определении будущих действий и определяется только его состоянием в рассматриваемый момент времени.

5. Целью процесса оперативного планирования и управления работой железнодорожного транспорта на карьере является оптимизация выбранного критерия. В качестве критерия оптимальности решения рассматриваемой задачи нами выбран технологический критерий, согласно которому требуется максимально-возможное использование железнодорожного транспорта.

Рассматриваемый процесс описывается системой уравнений (3).

$$F_0 = F(x_{ijk}^0, t_{ijk}^0) = 0$$

$$F_1 = \min(F_0 + \Delta F_1) \\ 0 < x_{ijk}^1 < l; 0 < t_{ijk}^1 < t_{ijk}^{\max}$$

$$F_2 = \min(F_1 + \Delta F_2) \\ 0 < x_{ijk}^2 < l; 0 < t_{ijk}^2 < t_{ijk}^{\max}$$

$$F_N = \min(F_{N-1} + \Delta F_N) \\ 0 < x_{ijk}^N < l; 0 < t_{ijk}^N < t_{ijk}^{\max}$$

(3)

$$\text{Где: } \Delta F_k = \sum_{k=1}^l t_{ijk}^k (x_{ijk}^k + x_{ijk}^0) \quad (4)$$

$$t_{ijk}^k = \min(A_k) \\ k = 1, 2, \dots, l \quad (5)$$

$$A_1 = \min(t_{ij1}^1 \cdot W_1^1 \cdot z_j^1) \\ i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$$

$$A_2 = \min(t_{ijk}^2 \cdot W_k^2 \cdot z_j^2) \\ i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$$

$$A_l = \min(t_{ijl}^l \cdot W_l^l \cdot z_j^l) \\ i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$$

(6)

$$t_{ijk}^k = f(i_k^k; j_k; t_{i_k}; i_k j_k) \quad (7)$$

находится из «Таблицы станционных связей и времен хода по перегонам»

$$i_k^\lambda = \left\{ \begin{array}{l} i_k^{\lambda-1} \text{ если } \{(T_{ikjk}^{np} > T^\lambda) \vee (W_{ikjk}^\lambda = 1)\} \\ i_k^{\lambda-1} \text{ если } \{(T_{ikjk}^{np} = T^\lambda) \wedge (W_{ikjk}^\lambda = 0)\} \end{array} \right\} \quad (8)$$

$$T_{ikjk}^{np} = T^\lambda + t_{ik, ikjk} \quad (9)$$

$$W_{ikj}^\lambda = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ если } (T_{ikjk}^{om} > T^\lambda) \\ 0 \text{ если } \{(T_{ikjk}^{om} = T^\lambda) \wedge (W_{ikj; ikjk}^\lambda = 0)\} \end{array} \right\} \quad (10)$$

$$W_{ikj; ikjk}^\lambda = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ если } \{(T_{ikjk}^{om} = T^\lambda) \wedge (W_{ikj; ikj}^{\lambda-1} = 1)\} \\ 0 \text{ если } \{(W_{ikj; ikjk}^{\lambda-1} = 0) \vee (T_{ikjk}^{np} = T^\lambda) \wedge (W_{ikjk}^{\lambda-1} = 0)\} \end{array} \right\} \quad (11)$$

$$T_{ikjk}^{om} = T_{ikjk}^{np} + t_{ikjk}^{om} \quad (12)$$

$$W_k^\lambda = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ если } \{(T_{jk}^p - T^\lambda \leq \Delta t_2) \vee (W_k^{\lambda-1} = 1)\} \\ 0 \text{ если } (T_{jk}^p - T^\lambda > \Delta t_2) \end{array} \right\} \quad (13)$$

$$z_j^\lambda = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ если } \{(W_j^\lambda = 0) \wedge (\alpha_j^\lambda > 0)\} \\ 0 \text{ если } \{(W_j^\lambda = 1) \vee (\alpha_j^\lambda = 0)\} \end{array} \right\} \quad (14)$$

