

6
А66

Министерство угольной промышленности СССР

Ордена Трудового Красного Знамени
Институт горного дела им. А.А.Скочинского

На правах рукописи

Канд. техн. наук М. Г. ПОТАПОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ И ПАРАМЕТРОВ
ОБОРУДОВАНИЯ ТРАНСПОРТА
НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАЗРАБОТКАХ

Специальность 05.312 – "Открытая разработка
и эксплуатация угольных, рудных и нерудных
месторождений"

Диссертация написана
на русском языке

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва
1971

ВВЕДЕНИЕ

Программа дальнейшего развития производительных сил советского общества, изложенная в Директивах XXIV съезда КПСС, предусматривает расширение и совершенствование индустриальной базы социалистической экономики.

Одним из направлений развития горной промышленности в наше время является расширение применения открытого способа разработки месторождений, который при наличии определенных горногеологических условий представляет собой наиболее эффективный способ горного производства.

В Советском Союзе построены и действуют крупнейшие горные предприятия с открытым способом добычи: угольные — Иртышские, Коркинские, Кузнецкого бассейна; железорудные — Соколовско-Сарбайский, Криворожские, Качканарский горнообогатительные комбинаты; меднорудные — Коунрадский, Гайский, Сибайский рудники. На предприятиях используется мощная техника, позволяющая реализовать преимущества открытого способа разработки месторождений.

Последующее развитие открытого способа связано со значительным увеличением объемов перерабатываемой горной массы и вовлечением в разработку новых месторождений со сложными горногеологическими условиями.

Транспорт вскрышных пород и полезного ископаемого является, как правило, наиболее трудоемким и дорогостоящим процессом открытой добычи. Будучи связующим звеном между процессом выемки горной массы и ее переработки (или складирования), карьерный транспорт вносит параметрическую и организационную связь между отдельными технологическими процессами открытой разработки месторождений.

Последние годы характеризуются резким повышением оснащенности карьеров буровой и экскавационной техникой. Транспортное

звено становится сдерживающим в общем прогрессе открытой добычи полезных ископаемых. Такое положение определяет необходимость углубленного изучения эксплуатационных и технико-экономических аспектов работы карьерного транспорта различных видов с целью создания новых средств транспорта и совершенствования организации транспортного процесса в карьерах.

В основу настоящей диссертации положены работы автора в период 1954-1971 гг. над проблемами карьерного транспорта в Институте горного дела им.А.А.Скочинского при научной консультации академика Н.В.Мельникова. Исследование базируется на многогранном опыте работы предприятий открытой добычи, фундаментальных трудах в области открытых горных работ, а также достижениях науки в смежных технических областях.

Рекомендации, которыми завершается работа, относятся в практической части, в первую очередь, к угольной промышленности. Общая постановка проблемы и методы решения задач справедливы для открытого способа разработки месторождений в целом.

Автор приносит большую благодарность работникам Отделения разработки месторождений открытым способом ИГД им.А.А.Скочинского, сотрудничавших с ним в процессе проведения исследований.

Глава I. РАЗВИТИЕ И СОСТОЯНИЕ ТРАНСПОРТА НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАЗРАБОТКАХ

Разнообразие горногеологических характеристик месторождений Советского Союза, залегающих в отдельных районах страны, обуславливает различие способов их вскрытия и систем открытой разработки. Однако превалирующая роль принадлежит транспортной системе разработки — наиболее универсальной по условиям применения. Для угольных и железорудных месторождений Казахстана, Сибири, Кузбасса и Центра, разработка которых намечена в перспективе, транспортная система остается доминирующей.

Основное распространение на карьерах Советского Союза получили железнодорожный, автомобильный и конвейерный транспорт. Каждый из этих видов транспорта известен и применяется в течение длительного времени. На отдельных этапах развития открытого способа разработки некоторые из названных видов транспорта получали большее распространение соответственно уровню развития различных отраслей отечественной машиностроительной промышленности.

В развитии отечественного карьерного транспорта можно отметить три периода, определяемых развитием экономики страны и открытой добычи полезных ископаемых. Первый период характеризуется использованием на карьерах транспортных средств, применяемых к тому времени в других отраслях хозяйства. Второй период знаменуется созданием специализированных транспортных средств, параметры которых определялись горнотехническими условиями их работы. Третий, настоящий, период характеризуется еще большим поворотом к повышению эффективности производства на основе создания совершенных технических средств и организации работы.

Для фундаментальных работ, выполненных акад.Н.В.Мельниковым, проф.Е.Ф.Шешко, чл.-корр. АН СССР В.В.Ржевским и А.О.Сливаковским, проф.М.В.Васильевым и М.Г.Новожиловым, характерно развитие представления о неразрывности технологических процессов при открытой разработке месторождений полезных ископаемых, о необходимости гармоничного сочетания работы отдельных звеньев процесса для получения высоких результативных показателей. Сформулированные акад.Н.В.Мельниковым принципы механизации открытых работ четко определяют место и роль карьерного транспорта в технологической цепи открытой разработки.

Становлению и развитию карьерного локомотивного транспорта способствовали работы В.А.Тимофеева, а затем С.В.Гурьева, разработавших основы его применения в карьерах. Созданию и применению специализированных средств карьерного транспорта предшествовали и во многом содействовали исследования проф. С.А.Волотковского, докт. техн. наук И.И.Костина, канд. техн. наук Л.Г.Тымовского, В.Н.Стасюка, Е.А.Хохлова, Б.Р.Бондаренко, А.Н.Шухова, инж.В.И.Сорокина, В.М.Ефимова, Н.Д.Аверина, И.П.Пономарева, С.М.Ямщикова (в области железнодорожного транспорта); проф. М.В.Васильева, В.С.Хохрякова, канд. техн. наук З.Л. Сироткина, В.П.Смирнова, А.Н.Шилина, В.Г.Селянина (в области автомобильного транспорта); члена-корреспондента АН СССР А.О.Сливаковского, проф. А.В.Андреева, Б.В.Фаддеева, Б.Н.Тартаковского, канд.техн.наук В.Н.Иванова, Н.А.Лаловенко, Г.В.Приседского, А.И.Шендерова (в области конвейерного транспорта).

В последние годы интенсивно развиваются научные исследования в области технико-экономического анализа карьерного транспорта различных видов. Это вызвано широким применением в практике исследований современной вычислительной техники, которая позволяет решать крупные комплексные проблемы. Особое место занимают

исследования, посвященные оценке надежности горнотранспортного оборудования. Одной из первых работ применительно к задачам горного дела явилось исследование докт. техн. наук В.Н. Мосинца. Число работ в этой области быстро растет, они далеко не равноценны, однако многими из них подтверждается необходимость учета надежности оборудования, которая существенным образом определяет конечные показатели работы технологических систем.

Дальнейшее развитие транспортной системы при открытой разработке месторождений в нашей стране связано с использованием различных видов карьерного транспорта применительно к разнообразным условиям действующих и перспективных предприятий открытой добычи.

В работе проведен анализ состояния транспорта на открытых разработках, свидетельствующий о том, что последние годы характеризуются, главным образом, количественным ростом парка транспортного оборудования карьеров без необходимого качественного его изменения. В результате показатели карьерного транспорта стабилизируются, не претерпевая резких изменений.

Выполненная оценка зарубежных направлений развития карьерного транспорта показывает, что ни одно из них не является универсальным, а рекомендации не могут быть, как правило, рецептурными применительно к условиям разработки месторождений Советского Союза в различных горнотехнических условиях.

Генеральным направлением развития горного производства является его концентрация как средство повышения производительности труда и снижения стоимости работ.

Транспортная система разработки характеризуется наибольшим уровнем децентрации работ. С созданием нового мощного горного и транспортного оборудования открывается путь резкого повышения концентрации производства и показателей работы путем применения высокоорганизованных и надежных транспортных систем.

Качественное изменение в исследовании технологических систем наступает при использовании математических моделей, отражающих вероятностную природу погрузочно-транспортного комплекса, позволяющих с высокой точностью изучать принципы организации работы карьерного транспорта. Такая система взглядов определяет иной подход к созданию нового горнотранспортного оборудования и тем более к задачам по прогнозированию развития техники и технологии открытых работ: выбор и прогнозирование параметров

транспортного оборудования должны выполняться на основе исследования функционирования технологических систем.

Целью настоящей работы является разработка научных основ выбора и прогнозирования оптимальных параметров средств карьерного транспорта на базе исследования функционирования технологических схем при транспортной системе разработки месторождений.

Для достижения цели в работе рассмотрены следующие задачи:

- исследование технологических звеньев процесса перемещения и разработка инженерных методов расчета транспортных систем;

- исследование показателей надежности оборудования карьерного транспорта, определяющих работоспособность оборудования и функционирование транспортных систем;

- исследование закономерностей изменения физических величин, формирующих требования к основным параметрам транспортного оборудования;

- экономико-математическое моделирование процесса перемещения горной массы в карьерах для выбора оптимальных параметров перспективных средств карьерного транспорта.

Глава II. ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРИ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ РАЗРАБОТКИ

Применительно к условиям разработки месторождений открытым способом возможно использование большого числа схем карьерного транспорта. По направлению транспортирования горной массы схемы разделяются на три группы: I - в выработанное пространство кратчайшим путем поперек фронта карьера; II - в выработанное пространство по периметру карьера; III - за пределы карьерного поля. По взаимному расположению транспортных коммуникаций, связывающих пункты погрузки горной массы с пунктами ее назначения, представлены 16 типов технологических схем в зависимости от характеристики карьера, степени концентрации грузопотоков, использования комбинации различных видов транспорта. Транспортные схемы карьеров формируются также сочетанием различного по принципу действия оборудования. При использовании автомобильного или железнодорожного транспорта технологический процесс протекает во времени дискретно, при конвейерном - непрерывно.

В реальных условиях технологический процесс открытой разработки месторождений подвержен воздействию значительного числа факторов, большинство из которых по характеру проявления случайны. Подобные процессы относятся к классу индетерминированных,

в которых часто не удается проследить причинно-следственные связи вследствие большого числа возможных состояний, изменчивости условий, проявления возмущений, трудно выражаемых количественно, высокой неупорядоченности процесса. Вместе с тем стохастическая природа технологических процессов придает общность транспортным системам независимо от принципа их действия и является базисом разрабатываемых методов синтеза карьерных транспортных схем.

Изыскание способов повышения эффективности производства приводит к необходимости системного подхода для решения инженерных задач, объединяющего параметрический и организационный аспекты оценки технологических схем и параметров оборудования транспорта на открытых разработках.

Система есть комплекс элементов, находящихся во взаимодействии. Однако система — это не просто совокупность единиц, когда каждая единица подчиняется законам причинной связи, действующей на нее, а совокупность отношений между ними.

Все, что можно сказать априори о поведении случайного объекта (системы), это отметить множество его состояний. В силу стохастической природы функционирования, результативность работы различных технологических схем несет в себе некоторую неопределенность. В связи с этим возникает необходимость ввести численную характеристику неопределенности случайного объекта. Такой характеристикой (мерой неопределенности) являются понятия энтропии и количества информации, выдвинутые термодинамикой и теорией информации:

$$H = - \sum_{k=1}^n p_k \lg p_k, \quad (I)$$

где

$p_1, p_2, \dots, p_n$ — соответствующие вероятности возможных состояний.

Количество информации в этом случае, необходимое для описания какого-либо состояния, связывается со средним (ожидаемым) количеством возможных состояний. Иначе говоря, чем больше неопределенность, тем больше число возможных состояний и тем больше энтропия системы.

При таком подходе к оценке технологических систем особое внимание уделяется степени их организованности. Для системы, включающей комплекс погрузочных средств и транспортных единиц, работающих по некоторой схеме организации, введено понятие "организованность", обозначаемое безразмерным индексом λ . Соответственно обратная ему величина обозначает дезорганизованность

2) Номера формул и таблиц приведены по диссертации.

m , так что по аналогии с определением энтропии $H = a \lg m$ Замена понятий "неупорядоченность" и "неопределенность" термином "дезорганизованность" обусловлена специфическими особенностями транспортных систем карьеров, в которых взаимодействующих единиц меньше, чем в системах, рассматриваемых в статистической физике, а организация работы комплекса непосредственно отражается на его эффективности. Проверка представленной зависимости на модели функционирующих карьерных транспортных систем в лаборатории математических методов исследований ИГД им. А.А.Скочинского подтвердила наличие тесной корреляционной связи между относительной энтропией производительности погрузочно-транспортного комплекса и показателем его организованности.

Дезорганизованность технологического процесса приводит к снижению эффективности, оцениваемой по любому экономически обоснованному критерию. Для рассматриваемых задач эффективность оценивается в общем случае как:

$$J = J_{техн} [1 - f(m)], \quad (5)$$

где $J_{техн}$ — технически достижимая эффективность системы;

$f(m)$ — некоторая функция от степени дезорганизованности процесса.

Наиболее эффективным способом совершенствования транспортных систем в карьерах является управление, рассматриваемое в широком смысле. При использовании нового высокопроизводительного оборудования значительно упрощается структурное построение транспортных схем и совершенствуется организация работ. Возможность повышения организованности технологического процесса при использовании мощного горнотранспортного оборудования проверялась экспериментально. На Междуреченском угольном разрезе были проведены хронометражные наблюдения за погрузкой угля в различные транспортные сосуды экскаваторами с различной емкостью ковша. Изменение коэффициента вариации времени погрузки экскаватором ЭКГ-4,6 (табл.6) является признаком того, что с увеличением емкости подвижного состава ритмичность процесса может возрастать.

Т а б л и ц а 6

Транспортные средства	Коэффициент вариации времени погрузки
БелАЗ-540 грузоподъемностью 24 т	0,148
Вагон грузоподъемностью 62 т	0,061
Вагон грузоподъемностью 93 т	0,046

В условиях крупных высокомеханизированных карьеров оптимизация транспортных схем является существенным резервом повышения их экономичности. Особенно важным это становится при прогнозировании рациональных параметров новой транспортной техники для открытых горных разработок. Проблема синтеза оптимальных схем заключается в установлении рационального соотношения мощностей погрузочного и транспортного оборудования карьеров, обеспечивающего наименьшие удельные приведенные затраты на экскавацию и транспортирование горной массы при надежной реализации заданной производительности карьеров и определенном уровне организованности систем.

В математической форме

$$\begin{cases} F(C_z, C_T, C_n) \rightarrow \min \\ Q(W_z, W_T, n) = Q_{\text{задан}} \end{cases} \quad (8)$$

где $Q, Q_{\text{задан}}$ — функция производительности и заданная производственная мощность карьера (участка);

C_z, C_T, C_n — составляющие приведенных затрат, зависящие от мощности экскавационного и транспортного оборудования, а также их постоянная часть;

W_z, W_T — суммарные мощности погрузочного и транспортного оборудования;

n — показатель организованности горнотранспортного комплекса.

Подобный принцип оптимизации может быть перенесен на любые транспортные схемы карьера. В системах циклического транспорта, в частности при комбинированном транспорте, допустимо выделение суммарных мощностей. В системах непрерывного транспорта допустимо оптимизировать схемы соединения конвейеров, принимая в качестве критерия вероятную производительность комплекса.

Функция производительности карьера устанавливается в результате логического описания процесса. Если предположить вначале все элементы транспортного цикла детерминированными (коэффициенты вариации равны нулю), то с увеличением количества транспортных средств, обслуживающих каждый погрузочный агрегат, производительность последнего возрастает и после определенного момента устанавливается на уровне технически возможной. Одновременно производительность каждой транспортной единицы снижается. Таким

образом, теоретически должна существовать точка, соответствующая наибольшей производительности одновременно погрузочных и транспортных средств.

Рассматриваемый в работе принцип оптимизации транспортных схем имеет другое содержание: искомая точка оптимального соотношения мощностей погрузочного и транспортного оборудования может смещаться относительно теоретической, поскольку учитывается стохастический характер процесса и экономические факторы. На основе исследования функционирования технологических схем при транспортной системе разработки в диссертации разработаны методы расчета горнотранспортных схем циклического и непрерывного действия. Характерными особенностями транспортных схем, включающих оборудование циклического действия, являются:

- наличие многих (по крайней мере, нескольких) пунктов погрузки, а следовательно, каналов обслуживания транспортных средств;

- значительное разнообразие систем, вызванное большим количеством различных состояний в любой момент времени;

- заметное влияние способа организации процесса на его эффективность;

- цикличность транспортного потока.

Насыщение системы транспортным оборудованием приводит к экспоненциальному росту производительности. Отсюда вытекают формальные особенности технологического процесса:

1. Реальная производительность комплекса меньше минимальной производительности узлов погрузки и транспорта.

2. Функция изменения производительности комплекса от производительности каждого из узлов — монотонно возрастающая. Зависимость, отражающая эти логические заключения, может быть представлена в виде:

$$\left(\frac{1}{Q_k}\right)^n = \left(\frac{1}{Q'_z T_z N_z}\right)^n + \left(\frac{1}{Q'_T T_T N_T}\right)^n, \quad (II)$$

где Q_k — производственная мощность карьера;

Q'_z, Q'_T — техническая производительность единицы погрузочного и транспортного оборудования;

T_z, T_T — планируемое время работы погрузочного и транспортного оборудования;

N_z, N_T — требуемое количество погрузочных и транспортных машин, рассчитанное с учетом коэффициентов использования их рабочего времени K_z и K_T .

Обоснованность подобного представления подтверждается данными статистического и математического моделирования. В таком случае, учитывая соотношение между технической и эксплуатационной производительностью погрузочных и транспортных средств карьера:

$$K_z^n + K_T^n = 1. \quad (12)$$

Исследованиями на статистических моделях и методами теории массового обслуживания установлено, что $0 < n < \infty$.

Известные из практики значения коэффициентов использования рабочего времени позволяют с помощью формулы (12) установить уровень организованности современных транспортных схем, включающих оборудование циклического действия. Хронометражные наблюдения, проведенные на карьерах Новокриворожского и Ингулецкого комбинатов, позволяют отметить, что при современном железнодорожном транспорте имеет место $n = 2,0-2,5$, при автомобильном $n = 1,5-2,0$. Свойства показателя организованности, позволяющего проводить синтез оптимальных транспортных схем, изучались с помощью ряда специально разработанных моделей. Уровень значений этого показателя формируется в зависимости от степени обеспеченности погрузочных средств транспортом, надежности оборудования, вариации элементов транспортного цикла.

Расчетные соотношения для определения экономически целесообразного количества оборудования в транспортных схемах карьеров устанавливаются на основании общей постановки (8) с учетом полученного условия (II). Решение задачи методом неопределенных множителей Лагранжа приводит к расчетным формулам

$$N_z = N'_z \sqrt[n]{\left(\frac{C_T N'_T}{C_z N'_z}\right)^{\frac{n}{n+1}} + 1}; \quad (13)$$

$$N_T = N'_T \sqrt[n]{\left(\frac{C_z N'_z}{C_T N'_T}\right)^{\frac{n}{n+1}} + 1}, \quad (14)$$

где N'_z и N'_T — технически необходимое количество погрузочного и транспортного оборудования;

Как видно, рабочее количество машин определяется путем корректировки технически необходимого количества. Степень коррек-

ровки зависит от уровня организованности комплекса и соотношения масс приведенных затрат на погрузочное и транспортное оборудование. Предлагаемая схема расчета оптимального количества оборудования в технологических схемах карьера имеет преимущества по сравнению с существующими методами в отношении аналитичности и адекватности.

Вероятностная модель процесса работы схем поточной технологии может быть описана методами теории марковских процессов, позволяющими определить возможное состояние системы в каждый момент времени. В работе рассматриваются простейшие марковские процессы, то есть такие, в которых потоки отказов и восстановления удовлетворяют условиям стационарности, отсутствия последействия и ординарности. В условиях эксплуатации горнотранспортных систем предположение о том, что поток отказов будет простейшим, является достаточно обоснованным (см. гл. III).