$$W_j^\lambda = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ если } \{(W_j^{\lambda-1} = 1) \wedge (T_{jk}^{om} > T^\lambda)\} \\ 0 \text{ если } \{(W_j^{\lambda-1} = 0) \vee (T_{jk}^{om} = T^\lambda) \wedge (W_{ikj; ikjk}^\lambda = 0)\} \end{array} \right\} \quad (15)$$

$$\alpha_{j\sigma}^\lambda = \alpha_{j\sigma}^0 - \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l \sum_{s=1}^{\lambda-1} x_{ijk\sigma}^s \quad (16)$$

$$T_{jk}^{om} = T_{jk}^{np} + t_{jk}^n \quad (17)$$

$$T_{jk}^p = T_{jk}^{np} + T_{jk}^p \quad (18)$$

$$x_{ijk\sigma}^\lambda = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ если } [\min_{\sigma=1,2,3} \{T_\sigma^{\lambda-1}\} - \tau \leq \Delta t_1] \\ 0 \text{ если } [\min_{\sigma=1,2,3} \{T_\sigma^{\lambda-1}\} > \Delta t_1] \end{array} \right\} \quad (19)$$

σ_λ — то σ , которое дает $\min_{\sigma=1,2,3} \{T_\sigma^{\lambda-1}\}$

$$x_{ijk\sigma}^\lambda = \left\{ \begin{array}{l} \beta \text{ если } \{(\sum_{k=1}^l W_k^\lambda \neq x_{ijk\sigma}^\lambda) \wedge (W_j^\lambda = 0)\} \\ 0 \text{ если } \{(\sum_{k=1}^l W_k^\lambda \leq x_{ijk\sigma}^\lambda) \vee (W_j^\lambda = 1)\} \end{array} \right\} \quad (20)$$

$$T_\sigma^\lambda = T_\sigma^{\lambda-1} + x_{ijk\sigma}^\lambda \cdot h_\sigma \cdot \tau \quad (21)$$

$$T^\lambda = t + \sum_{s=1}^{\lambda} \tau_s \quad (22)$$

$$\tau = \frac{T_{пл}}{N} \quad (23)$$

$$0 < \tau \leq t_{jk}^p \quad (24)$$

- F_2 - значение оптимизируемой функции на 2 шаге;
- ΔF_2 - приращение оптимизируемой функции на 2 шаге;
- t_{ijk}^2 - минимальное время рейса "К" локомотивосостава на 2 шаге из i пункта в j забой за сортом руды;
- t_{yk}^2 - время рейса K локомотивосостава на 2 шаге; находится из таблицы станционных связей и времен хода по перегонам;
- i_k - станция, на которой находится K локомотивосостав на 2 шаге;
- j_k - конечный пункт следования K локомотивосостава;
- i_{kj} - ближайшая станция по ходу движения K локомотивосостава из i_k в j_k пункты;
- $t_{i_{kj}k}^2$ - время движения K локомотивосостава из i_k пункта в i_{kj} пункт;
- $T_{i_{kj}k}^{пр}$ - время прибытия K локомотивосостава на станцию i_{kj} ;
- $T_{i_{kj}k}^{от}$ - время отправления K локомотивосостава со станции i_{kj} ;
- $t_{i_{kj}k}^{от}$ - нормативное время стоянки K локомотивосостава на i_{kj} станции;
- $T_{jk}^{от}, T_{jk}^{пр}$ - время отправления K локомотивосостава из пункта погрузки и разгрузки;
- t_{jk}^n, t_{jk}^p - нормативные времена погрузки и разгрузки K локомотивосостава в пунктах погрузки и разгрузки;
- W_k^2 - признак, характеризующий занятость K локомотивосостава на 2 шаге;
- W_j^2 - признак, характеризующий занятость j конечного пункта движения локомотивосостава на 2 шаге;
- $W_{i_{kj}}^2$ - признак, характеризующий занятость ближайшей станции по ходу из i_k в j_k пункты на 2 шаге;
- $W_{i_k i_{kj}}^2$ - то же, перегона между станциями i_k и i_{kj} ;