Формализация процесса работы горнотранспортных систем на основе марковских процессов дает возможность с помощью дифференциальных уравнений описать вероятности пребывания системы в различных состояниях и перейти к определению ее производительности. Поскольку процессы возникновения отказов и их устранение в рассматриваемых системах подчиняются экспоненциальному закону распределения, задача по определению вероятностей пребывания системы в различных состояниях сводится к исследованию однородных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами.

Уравнения, описывающие стохастическое поведение системы, составляются из следующих соображений: вероятность нахождения системы в состоянии I к моменту времени $t + dt$ оценивается из вероятности того, что эта система была в состоянии работы I в момент времени t и не отказала за интервал времени $t, t + dt$, или того, что она находилась в состоянии 2 в момент времени t и возвратилась в состояние I за интервал $t, t + dt$. Таким образом, пребывание в состоянии I является сложным событием, состоящим из события первоначального пребывания системы в состоянии I или 2 и переходов из этих состояний.

В соответствии с этим:

$$p_1(t+dt) = p_1(t)p_{11}(dt) + p_2(t)p_{21}(dt). \quad (16)$$

Подобным образом вероятность пребывания системы в состоянии 2 в момент времени $t + dt$

$$p_2(t+dt) = p_2(t)p_{22}(dt) + p_1(t)p_{12}(dt), \quad (17)$$

Для решения исходных уравнений введены основные показатели, позволяющие оценить технологические схемы непрерывного действия: параметр потока (интенсивность) отказов λ и интенсивность восстановления μ .

Поскольку рассматриваемый марковский процесс является однородным, он обладает свойством эргодичности, т.е. предельное распределение вероятностей состояний не зависит от начального распределения и для больших значений $t \lim_{t \rightarrow \infty} p_i(t) = p_i$.

Пользуясь уравнением полной вероятности $p_1 + p_2 = 1$, можно установить значения искомых вероятностей:

$p_1 = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$ - вероятность пребывания системы в работоспособном состоянии;

$p_2 = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}$ - вероятность пребывания системы в неисправном состоянии.

Для оценки работы технологических схем введено понятие транспортирующей способности конвейерной системы как вероятной эксплуатационной производительности, определяемой с учетом показателей надежности оборудования. В соответствии с этим транспортирующая способность технологической схемы определяется как математическое ожидание ее производительности за достаточно большой промежуток времени:

$$D = MQ = \sum_{i=1}^K p_i(t) T_p Q_i, \quad (20)$$

где p_i - вероятность пребывания системы в работоспособном состоянии;

K - возможное число работоспособных состояний системы;

Q_i - техническая производительность системы в каждом из работоспособных состояний, м³/ч.;

T_p - планируемое время работы.

Глава III. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СРЕДСТВ КАРЬЕРНОГО ТРАНСПОРТА

Создание и использование мощных высокопроизводительных средств карьерного транспорта способствует резкому росту уровня концентрации горных работ и значительному сокращению парка горнотранспортных машин. Однако, этим предъявляется требование высокой надежности транспортного оборудования, поскольку отказ каждого элемента транспортной системы в этом случае ведет к нарушению ритма технологического процесса и потере объемов горной массы.

Для количественной оценки надежности оборудования используется система общепринятых критериев, основными из которых являются интенсивность отказов $\lambda = \frac{1}{T}$ и интенсивность восстановления $\mu = \frac{1}{T_g}$, где T - наработка на отказ, определяемая как математическое ожидание времени работы между отказами; T_g - время восстановления, определяемое как математическое ожидание времени отыскания и устранения отказа. Вероятностный характер показателей надежности λ и μ определяет необходимость установления закона их распределения, поскольку в этом случае становится возможной оценка работы систем оборудования при различных характеристиках надежности отдельных элементов.

Оценка надежности оборудования непрерывного действия проводилась на примере комплексов фирм "Лауххаммер", "Оренштейн-Коппель" и Новокраматорского машиностроительного завода, используемых при производстве вскрышных работ на Михайловском железорудном карьере и карьерах комбината "Орджоникидземарганец". Длительные наблюдения за эксплуатацией комплексов (суммарное число отказов по комплексу фирмы "Лауххаммер" составило 2218, по комплексу фирмы "Оренштейн-Коппель" - 1180, по комплексу НКМЗ-642) и отработанная система регистрации отказов позволили анализировать причины выхода оборудования из строя, выявить степень подверженности влиянию природных и климатических условий.

Анализ полученных гистограмм и проверка согласованности их с теоретическим распределением показали, что наработка на отказ и время восстановления у оборудования непрерывного действия распределены по экспоненциальному закону. Степень согласованности оценивается с помощью критерия согласия хи-квадрат Пирсона. Это обстоятельство определяет выбор математической модели для описания процесса функционирования транспортных конвейерных систем.

В работе установлены значения показателей эксплуатационной надежности комплексов непрерывного действия (табл. IО-II). Интенсивности возникновения отказов конвейеров отечественного и зарубежных комплексов примерно равны. Большее значение интенсивности отказов у забойного конвейера фирмы "Лауххаммер", работающего на Михайловском карьере, объясняется влиянием свойств транспортируемой породы. Обращает на себя внимание тот факт, что интенсивность восстановления оборудования отечественного и импортных комплексов находится на уровне $\mu = 2$ 1/ч. Это указывает на близкую ремонтпригодность машин.

Т а б л и ц а 10-11

Оборудование	Длина конвейера, м	Интенсивность отказов λ_{ϕ} , 1/час	Интенсивность восстановления μ_{ϕ} , 1/час	Коэффициент неисправности		
				χ_{ϕ}	в том числе	
					$\chi_{пол}^{\phi}$	$\chi_{,}^{\phi}$
Роторный комплекс НКМЗ ($Q = 4500 \text{ м}^3/\text{ч}$)						
Экскаватор	-	0,17	2,36	0,072	0,048	0,024
Конвейеры:						
забойный	800	0,050	1,67	0,030	0,018	0,012
магистральный	800	0,036	2,17	0,017	0,011	0,006
отвальный	600	0,054	2,14	0,025	0,019	0,005
Роторный комплекс "Лауххаммер" ($Q = 4000 \text{ м}^3/\text{ч}$)						
Экскаватор	-	0,082	1,7	0,0485	0,030	0,027
Конвейеры						
забойный	500	0,083	2,27	0,037	0,010	0,027
магистральный	1600	0,033	1,80	0,0185	0,0065	0,012
отвальный	1080	0,050	1,68	0,030	0,018	0,012
Отвалообразователь	-	0,047	2,30	0,020	0,0095	0,0105
Роторный комплекс "Орешетин-Коппель" ($Q = 5000 \text{ м}^3/\text{ч}$)						
Экскаватор	-	0,063	1,67	0,038	0,022	0,016
Конвейеры:						
забойный	1000	0,112	6,65	0,017	0,072	0,098
магистральный	1000	0,116	4,92	0,024	0,012	0,012
отвальный	1000	0,125	3,52	0,035	0,018	0,017
Отвалообразователь	-	0,122	4,45	0,027	0,010	0,017

Обобщенным показателем надежности оборудования является коэффициент неисправности (аварийности) $\chi_{ab} = \frac{\lambda}{\mu}$, отражающий долю времени, затрачиваемого на простои по аварийным отказам. Разделение коэффициента аварийности на составляющие, обусловленные поломочными $\chi_{\text{пол}}$ и неполомочными $\chi_{\text{,}}$ отказами, позволяет характеризовать работу оборудования с двух сторон. Показателем $\chi_{\text{пол}}$ характеризуется степень конструктивного совершенства машин и отдельные недостатки конструкции. Показателем $\chi_{\text{,}}$ характеризуется степень влияния характеристики транспортируемого материала и климатических условий на работу оборудования. Таким образом, возможно, в известной мере, прогнозировать показатели конвейеров, работающих в различных условиях. Поскольку оборудование непрерывного действия (роторные экскаваторы, отвалообразователи, конвейеры) состоит из однотипных узлов и деталей, то задача прогнозирования показателей надежности может считаться вполне реальной. Например, для конвейерных установок показатели надежности определяются количеством роликов, натяжных барабанов, пунктов перегрузки, электрооборудования. В зависимости от ширины ленты (B), длины конвейера (L), числа роликов (K) и барабанов (n) возможно определить параметр потока отказов $\lambda = f(B, L, K, n)$.

Проведенный анализ свидетельствует о высокой надежности конвейерного оборудования, экскаваторов и отвалообразователей, взятых в отдельности. Однако, при последовательном соединении большого количества машин в технологических схемах результаты работы зависят от исправности всей цепочки оборудования, и потеря времени на аварийные простои достигает значительной величины. Коэффициенты аварийности 0,02-0,05, которыми характеризуется оборудование непрерывного действия, соответствуют значениям коэффициента готовности в интервале 0,95-0,98. В то же время коэффициент готовности технологических схем в целом составляет 0,6-0,75. Коэффициент технического использования, учитывающий простои в плановых ремонтах, снижается для оборудования комплексов непрерывного действия до 0,45-0,6.

Оценка показателей надежности средств карьерного автотранспорта проводилась на примере машин БелАЗ-540 комбинатов "Кемеровоуголь", Северного горнообогатительного и Учалинского горнообогатительного.

Как установлено, лимитирующую наработку на отказ имеют несколько агрегатов автосамосвала, в первую очередь, гидромехани-

ческая передача, двигатель, задний мост и тормозная система. Анализ статистического материала свидетельствует о том, что наиболее полно безотказная работа основных узлов и карьерных автомобилей в целом описывается законом Вейбулла.

Средняя наработка на первый отказ самосвалов БелАЗ-540 изменяется за последние годы по мере совершенствования машин и составила в 1967, 1968 и 1969 гг. соответственно 7,9; 10,75; и 14 тыс. км.

Для оценки автосамосвалов как средств технологического транспорта важен комплексный показатель — коэффициент готовности. Его значение устанавливается с помощью выявленных характеристик безотказной работы. В работе установлена связь между вероятностью безотказной работы в течение определенного пробега и коэффициентом готовности как функцией временной:

$$K_r = \frac{N_i t_n}{N_i t_n + n_i t_g}, \quad (29)$$

где N_i — количество машин, исправно работающих в i интервале пробега;

t_n — время в наряде;

n_i — количество автомашин, имеющих отказы в i интервале пробега;

t_g — время восстановления отказа.

Время восстановления определено путем анализа отказов и расчетных норм на восстановление, а также путем хронометражных наблюдений для двух случаев: при существующей системе эксплуатационных ремонтов, когда автомобиль простаивает до устранения отказа, и при агрегатном методе ремонта, когда на ремонт затрачивается время, требуемое только для монтажно-демонтажных работ при замене отказавшего узла (после замены отказавшего узла автомобиль возвращается на линию). По полученным данным определены значения K_r и $\rho(\ell)$ и установлена корреляционная связь:

$$\left. \begin{array}{l} \text{при эксплуатационном ремонте } K_r = 0,745 + 0,255 \rho(\ell) \\ \text{при агрегатном ремонте } K_r = 0,86 + 0,14 \rho(\ell) \end{array} \right\} \quad (30)$$

Установленные показатели коэффициента готовности соответствуют достигнутым в практике эксплуатации автотранспорта на предприятиях открытой добычи. Однако во многих случаях ввиду использования изношенного автопарка коэффициент готовности находится на уровне 0,75–0,8. Еще большие резервы можно заметить, оценивая уровень использования автопарка 0,6–0,7, который в значительной мере определяется организацией работы автотранспорта.

На основе анализа работы электроподвижного состава различных типов выполнена оценка надежности карьерных электровозов. К исследованию были приняты статистические данные, характеризующие работу электровозов постоянного тока типа 13Е1, 21Е, 26Е, ЕД1 за длительный период времени на карьерах комбинатов "Вахрушевуголь", "Челябинскуголь", "Экибастузуголь" и "Кемеровоуголь". Общее количество машин, принятых к рассмотрению, составило 149 единиц. Определение основных показателей надежности проводилось отдельно по каждому предприятию, причем машины группировались строго по возрасту, и показатели их работы рассматривались в пределах сопоставимых межремонтных сроков. Установлено, что независимо от возраста электровозов распределение времени безотказной работы между аварийными дефовскими ремонтами с наиболее высокой достоверностью описывается экспоненциальным законом. Возраст машины влияет только на основной параметр закона — математическое ожидание времени наработки на отказ. С учетом отказов на линии средняя наработка на отказ электровозов, работающих в комбинате "Челябинскуголь", находится в диапазоне 21–26 суток; в "Экибастузуголь" — 18–21 суток.

По хронограммам работы установлены значения K_r для различных электровозов. Для электровоза типа 21Е в условиях Коркинского разреза средняя величина $K_r = 0,95$, в условиях карьеров комбината "Вахрушевуголь" она составляет 0,96. Электровоз типа 26Е характеризуется величиной $K_r = 0,975$.

В условиях эксплуатации работоспособность электровозов определяется также необходимой системой планово-предупредительных ремонтов и уровнем их организации. Коэффициент технического использования:

$$K_{ти} = \frac{1}{1 + x_p + x_p^{nl}},$$

где $x_p = \frac{T_{аб}}{T}$ — коэффициент неисправности, отражающий относительное время аварийных ремонтов;

$x_p^{nl} = \frac{\sum t_p}{\sum t}$ — коэффициент ремонтпригодности, выражаемый отношением суммарного времени простоев в плановых ремонтах различных категорий к суммарному времени работы за межремонтный цикл.

Практически значение коэффициента технического использования электровозов составляет 0,64–0,73.

В результате оценки надежности средств карьерного транспорта (конвейерного, автомобильного и железнодорожного) установлено, что уровень конструктивной надежности современных образцов транспортного оборудования достаточно высок. Значительные резервы повышения эффективности транспортной системы разработки заключаются в совершенствовании организации работы, обслуживания и ремонта транспортного оборудования.

Основываясь на высоком уровне надежности транспортного оборудования, можно рекомендовать схемы концентрированного производства, при которых использование небольшого количества мощного, высокопроизводительного оборудования гарантированно обеспечит заданную производственную мощность предприятия при высоких технико-экономических показателях.

Глава IV. ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

При выборе параметров схем поточной технологии решающим является обеспечение заданной производительности системы при минимальных расходах. Это определяется уровнем транспортирующей способности систем и параметрами оборудования, входящего в технологическую систему. Основными компонентами, формирующими транспортирующую способность являются время эффективной работы и техническая производительность, соответствующая каждому работоспособному состоянию.

Большое число схем конвейерного транспорта по принципу соединения и взаимодействия оборудования в технологическом процессе сводится к четырем основным структурным схемам, каждая из которых применяется как самостоятельно, так и в сочетании с другими схемами. Рассмотрение подобных схем с применением аппарата теории вероятностей позволяет определять транспортирующую способность различных технологических систем.

Характерной особенностью горнотранспортной системы непрерывного действия с последовательным расположением оборудования является жесткая связь между ее элементами, проявляющаяся в том, что отказ одной машины приводит к вынужденному простоя всей системы. Условия функционирования: система работоспособна, когда исправны все машины; если откажет одна из машин, то система не работает; во время ремонта отказавшей машины с остальными элементами системы никаких изменений не происходит, и они в этот момент отказать не могут.

Пользуясь матричной формой записи вероятностей переходов, возможно формализовать процесс работы горнотранспортных систем непрерывного действия. Матрица возможных переходов рассматриваемой системы за интервал времени $t, t+dt$ составляется при следующих условиях:

1. Если система исправна в момент времени t , то вероятность отказа каждого элемента в интервале $t, t+dt$ равна $\lambda_i dt$.

2. Если в момент времени t любая машина была неисправна, то вероятность завершения ее ремонта за время dt равна $\mu_i dt$.

3. Вероятность осуществления одновременно двух событий, например отказа экскаватора и отвалообразователя, за время dt равна нулю.

Для горнотранспортной системы, состоящей из трех последовательно соединенных элементов, матрица переходов представляется в виде:

	1	2	3	4
1	$1 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)$	λ_3	λ_2	λ_1
2	μ_3	$1 - \mu_3$	0	0
3	μ_2	0	$1 - \mu_2$	0
4	μ_1	0	0	$1 - \mu_1$

Для установившегося режима работы горнотранспортной системы вероятность пребывания в каждом из состояний

$$p_1 = \frac{1}{1 + x_1 + x_2 + x_3}; \quad (36)$$

$$p_2 = \frac{x_3}{1 + x_1 + x_2 + x_3}; \quad (37)$$

$$p_3 = \frac{x_2}{1 + x_1 + x_2 + x_3}; \quad (38)$$

$$p_4 = \frac{x_1}{1 + x_1 + x_2 + x_3}; \quad (39)$$

где x_1, x_2, x_3 - коэффициент неисправности каждого из трех элементов технологической схемы.

При формировании транспортных схем существуют два основных способа достижения определенной надежности. Первый из них состоит в разработке высоконадежных элементов для использования их в различных технологических схемах, второй – в построении надежных схем из менее надежных элементов.

На стадии конструирования оборудования повышение его надежности осуществляется комплексом мероприятий, предусматривающим применение более прочных металлов, новые конструктивные решения отдельных узлов, дублирование ненадежных элементов.

На стадии формирования горнотранспортных систем повышение надежности может быть достигнуто за счет уменьшения числа последовательно соединенных машин, в первую очередь, путем применения более длинных конвейерных ставов. В соответствующих горнотехнических условиях надежность систем может быть повышена путем перехода от транспортной к транспортно-отвальной системе разработки.

Оптимальные способы резервирования схем поточной технологии оцениваются, в основном, технико-экономическими показателями работы. Полное резервирование применимо на предприятиях, где не допускается перерыв технологического процесса, например, при транспортировании угля из разрезов непосредственно на тепловые электростанции, когда необходимо предусматривать резервные конвейерные установки.

Эксплуатационные показатели схем поточной технологии определяются наряду с надежностью, производительностью, энергетическими и стоимостными характеристиками конвейерных установок.

В работе проведено исследование производительности конвейеров в зависимости от полезной ширины ленты, формы лотка, угла наклона боковых роликов, соотношения их длин, угла естественного откоса материала, движущегося на ленте.

Рассмотренные зависимости позволяют рекомендовать расчетные значения коэффициента K_n , приведенные в таблице 24, для определения технической производительности конвейеров.

Выполнен анализ весовых показателей конвейерных установок, определяющих стоимость транспортирования конвейерами. Для анализа за проведено разделение конвейера на основные узлы, вес которых определяется в зависимости от ширины ленты, мощности привода и характера транспортируемого груза.

Т а б л и ц а 24

Тип роlikоопоры	Угол наклона роликов, град.	K_n
Трехроlikовая	$\beta = 20^\circ$	470
	$\beta = 30^\circ$	555
	$\beta = 35^\circ$	585
	$\beta = 40^\circ$	610
Четырехроlikовая	$\beta_1 = 15^\circ; \beta_2 = 30^\circ$	620
	$\beta_1 = 18^\circ; \beta_2 = 36^\circ$	660
Пятироlikовая	$\beta_1 = 22,5^\circ; \beta_2 = 22,5^\circ$	630
	$\beta_1 = 30^\circ; \beta_2 = 30^\circ$	680
	$\beta_1 = 36^\circ; \beta_2 = 25^\circ$	690
	—	705
Гибкая	—	—

На основании обобщения и анализа современных конструкций конвейеров представляется возможным провести оценку веса отдельных элементов конструкции конвейера.