- a_{ja}^0 - запас производительности j забоя по σ сорту руды на начало планируемого периода;
- a_{ja}^1 - то же, на 2 шаге;
- z_j^2 - признак, характеризующий возможность посылки локомотивосостава в j забой за σ сортом руды на 2 шаге;
- T_σ^2 - запас работы фабрики по σ сорту руды на 2 шаге;
- x_{ijk}^2 - количество рейсов K локомотивосостава за σ_2 сортом руды на 2 шаге из i пункта в j забой;
- $x_{ijk\sigma^n}^2$ - количество рейсов K локомотивосостава за породой (σ^n) на 2 шаге из i пункта в j забой;
- h_σ - время работы фабрики при подаче одного локомотивосостава с σ сортом руды;
- $\Delta t_1, \Delta t_2$ - нормативные времена запаса работы фабрики и учета перспективности как порожнего разгружающегося K локомотивосостава на 2 шаге;
- $T_{пл}$ - планируемое время работы карьера;
- T^2 - время с начала планируемого периода на момент 2 шага (текущее время);
- t_0 - начальное время;
- τ - величина шага просмотра ситуации в карьере;
- N - количество шагов на планируемом отрезке времени.

Выражение (3) показывает, что оптимальное управление работой транспорта на карьере отыскивается посредством выбора оптимальных решений на каждом шаге. При этом на каждом шаге приращение функции ΔF_2 - определяется согласно выражению (4). Из этого и последующих выражений видно, что посылка порожняка под погрузку производится исходя из условий обеспечения необходимого времени бесперебойной работы фабрики рудой нужного качества. Выбор возможных мест погрузки производится согласно выражению (14) и (16), где уравнение (16) показывает изменение запаса производительности забоя по σ сорту руды.

Согласно выражения 19 определяется количество локомотивосоставов, которое нужно послать за рудой u_2 сорта на 2 шаге, а согласно выражений (5-12) и 16 определяется какой именно порожняк и в какой забой должен быть послан на 2 шаге. Выражения 15 и 13 показывают изменение состояния j забоя и k локомотивосостава на шаге. Изменение запаса работы фабрики по u руде определяется согласно выражению 21. Выражения (22-24) показывают как формируется момент просмотра ситуации и характеризуют величину шага просмотра ситуации.

Время движения между двумя отдельными пунктами и маршрут следования локомотивосостава определяется из "таблицы станционных связей и времен хода по перегонам". В этой таблице в самом левом столбце расположены номера станций, где может в рассматриваемый момент времени находиться интересующий нас локомотивосостав. В самой верхней строке ее располагаются номера станций, куда может следовать локомотивосостав, так называемый конечный пункт. На пересечении, образованном строкой от номера станции i_k , на которой находится в данный момент рассматриваемый локомотивосостав, и столбцом, от номера конечной станции следования его j_k , расположен номер ближайшей по ходу станции и время хода до нее. Последовательно принимая ближайшую по ходу станцию за станцию нахождения отыскивается маршрут и время движения по нему рассматриваемого локомотивосостава.

Задача решалась методом непосредственного моделирования на трехадресной ЭВМ процесса работы рассматриваемой технологической схемы. За основу его был принят "метод расчлененно-связанных ситуаций".

Подробное описание алгоритма и программы дано в Приложении № I. Программа составляет 832 команды. Исходная информация и константы занимают 1024 ячейки, а рабочие ячейки - 56 ячеек оперативного запоминающего устройства. Расчет суточного графика работы карьерного транспорта при шаге просмотра ситуации равном 1 мин., с учетом времени ввода и вывода ин-

формации, занимает 8 мин. машинного времени. Анализ технико-экономической эффективности использования данного метода алгоритмизации для управления движением поездов на карьере показывает, что тот же объем перевозок при управлении с помощью ЭВМ может быть выполнен меньшим против существующего парка локомотивосоставов. При этом нами получено следующее соотношение этапов алгоритмизации. Так, анализ производственного процесса, включающий работы по исследованию процесса, составляет 326,4 чел./час. или 0,490 тыс.руб. или 9,6% общей трудоемкости. Постановке задачи и разработка алгоритма, включающая строгую запись задачи управления, разработку блок-схемы и компоновку исходной информации, составляет соответственно 278,8 чел./час., 0,42 тыс.руб. и 8,2%. Формализация алгоритма и его программирование составляют соответственно 1587,8 чел./час., 2,38 тыс.руб. и 46,7%. А отладка и контрольное решение задачи составляют соответственно 1207 чел./час., 1,8 тыс.руб. или 35,5% общей трудоемкости.