Вес комплекта роликов грузовой ветви G'_p в зависимости от ширины ленты B (м) оценивается выражениями:

$$G'_p = 29B + 20, \text{ кг — для трехроlikовой опоры;}$$

$$G'_p = 29B + 33, \text{ кг — для пятироlikовой опоры.}$$

Вес роликов (дисковых) холостой ветви:

$$G''_p = 21B + 10, \text{ кг при } B \leq 1600 \text{ мм;}$$

$$G''_p = 24B + 10, \text{ кг при } B \geq 1800 \text{ мм.}$$

Вес роlikоопор: $G_o = 37B$, кг — трехроlikовых;

$$G_o = 40B, \text{ кг — пятироlikовых.}$$

Вес металлоконструкций секций в зависимости от ширины ленты может быть оценен как $G_c = 66,5B$, кг/м.

Вес приводной станции конвейера зависит, в первую очередь, от мощности привода; часть элементов конструкции приводной станции определяется шириной ленты, однако и они косвенно зависят от величины мощности. В результате $G_{л.с} = (0,1-0,12)N$, т.

Стоимость перемещения горной массы конвейерами в общем виде представляется выражением, отражающим зависимость расходов от основных параметров конвейерных установок:

$$C_K = \frac{L}{Q_T} \left(Ag_K + \frac{B}{T_o} + \frac{C}{T_p} + D\omega \right) + Fh + E \text{ коп/т,} \quad (60)$$

где L — длина конвейера (линии), м;
 Q_r — техническая производительность конвейерной линии, м³/ч;
 q_k — погонный вес конвейера, кг/м;
 T_s, T_p — срок службы конвейерной ленты и роликов, ч;
 ω — сопротивление движению конвейера;
 h — высота подъема груза, м;
 A, B, C, D, E, F — коэффициенты, определяемые стоимостными показателями.

В диссертации выполнен анализ основных компонентов, формирующих стоимость конвейерного транспорта. В результате установлено изменение стоимости транспортирования конвейерами от их производительности. Отмечается резкое падение стоимости перемещения с увеличением ширины конвейерной ленты, т.е. производительности транспортных линий. Например, с увеличением ширины ленты с 1200 до 2000 мм стоимость транспортирования сокращается в 2,0 раза. Это свидетельствует о повышении эффективности применения конвейерного транспорта при высоких грузооборотах. Увеличение грузопотока достигается установкой в забоях высокопроизводительных экскаваторов, а также объединением грузопотоков, в частности от экскаваторов, расположенных на разных уступах.

Глава V. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ СРЕДСТВ АВТОТРАНСПОРТА

Для анализа и прогнозирования основных параметров средств карьерного автотранспорта принят метод, в основе которого находятся представления о стохастической природе технологических процессов. Рекомендательный метод рассмотрен применительно к задаче создания большегрузного автотранспорта для перевозки угля из карьеров.

Сущность предлагаемого метода расчета состоит в разработке математической модели, позволяющей установить количество рабочего оборудования с учетом вероятностной природы элементов цикла работы машин, взаимосвязи погрузочного и транспортного оборудования в едином комплексе, а также с учетом взаимного влияния стоимости погрузочных и транспортных машин на формирование парка.

Поставленная задача выбора оптимального количества работающих однотипных экскаваторов и автомобилей-углевозов может быть сформулирована следующим образом: установить количество экскаваторов заданного типа и транспортных единиц выбранной грузоподъ-

емности, обеспечивающее минимум приведенных затрат при надежной реализации установленной производительности карьера или в математической форме, как отмечалось:

$$\begin{cases} C_s N_s + C_r N_r + C_g \rightarrow \min \\ Q_k(N_s, N_r) = Q_k \end{cases}$$

В этом случае процедура оптимизации означает отыскание экстремума функции двух переменных при наличии ограничения. Дополнительным условием (ограничением) является зависимость между заданной производительностью карьера и производительностью добычного и транспортного оборудования.

Зависимость, связывающая заданную производительность погрузочно-транспортного комплекса с техническими производительностями экскаваторного и транспортного парков оборудования, в общем случае устанавливается на основе методов моделирования случайных процессов. Применение методов моделирования случайных процессов весьма трудоемко в связи со сложностью алгоритмов и программ для исследования моделей и сбором значительного объема статистического материала. Поэтому зависимость производительности карьера (участка) от технической производительности оборудования устанавливается посредством осредненного параметра L , а степень влияния различных случайных факторов изучается методами статистического моделирования.

Алгоритмом выбора параметров оборудования предусматриваются следующие этапы действий:

- 1) выбор вариантов сочетания погрузочного и транспортного оборудования;
- 2) ввод технических характеристик и условий работы машин;
- 3) формирование удельных стоимостных показателей;
- 4) регламентация уровня организованности погрузочно-транспортного комплекса;
- 5) оптимизация парка оборудования в пределах каждого варианта;
- 6) оценка экономически целесообразной степени использования оборудования;
- 7) сопоставление удельных приведенных затрат;
- 8) анализ трудоемкости технологических процессов.

Для реализации предложенной схемы расчета составлена специальная программа и применительно к погрузочно-транспортному комплексу добычных работ на угольных разрезах проведены необходимые вычисления на ЭВМ "Раздан".

Анализируя структуру удельных приведенных затрат на добычные работы, можно установить, что наибольшую часть суммарных затрат составляют расходы на приобретение и содержание автотранспортных средств, эти расходы достигают 50-65% всех затрат. В связи с этим для определения параметров перспективных средств автотранспорта в работе проведено конструктивно-экономическое моделирование машин, принцип которого состоит в разделении машин на крупные узлы, по которым имеются фактические данные о весе и стоимости, и в компоновке большегрузных автомобилей - углевозов из подобных узлов, отличающихся размерами и конструктивным исполнением.

Рассмотрено применение четырех принципиально различных по компоновке схем исполнения средств автотранспорта для перевозки угля:

схема C_3 - самосвал с задней разгрузкой, выполняемый с кузовом увеличенной емкости (к этой группе относятся автосамосвалы БелаЗ-7510 и БелаЗ-7525);

схема C_6 - самосвал с боковой разгрузкой, создание подобных машин для перевозки угля требует разработки механизма синхронного поворота осей и размещения кузова увеличенной емкости;

схема $П_Д$ - полуприцеп с донной разгрузкой, из серии этих автомобилей изготавливается в настоящее время углевоз типа БелаЗ-7425-9490 грузоподъемностью 65 т;

схема $А_Д$ - автопоезд с донной разгрузкой, эти машины по конструктивному исполнению предназначены для челнокового движения.

Для компоновки модификаций конструктивного исполнения углевозов в пределах каждой группы за основу приняты базовые модели, предусмотренные типажом автосамосвалов особо большой грузоподъемности. При компоновке автомобилей-углевозов выделены основные узлы автомашин: привод, трансмиссия, шины, передний и задний мосты, рама, подвеска, кузов.

В результате конструктивно-экономического моделирования представлен дискретный ряд автомобилей-углевозов нарастающей грузоподъемности (табл.37). Самосвалы-углевозы с задней разгрузкой

Т а б л и ц а 37

Основные технические характеристики и стоимостные параметры автомобилей - углевозов

Модели углевозов	БелаЗ-7510 C_3	БелаЗ-7525 C_3	$П'_Д$	$П'_Д$	$П'_Д$	C'_6	C'_6	C'_6	C_6	$П_Д$	$П_Д$	$П_Д$	$А_Д$	$А_Д$	$А_Д$
Базовая машина	БелаЗ-540	БелаЗ-548	БелаЗ-548	БелаЗ-548	БелаЗ-548	БелаЗ-548	БелаЗ-548	БелаЗ-549	БелаЗ-549	БелаЗ-549	БелаЗ-549	БелаЗ-549	БелаЗ-549	БелаЗ-549	БелаЗ-549
Колесная формула	4x2	4x2	6x2	6x2	6x4	4x4	4x4	4x2	4x4	6x4	6x4	6x4	8x4	8x4	8x4
Тип трансмиссии	Электромеханическая														
Способ разгрузки	Донная														
Грузоподъемность, т	27	40	65	70	60	113	166	214	124	197	300	210	325	490	490
Собственный вес, т	21	27	39	48	35	55	82	146	86	113	150	126	171	230	230
Удельная мощность л.с/т	7,5	7,85	5,0	8,8	5,5	6,2	5,25	7,25	6,2	5,5	5,8	5,06	5,25	4,7	4,7
Стоимость, тыс.руб.	26,2	36,8	51,7	62,9	44,5	72,7	114,3	197,3	122,2	161,4	214,0	178,2	230,0	304,7	304,7
Коэффициент тары	0,78	0,67	0,60	0,68	0,58	0,49	0,49	0,68	0,69	0,57	0,50	0,60	0,53	0,47	0,47
Удельная стоимость 1 т общего веса, руб, т	550	550	500	530	470	430	460	550	580	520	480	530	460	420	420

представлены машинами грузоподъемностью 27 и 40 т, выпуск которых начат на Белорусском автозаводе. Самосвалы с боковой разгрузкой представлены четырьмя моделями (с гидромеханической и электромеханической трансмиссией), грузоподъемность которых изменяется в интервале 60–180 т. Полуприцепы с донной разгрузкой (колесная формула 6х4) выполнены в трех модификациях грузоподъемностью 120–300 т. Автопоезда челнокового действия с донной разгрузкой представлены тремя моделями, грузоподъемность которых изменяется в интервале 200–500 т.

Принятый принцип исследования позволяет с достаточной точностью провести моделирование технически осуществимых типоразмеров углевозов. Это позволяет на основе опыта конструирования карьерных автосамосвалов и представлений о стоимости изготовления составить прогноз собственного веса машин, их грузоподъемности и удельной стоимости. Наиболее полным показателем представленного ряда является стоимость, отнесенная к 1 т суммарного веса углевоза. Эта характеристика имеет непосредственную связь с грузоподъемностью углевоза – для всех модификаций конструктивного исполнения стоимость, отнесенная к 1 т общего веса, снижается с увеличением грузоподъемности.

Анализируя структуру выражений для определения оптимального количества оборудования, можно отметить, что рациональное число машин определяется соотношением масс стоимостей каждого вида оборудования. Естественным поэтому является то, что с ростом стоимости какого-либо типа машин объективно необходимым становится увеличение уровня его использования.