В главе четвертой рассматриваются итоги эксперимента, разрабатываются предложения по снижению трудоемкости алгоритмизации и обобщаются результаты исследования.

Одним из первых результатов эксперимента является то, что предложенным методом может быть получена количественная оценка приема алгоритмизации движения поездов. Эта оценка позволяет охарактеризовать конечный результат - эффективность системы, в которой предполагается реализация полученного алгоритма. Кроме того удается проследить трудоемкость выполнения отдельных этапов алгоритмирования. Это очень важно с точки зрения совершенствования приема алгоритмизации и его быстрого внедрения в практику работы карьеров.

Во-вторых, эксперимент показывает относительно малую трудоемкость рассматриваемого приема алгоритмизации, простоту алгоритма и высокую эффективность полученных решений.

В-третьих, по результатам эксперимента видно, что наиболее трудоемкими этапами являются формализация алгоритма,

его программирование, отладка и контрольное решение задачи. Трудоемкость выполнения их составляет более 80% трудоемкости всех работ по алгоритмизации. В свою очередь из работ этих этапов наиболее трудоемкими является программирование алгоритма на языке ЭВМ и его проверка.

Основной причиной большой трудоемкости программирования и отладки алгоритма является то, что запись алгоритма производится программистом непосредственно в кодах команд машины. Она может быть существенно снижена путем использования для этой записи алгоритмических языков и последующей автоматической перезаписи алгоритма на язык ЭВМ.

Однако используемые в нашей стране алгоритмические языки такие, как АЛГОЛ и т.п., не позволяют оперировать с отдельными разрядами ячеек, что исключает их использование для рассматриваемых целей. В диссертации предлагается метод алгоритмической записи данного алгоритма. Этот метод записи построен с использованием операций алгебры логики, основных понятий оперативного метода А.А. Ляпунова и некоторых понятий адресного языка Е.Л. Юценко. Из последнего, в частности, заимствовано понятие содержимого, которое определяется с помощью штрих-операции. Из оперативного метода заимствованы понятия пересылки, перехода по логическим условиям и т.п. и основная символика записи. Из математической логики заимствованы операции выделения, сложения и т.п. Этот метод записи алгоритма значительно облегчает программирование алгоритма, так как дает довольно подробную его запись, приближенную к структуре машинного алгоритма. Однако для достижения полного эффекта от такой записи желательно иметь транслятор для автоматической перезаписи алгоритма на язык ЭВМ.

Следующей трудоемкой операцией является изучение объекта. Как и в рассматриваемом выше случае, основной причиной этого является применение ручного труда для сбора и обработки информации о процессе. Для механизации этих работ предлагается использовать автоматизированную систему сбора и регистрации информации о процессе. В этой системе регистрация ин-

формации осуществляется на перфокарту в коде, удобном для ввода в ЭВМ типа М-20. В диссертации подробно разбираются требования к такого рода системам, показывается высокая эффективность их по сравнению с использованием управляющих вычислительных машин (например, типа "Днепр"), а в приложении № 2 приводится описание и основные схемы такой системы, разработанной под руководством и при участии автора. Эта система проходит в настоящее время в Кузбассе промышленные испытания.

В диссертации рассматриваются и пути снижения трудоемкости расшифровки информации, выдаваемой ЭВМ как решение задачи. Затраты на выполнение этой работы превосходят по времени более чем в 180 раз время расчета суточного графика движения поездов.

В работе дается также оценка некоторых параметров алгоритма, построенного рассматриваемым приемом и даются рекомендации по их выбору. Применение этих рекомендаций значительно упрощает алгоритм управления движением поездов.

На основе теоретических и экспериментальных исследований вопросов совершенствования процесса управления железнодорожным транспортом карьеров с использованием ЭВМ можно сделать следующие основные **в ы в о д ы**.

1. Вопросы рациональной организации работы железнодорожного транспорта являются одними из основных в повышении производительности труда и использовании горнотранспортного оборудования карьеров.

Применяемые на карьерах средства диспетчеризации позволяют значительно повысить интенсивность работы транспорта и устранить из нижних ступеней управления движением решающее звено (человека), перекладывая все функции по анализу обстановки и принятию решения за диспетчера. Это создает предпосылки применения ЭВМ для совершенствования системы управлением транспорта на карьерах.

2. Задача управления движением поездов на карьерах усложняется тем, что для эффективного решения она должна решаться вместе с другими задачами выемки полезного ископаемого, таки-

ми, как: рациональная организация режима горных работ, усреднение добываемого полезного ископаемого и т.п.

3. Предложена математическая модель (формулы 3-24), рассматривающая процесс управления работой железнодорожного транспорта на карьере как марковский дискретный процесс.

4. Для разработки эффективных алгоритмов и быстрого внедрения их в практику работы карьерного транспорта большое значение имеет оценка свойств разработанных алгоритмов. Предлагается методика оценки приемов алгоритмизации управления движением поездов (формулы 1, 2).

К особенностям ее можно отнести то, что дается интегральная оценка приема алгоритмизации, охватывающая как трудоемкость процесса алгоритмирования, так и все основные свойства алгоритма. Это позволяет сделать вывод о эффективности предлагаемого метода задолго до его внедрения. Знание же трудоемкости выполнения этапов алгоритмизации позволяет разработать меры по снижению ее и тем способствовать ускорению внедрения.

5. Для снижения трудоемкости программирования задачи управления движением поездов на карьерах предлагается метод алгоритмической записи. Использование ее значительно облегчает программирование, т.к. дает подробную запись алгоритма, максимально приближенную к структуре машинной записи.

6. Для снижения трудоемкости изучения процесса предлагается использование разработанной под руководством и при участии автора автоматизированной системы сбора и регистрации информации. Информация о процессе регистрируется на перфокарту в коде, удобном для ввода и последующей обработки на ЭВМ типа М-20. Применение ее более чем в 20 раз дешевле по сравнению с применением для этих целей ЭВМ типа "Днепр".

7. Даются рекомендации по решению вопроса снижения трудоемкости расшифровки информации.

8. Рассматривается оценка параметра Δt_2 в алгоритме. Показывается, что наиболее рациональное значение имеет его минимальная величина. Это позволяет значительно упростить сам алгоритм, получив при этом хорошее решение.

Результаты диссертационной работы были доложены на III Всесоюзном совещании по автоматическому управлению и регулированию (технической кибернетики), г. Одесса в 1965 г.; Всесоюзной конференции по проблеме шахты будущего, г. Новосибирск, 1965 г.; на научно-технической конференции по проблеме: "Научные основы создания высокопроизводительных комплексно-автоматизированных карьеров" в МИИ, Москва, апрель 1967 г., а также в лаборатории автоматизации процессов управления транспортом ИК АН УССР, октябрь 1965 г., на заседании горно-геологического факультета Фрунзенского политехнического института, декабрь 1966 г., Объединенного научного семинара Института физики и механики горных пород АН Киргизской ССР, декабрь 1966 г., на Ученом Совете ИГД СО АН СССР и т.п.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. В. М. Домрачев, Ю. Н. Ермолин. К вопросу автоматизации управления работой железнодорожного транспорта на карьерах Сибири. В сб. "Исследование технологии открытых горных работ землерезных машин и электромагнитных ударных узлов", Новосибирск, 1966.

2. В. М. Домрачев. Особенности оценки приемов алгоритмизации на разрезах. В сб. "Экономика угольной промышленности", № II-12, ЦНИЭИ угля, г. Москва, 1967.

3. В. М. Домрачев, Ю. Н. Ермолин, М. М. Савкин. Об использовании ЭВМ для планирования работы железнодорожного транспорта на карьерах. Издательство "Наука", Сибирское отделение, г. Новосибирск, 1968.

Подписано в печать 22 марта 1968 г. МН № 05534
Формат бум. 60 x 84 ^I/16. Объем 1,5 печ. лист.
Тираж 200 экз. Заказ № 89

Отпечатано на роталпринте НГУ, г. Новосибирск.