Оценка условий эксплуатации автотранспорта с учетом перспективного развития открытой угледобычи позволяет заключить, что наиболее характерными и распространенными для специализированного автотранспорта являются и сохраняются в будущем условия разрезов равнинного и глубинного типов (табл. 32).

Параметр α в таблице 32 выражает отношение протяженности участка дороги с расчетным подъемом к общей протяженности откатки, параметр β – отношение длины забойного пути к длине стационарного участка.

Исследуя технико-экономические показатели применения большегрузных углевозов, удается установить обобщенные закономерности, определяющие влияние основных параметров на технико-экономические показатели и условия наиболее эффективного применения перспективных средств углевозного автотранспорта.

Т а б л и ц а 32

Условия работы	Разрезы	
	равнинные	глубинные
Максимальный подъем автодорог, ‰	50–60	80–90
Длина откатки, км	2,5–3,0	4,0–5,0
Грузооборот, млн. т/год	3,0–5,0	2,0–5,0
$\alpha = \ell_{max}/L$	0,15–0,20	0,4–0,5
$\beta = \ell_z/\ell_{ст}$	0,25–0,35	0,15–0,2

Важным условием эффективного применения автомобилей-углевозов особо большой грузоподъемности является обоснованный выбор производственной мощности карьера. Применение машин особо большой грузоподъемности на угольных разрезах производственной мощностью до 2–3 млн. т в год нецелесообразно. В этих условиях должны получить распространение углевозы грузоподъемностью 27,40, 65 т. При мощности разреза 3 млн. т в год и более становится экономически выгодным применение мощных экскаваторов. Это позволяет эффективно применять углевозы особо большой грузоподъемности и значительно снижать приведенные затраты на добычных работах.

Существенное влияние оказывает расстояние транспортирования. В результате анализа установлено, что увеличение среднего расстояния приводит к пропорциональному возрастанию удельных приведенных затрат. При производственной мощности $Q = 1$ млн. т $C_{уг} = 0,3+0,09L$, руб/т, при $Q = 3$ млн. т $C_{уг} = 0,2+0,05$ руб/т. Пропорциональность затрат среднему плечу откатки сохраняется для всех типов автомобилей-углевозов и практически не зависит от типа применяемого экскаватора.

Принципиально важной является установленная зависимость изменения среднетехнической скорости углевозов от их грузоподъемности. Для автомобилей малой и средней грузоподъемности с увеличением среднетехнической скорости приведенные затраты снижаются интенсивно. Для машин большой грузоподъемности увеличение мощности и скорости движения не приводит к резкому снижению приведенных затрат.

Повышение грузоподъемности углевозов является средством значительного снижения стоимости транспортирования угля. Оснащение парка большегрузными углевозами позволит снизить стоимость транспортирования до уровня 4 коп/ткм.

Применение специализированного автотранспорта для перевозок угля является средством резкого повышения производительности труда при открытой угледобыче. С увеличением грузоподъемности углевозов с 27 до 300 т производительность труда рабочего по погрузочно-транспортному комплексу возрастает в 2,5-2,7 раза. Главным образом, это происходит за счет сокращения трудоемкости процесса транспортирования (в 3,2-3,6 раза).

Исследование технико-экономических показателей применения большегрузных средств углевозного автотранспорта позволяет оценить целесообразное соотношение между емкостью кузова автомобиля и емкостью ковша экскаватора. Существующее представление о том, что это соотношение постоянно и находится в диапазоне 4-6, сложилось в результате оперирования данными по современному выпускаемому оборудованию. Сравнительная стоимость транспортного и погрузочного оборудования складывается таким образом, что экономически целесообразное соотношение между емкостью кузова углевоза и ковша экскаватора в пределах 4-6 соблюдается только в диапазоне грузоподъемности 27-40 т, при большей грузоподъемности машин это соотношение резко увеличивается, достигая 15-25.

Помимо рассмотренных технических факторов на эффективность применения углевозов существенное влияние оказывает организация погрузочно-разгрузочных работ и степень использования рабочего времени оборудования. Современному уровню использования погрузочного и транспортного оборудования (0,5-0,7) соответствует значение показателя организованности экскаваторно-автомобильных комплексов в пределах 1,5-2,0. Повышение показателя организованности до $n = 4-5$ позволяет снизить удельные приведенные затраты на 20-30%. Резкое увеличение показателя организованности погрузочно-транспортных комплексов на добычных работах разрезов может быть достигнуто совершенствованием организации управления, упрощением систем и повышением надежности оборудования. При создании углевозов большой грузоподъемности решаются практически все эти вопросы.

Одним из путей, ведущих к сокращению простоев оборудования, является организация работы автотранспорта по "открытому циклу", особенно в системах с автотранспортом особо большой грузоподъемности. В этом смысле может быть проведена аналогия между экскаваторно-автомобильными комплексами с использованием автомобилей особо большой грузоподъемности и крупными системами "экскаваторы-

железнодорожный транспорт", в которых вследствие высокой весовой нормы поездов полностью осуществлен переход к организации работ по "открытому циклу".

Закономерности, установленные в результате экономико-математического моделирования работы автомобильно-экскаваторного комплекса, позволяют оценить эффективность применения большегрузных углевозов в различных горнотехнических условиях. В условиях карьеров глубинного типа, характеризующихся наличием затяжных тяжелых подъемов и большим расстоянием транспортирования, увеличение грузоподъемности углевозов эффективнее, чем в карьерах равнинного типа.

Весьма существенным является влияние степени использования горного и транспортного оборудования на уровень приведенных затрат при изменении грузоподъемности машин. Только при условии повышения использования оборудования (в первую очередь транспортного) становится целесообразным создание и применение большегрузных углевозных машин.

При уровне стоимости машин, установленном методом конструктивно-экономического моделирования, целесообразно увеличение грузоподъемности автомобилей углевозов до 300-400 т. При дальнейшем увеличении грузоподъемности уровень приведенных затрат начинает возрастать. Характерно отметить, что по показателю стоимости транспортирования при грузоподъемности 27-40 т наиболее целесообразно создание углевозов-самосвалов. При изменении грузоподъемности в диапазоне 100-300 т преимущество получают полуприцепы. Автопоезда челнокового действия предпочтительны при грузоподъемности 300 т и более.

В диссертации проведено экспериментальное и графо-аналитическое исследование зависимости среднетехнической скорости от мощности карьерных автомашин.

Мощность двигателя углевоза является параметром, определяющим, в известной мере, техническую скорость движения автомашин в карьере. Последняя, в свою очередь, влияет на величину технической производительности углевоза Q_T :

$$Q_T = \frac{q K_T v_{gb} \beta_L Q_3}{Q_3 (L + \beta_L v_{gb} \cdot t_p) + q \beta_L v_{gb}} \quad (74)$$

где q - грузоподъемность углевоза, т;
 K_T - коэффициент использования грузоподъемности;

v_{gb} – среднетехническая скорость движения, км/ч;
 β_l – коэффициент использования пробега;
 Q – техническая производительность экскаватора, т/ч;
 L – среднее расстояние транспортирования угля, т;
 t_p – время разгрузки углевоза, ч.

В условиях Михайловского железорудного комбината были проведены хронометражные наблюдения за временем движения самосвалов типа КраЗ-256, БелАЗ-540 и БелАЗ-548 по участкам автодорог различного профиля. Число наблюдений по каждому участку составляло 30-35. Это позволило, комбинируя результаты замеров, установить зависимость скорости движения автосамосвала с грузом от приведенного уклона при данных значениях удельной мощности машин (11,2 и 7,8 л.с./т). При иных значениях удельной мощности скорость движения груженого автомобиля на подъем изменяется примерно пропорционально.

Приведенный (средневзвешенный) уклон для различных условий транспортирования установлен в зависимости от максимального уклона и его доли в общей протяженности дороги. Если обозначить

$$\alpha = \frac{l_{max}}{\sum l_j + l_{max}},$$

то

$$i_{cp} = \alpha \left(i_{max} + \frac{\sum i_j l_j}{l_{max}} \right), \quad (75)$$

где i_{max} , l_{max} – величина уклона и протяженность наиболее тяжелых участков автодороги;

i_j , l_j – величина и протяженность подъема на всех участках дороги, кроме максимального.

В результате установлена зависимость $v_{gb} = f(N_{yg})$ для автомобилей-углевозов большой грузоподъемности.

В условиях карьеров глубинного типа, для которых характерны затяжные уклоны, составляющие до 50% протяженности стационарных дорог, время, затрачиваемое на преодоление расчетного подъема, составляет 24-27% времени рейса. Однако и в этом случае даже резкое увеличение удельной мощности не приводит к улучшению технико-экономических показателей (табл.35 для углевоза грузоподъемностью 120 т).

Т а б л и ц а 35

Показатели \ Мощность двигателя, л.с.	520	850	1300	1700	2600
Удельная мощность, л.с.	2,5	4,0	6,2	8,1	12,4
%	40	65	100	133	200
Среднетехническая скорость, %	6	55	100	135	160
Вес углевоза, %	93	94	100	106	123
Стоимость 1 т общего веса, %	87	94	100	116	141
Приведенные удельные затраты, %	416	115	100	106	123

Это объясняется тем, что рост среднетехнической скорости отстает от роста удельной мощности углевозов, а последнее приводит к существенному удорожанию средств автотранспорта. В результате удельная мощность большегрузных углевозов варьирует в интервале 5-7 л.с./т. При наличии соответствующих двигателей может быть рекомендовано увеличение удельной мощности большегрузных автомобилей углевозов до 7-8 л.с./т.

Вид колесной формулы автомобилей-углевозов имеет большое значение, поскольку определяет ту долю полного веса машины, которая реализуется в виде тягового усилия, т.е. сцепной вес. Этим определяется также предельно допустимый подъем автодороги

$$i_{max} = 1000 \psi \frac{p_b}{p_a} - w_0,$$

где p_b – вес, приходящийся на ведущие колеса;
 p_a – полный вес автомашин.

Относительно малый объемный вес угля предопределяет большую емкость кузова транспортных средств. Установлено, что для условий каменноугольных карьеров соотношение между грузоподъемностью и емкостью кузова должно составлять $\frac{q}{V_r} = 1,2-1,4$, причем величина этого отношения в названном диапазоне возрастает с увеличением грузоподъемности.

При создании семейства специальных автомобилей-углевозов генеральным направлением является увеличение грузоподъемности ма-

шин. Вслед за машинами грузоподъемностью 27, 40 и 65 т рекомендуется создание углевоза грузоподъемностью 120 т, для его создания существует базовая модель, а целесообразность ее применения в карьерах с объемом перевозок 3-5 млн. т в год и более подтверждается настоящим исследованием. Следующим перспективным должен быть углевоз грузоподъемностью 300 т в виде полуприцепа с донной разгрузкой или автопоезда челнокового действия (табл. 39).

По технико-экономическим требованиям на создание большегрузных автомобилей-углевозов, разработанным ИГД им. А. А. Скочинского, Белорусский автозавод выполнил проект автомобиля-углевоза грузоподъемностью 120 т.

Т а б л и ц а 39

Параметры	Значения	
	120	300
Грузоподъемность, т	90-100	220-240
Емкость кузова, м ³	6х4	6х4 (8х4)
Колесная формула	6,0-7,0	5,5-6,5
Удельная мощность, л.с/т	0,55-0,6	0,4-0,45
Коэффициент тары	12-13	13-15
Радиус поворота, м	донная	
Способ разгрузки		

Эффективность применения углевозов особо большой грузоподъемности составит: для 120-тонных углевозов - 18-19 тыс.руб. на одну машину в год, для 300-тонных - 40-45 тыс.руб. в год. Общая эффективность применения автомобилей-углевозов грузоподъемностью 120 и 300 т (при объеме перевозок угля на уровне 1980 г.) составит по расчетам 18 млн.руб. в год.

Глава VI. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Экономико-математическое моделирование работы электрифицированного железнодорожного транспорта преследовало цель выявить основные зависимости и степень влияния параметров транспортного оборудования на технико-экономические показатели работы. В связи с этим в диссертации рассмотрен комплекс задач, характеризующий всесторонне способ оценки перспективного подвижного состава.

Технико-экономические показатели работы карьерного железнодорожного транспорта в значительной мере зависят от веса поезда,

значения которого и метод выбора определяются условиями работы транспорта. Основными обстоятельствами, определяющими специфичность работы подвижного состава в карьерах, являются: замкнутость рабочего цикла локомотивосостава, требующая комплексного установления параметров горного и транспортного оборудования; значительные подъемы пути (до 40-60%) при различной их длине в зависимости от глубины карьера; процесс экскаваторной погрузки составов, предъявляющий определенные требования к соотношению емкостей вагона и ковша экскаватора и требующий периодического передвижения состава; кривые малых радиусов на передвижных путях; необходимость частого и интенсивного торможения поезда на крутых уклонах.

Вопрос о сцепном весе карьерных электровозов решается различно в зависимости от постановки задачи. Первым является случай, когда для условий конкретного карьера принимается локомотив одной из существующих серий. Задача расчета при этом заключается в определении максимального веса состава.

При использовании тяговых агрегатов вес прицепной части поезда (без учета моторных вагонов):

$$Q = \frac{(1000\psi - w'_0 - i_p) [\rho_{сц} + n_m (q_{т.м} + q_m)]}{w''_0 - i_p} \text{ т,} \quad (79)$$

где $\rho_{сц}$ - сцепной вес электровоза управления (а также моторной секции автономного питания), т;
 n_m - число моторных думпкаров в составе;
 $q_{т.м}$ - вес тары моторного думпкара, т;
 q_m - грузоподъемность моторного думпкара, т;
 ψ - коэффициент сцепления;
 i_p - величина расчетного уклона, ‰;
 w'_0, w''_0 - основное удельное сопротивление движению локомотива и вагонов, кг/т.

В задачах другого вида при проектировании и реконструкции карьеров и нестесненном выборе руководящего подъема устанавливается наиболее выгодное значение сцепного веса локомотива и веса состава из сочетаний нескольких типов экскаваторов и железнодорожного подвижного состава. В основе исследований в этом случае находится технико-экономический анализ совместного рационального использования экскаваторов и подвижного состава, взаимно связанных в работе. Поскольку рациональный вес состава определяется

большим числом горнотехнических, эксплуатационных и стоимостных показателей, определение его выполняется с применением вычислительной техники. Целевой постановкой данной задачи является минимизация приведенных затрат по комплексу погрузочно-транспортных работ на карьере.

Для решения задачи на ЭВМ в диссертации разработана экономико-математическая модель. Постоянными при выборе оборудования являются факторы, составляющие в совокупности геологическую и горнотехническую характеристики карьера. Независимыми переменными являются сцепной вес локомотива, годовая производительность, глубина карьера, грузоподъемность вагонов, тип экскаватора и руководящий уклон железнодорожного пути. Блок-схема модели разбита на 4 блока. В первом блоке выполняется расчет всех технических параметров, которые в дальнейших расчетах являются постоянными. Во втором блоке производится расчет параметров в случае деления грузопотоков по отдельным направлениям, как это характерно для мощных карьеров. В третьем блоке происходит определение капитальных, эксплуатационных и приведенных затрат. В четвертом блоке осуществляется расчет численности трудящихся и производительности труда на погрузочно-транспортном комплексе.

Для решения рассмотрены наиболее характерные и перспективные виды электрической тяги. На основании данных Всесоюзного научно-исследовательского и проектно-технологического института электровозостроения (ВЭЛНИИ) и конструктивно-экономического моделирования установлены значения стоимостей локомотивов различных модификаций: контактных электровозов при различном напряжении сети, тяговых агрегатов с моторной секцией автономного питания, а также с прицепной секцией. В числе исходных величин, необходимых для работы локомотивов различных типов, одними из наиболее важных являются значения коэффициентов сцепления. Эмпирическому определению величины коэффициента сцепления применительно к эксплуатации магистрального транспорта посвящено большое число работ. В условиях карьерного транспорта, характеризуемого иным состоянием путей и применением другого подвижного состава, потребовалась обстоятельная оценка коэффициента сцепления. Особую важность этот вопрос приобретает в связи с использованием различных систем тока и напряжения при электрификации карьерного транспорта.

В работе изложены результаты экспериментов по определению коэффициента сцепления карьерных электровозов. Опытные поездки

производились на распространенном в карьерах электровозе ЕЛІ и на тяговом агрегате ОПЭІ в условиях Северного вскрышного разреза комбината "Экибастууголь" и Междуреченского разреза комбината "Кемеровоуголь".

Основываясь на общепринятом аналитическом выражении зависимости $\psi = f(v)$ и имея средние значения ψ в полученном диапазоне скоростей, искомые зависимости для электровоза ЕЛІ представляем в виде:

для параллельного соединения тяговых двигателей

$$\psi_1 = 0,047 + \frac{272}{1000 + 37v} \quad (83)$$

для последовательного соединения

$$\psi_2 = 0,082 + \frac{169}{1000 + 64v} \quad (84)$$

Значения корреляционного отношения $\eta = 0,81$ при последовательном соединении и $\eta = 0,71$ при параллельном соединении свидетельствуют о высокой тесноте связи между коэффициентом сцепления и скоростью движения, определяемыми по установленным формулам.

При испытаниях тягового агрегата ОПЭІ проводилось экспериментальное определение коэффициента сцепления карьерного электровоза переменного тока с преобразовательной установкой. Зависимость $\psi = f(v)$ в этом случае представлена в виде:

$$\psi = 0,247 + \frac{100}{1000 + 100v} \quad (85)$$

(корреляционное отношение $\eta = 0,84$).

Полученные зависимости подтверждают наличие существенной разницы в величинах коэффициентов сцепления при последовательном и параллельном соединениях двигателей. Объясняется это тем, что при последовательном соединении двигателей групповая тяговая характеристика имеет меньшую жесткость, чем при независимом питании каждого двигателя. Это определяет большую подверженность локомотива буксованию и особенно ощутимо в условиях карьеров, когда возникают кратковременные понижения величины сцепления, вызванные прохождением местных неровностей пути, динамическими явлениями, резким изменением напряжения тяговой сети.

При системе постоянного тока с увеличением напряжения в контактной сети до 3000 в и более на современном уровне электровозо-

строения предусматривается обязательное последовательное соединение тяговых двигателей во всех режимах работы. При системе переменного тока путем расположения понижающего трансформатора и выпрямительной установки на локомотиве остается возможность выполнять двигатели на относительно низкое напряжение и повысить тяговые свойства электровоза посредством параллельного их соединения.

Наличие установленной разницы в значениях коэффициента сцепления в пользу схем с параллельным соединением двигателей (в 20% и более) свидетельствует о более высоких тяговых свойствах карьерных локомотивов переменного тока нежели локомотивов постоянного тока.

В диссертации разработан метод оценки мощности карьерных локомотивов на основе анализа режима их работы. Последний определяется, в первую очередь, глубиной карьера и профилем откаточных путей. По мере увеличения глубины карьеров режим движения по руководящему подъему все более приближается к номинальному (часовому) режиму работы тяговых двигателей.

Коэффициент тяги для карьерных условий $K_T = \frac{F_{час}}{F_p} \cdot \psi$ является величиной переменной и зависит от параметров откатки. При такой оценке физически понятным становится рассуждение: если $H \rightarrow \infty$, то $F_{час} \rightarrow F_p$ и $K_T \rightarrow \psi$. При глубине карьеров 100 м и менее мощность не является лимитирующей величиной, поскольку может быть реализована за счет относительно кратковременных перегрузок. Для локомотивов, в том числе тяговых агрегатов, рассчитанных на работу в условиях глубоких карьеров, повышение удельной мощности становится неременным условием обеспечения работоспособности локомотивов.

Предложен метод выбора мощности карьерного электроподвижного состава N , которая определяется по величине сцепного веса $P_{сц}$, скорости движения на руководящем подъеме v_p и коэффициента мощности K_N , характеризующего режим работы:

$$N = \frac{P_{сц} \cdot K_N \cdot v_p}{0,367}, \text{ кВт} \quad (92)$$

Величины K_N при различных значениях глубины карьера H , руководящего подъема i_p приведены в табл. 49.

Имея в виду различные условия работы локомотивов данного сцепного веса, возможно выделить область изменения требуемой мощности карьерного электроподвижного состава. Для локомотивов

сцепным весом 150 т удельная мощность должна составлять 11-14 кВт/т, для тяговых агрегатов сцепным весом 360 т - 15-17 кВт/т.

Т а б л и ц а 49

	H, м			
	100	200	300	400
K_N	0,175	$i_p = 30^\circ/00$ 0,21	0,225	0,24
		$i_p = 40^\circ/00$ 0,19	0,21	0,22
	0,155			

Рассмотрен способ определения мощности дизельной установки при оборудовании электровозов или тяговых агрегатов источником автономного питания. Выявлено влияние скорости движения и к.п.д. передачи локомотива в режиме автономного питания на величину мощности двигателя. Увеличение скорости движения по передвижным путям до 20-25 км/ч является средством, существенно влияющим на повышение использования горного и транспортного оборудования. Для этих условий мощность источника автономного питания тягового агрегата сцепным весом 360 т оценивается величиной 2000 л.с.

Одним из средств повышения эффективности работы карьерного жел.-дор. транспорта является увеличение грузоподъемности думпкаров. Основными требованиями к параметрам вскрышных вагонов как элементов погрузочно-транспортного комплекса карьеров является соответствие характеристике транспортируемых пород и параметрам погрузочных экскаваторов. С этих позиций в работе проведен анализ характеристик вскрышных пород угольных карьеров (характерных также и для многих других карьеров), а также данных по использованию грузоподъемности вскрышных думпкаров в эксплуатации (практически оно составляет 85-88%).

Оценка данных по объемному весу вскрышных пород и коэффициенту разрыхления, соответствующему гранулометрическому составу загружаемой в вагоны горной массы, приводит к выводу о необходимости назначать соотношение между грузоподъемностью думпкара и емкостью его кузова в интервале 1,8-1,9. Характеристикой, связывающей параметры думпкара и экскаватора, является погонная емкость ($\text{м}^3/\text{м}$). Если с созданием новых экскаваторов с емкостью ковшей до 8-12,5 м^3 их погонная емкость увеличилась примерно в 2 раза, то для кузова вагонов изменение составляет всего 30%.

Для транспортирования пород с объемным весом 1,5–1,6 т/м³ в разрыхленном состоянии по результатам исследований Института горного дела им.А.А.Скочинского Калининградским вагоностроительным заводом спроектирован и построен думпкар грузоподъемностью 165–170 т с увеличенной емкостью кузова (85–90 м³).

Все изложенные частные исследования явились основой при экономико-математическом моделировании работы транспорта и позволили выявить обобщенные закономерности, определяющие условия наиболее эффективного применения перспективных средств железнодорожного транспорта.

С увеличением уклона путей становится целесообразным применение локомотивов увеличенного сцепного веса. Эта же зависимость наблюдается с увеличением глубины карьера; определяющим при этом является изменение числа рабочего горнотранспортного оборудования: сокращение локомотивного и экскаваторного парка приводит к снижению общих затрат, несмотря на рост расходов ввиду увеличения числа вагонов, необходимых для перевозки заданного объема груза.

Оценка затрат на погрузочно-транспортный комплекс при использовании различных экскаваторов и подвижного состава показывает, что с применением думпкарв грузоподъемностью 165–170 т, рекомендуемых в работе, уровень приведенных затрат во всех случаях снижается (расчетная годовая экономия на каждый думпкар составляет 5,0 тыс.руб.). При увеличении сцепного веса до уровня 240–360 т необходимым становится использование в погрузочно-транспортном комплексе экскаваторов с ковшем емкостью 12,5 м³.

Увеличение сцепного веса локомотивов является средством значительного повышения производительности труда при открытой разработке. С увеличением сцепного веса до 360 т производительность труда по погрузочно-транспортному комплексу (с учетом численности персонала, занятого на ремонте горнотранспортного оборудования) увеличивается в 1,4–1,5 раза.

В результате экономико-математического моделирования работы погрузочно-транспортного комплекса крупных карьеров установлена зависимость приведенных затрат при изменяющемся сцепном весе локомотивов. В пределах каждого значения сцепного веса зависимость представлена зоной, которая возникает в результате того, что к рассмотрению принимались различные конструктивные исполнения локомотивов.

Обстоятельством, ограничивающим нижний уровень величины сцепного веса, является грузооборот

$$P_{сц. min} = \frac{f D (t + \tau)}{T 0,5 \rho} \frac{(1 - K_r)(i_p + w_o)}{(1000 \psi - i_p - w_o)}, \quad (82)$$

где f – коэффициент резерва провозной способности;

D – грузооборот карьера, млн.м³;

T – расчетное время работы транспорта, ч;

ρ – число путей на ограничивающем перегоне;

τ – время на сообщения между разделными пунктами, ч;

t – время хода поездов по ограничивающему перегону, ч;

K_r – коэффициент тары вагонов.

По мере увеличения уклона минимально допустимая величина сцепного веса возрастает. Поскольку для глубоких карьеров большой производительности уклоны путей составляют 30–50‰ и более, необходимым условием становится применение локомотивов увеличенного сцепного веса.

Влияние большого числа факторов приводит к тому, что каждое значение сцепного веса соответствует определенной области целесообразного его применения. Поскольку эта область весьма широка, достаточно иметь 2–3 типа локомотивов, которые обеспечивают эффективность работ во всем широком диапазоне условий работы в карьерах. На основании подобных расчетов ВЭЛНИИ разработан типаж промышленных электровозов для открытых разработок, базирующийся на 120-тонной четырехосной единице подвижного состава. Формирование локомотива из четырехосных единиц допускает в зависимости от условий применять локомотивы сцепным весом 120, 240 и 360 т.

Наряду с тенденцией увеличения сцепного веса электровозов получает развитие прогрессивное направление – применение моторных думпкарв, сцепной вес которых создается за счет транспортируемой горной массы. Развитие этого направления привело к применению тяговых агрегатов – локомотивов, состоящих из отдельных секций. Такое формирование локомотива дает возможность осуществить карьерный локомотив, наделенный свойствами, в наиболее полной мере отвечающими специфическим условиям работы в карьерах.

На основании технических условий, которыми завершились исследования ИГД им.А.А.Скочинского, силами коллективов ВЭЛНИИ и Новочеркасского электровозостроительного завода создан тяговый агрегат переменного тока типа ОПЭ1 сцепным весом 360 т с источником автономного питания мощностью 2000 л.с., состоящий из

электровоза управления, дизельной секции и моторного думпкара, благодаря чему он сочетает в себе незаменимые для карьерных условий свойства электротяги с автономным питанием при движении по передвижным и отвальным путям. По своим параметрам он превосходит выпускаемые за рубежом тяговые агрегаты. Конструкция и электрическая схема агрегата содержат ряд принципиально новых решений, благодаря чему он соответствует уровню современных достижений науки и техники.

После обстоятельных испытаний, проведенных с участием автора, Новочеркасский завод приступил к серийному изготовлению тяговых агрегатов. На применение тяговых агрегатов ориентированы многие предприятия открытой добычи. Фактический эффект от применения тяговых агрегатов в условиях Междуреченского разреза составил 60,8 тыс.руб. на каждый локомотив.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Дальнейшее развитие открытой добычи полезных ископаемых при транспортной системе разработки связано с использованием различных видов карьерного транспорта применительно к разнообразным условиям действующих и перспективных карьеров.

2. Генеральным направлением развития горного производства является его концентрация как средство повышения производительности труда и снижения стоимости работ.

Средствами, стимулирующими концентрацию работ, являются повышение мощности и производительности оборудования при необходимом уровне надежности и организации транспортного процесса.

3. Методологией работы является обобщенный (системный) подход к синтезу транспортных схем в карьерах, конструируемых для обеспечения прогрессивной технологии при условии достижения наиболее высоких технико-экономических показателей.

Стохастическая природа технологических процессов придает общность транспортным системам независимо от принципа их действия и является базисом разработанных методов синтеза схем и параметров карьерного транспорта.

4. Изучение стохастической природы систем карьерного транспорта и их компонентов приводит к выводу о том, что оптимизация решений в этом случае заключается в установлении рационального количества погрузочного и транспортного оборудования карьеров, обеспечивающего наименьшие удельные приведенные затраты при надежной реализации заданной производительности и определенном уровне организованности систем.

а) Разработан метод оценки и расчета систем циклического действия. Рабочее число машин определяется путем корректировки технически необходимого количества с учетом относительного влияния экономических факторов и уровня организованности работы экскаваторно-транспортного комплекса.

б) Разработан метод оценки и расчета транспортных схем поточной технологии различной структурной сложности. Транспортирующая способность системы определяется как вероятная эксплуатационная производительность, определяемая с учетом показателей надежности оборудования.

5. Изучение показателей надежности оборудования карьерного транспорта позволяет рекомендовать схемы концентрированного производства, при которых использование ограниченного количества мощного высокопроизводительного оборудования гарантированно обеспечивает заданную производственную мощность предприятия при высоких технико-экономических показателях.

6. Проведено исследование параметров конвейерного транспорта применительно к транспортным схемам различной структуры и сложности.

На основании анализа производительности, мощности, весовых и стоимостных показателей установлена эффективность применения конвейерного транспорта в зависимости от размера грузопотока, определяющая целесообразность применения схем поточной технологии, в первую очередь, на мощных карьерах.

7. Выявлены основные закономерности, определяющие эффективность применения большегрузных средств автотранспорта для перевозки угля.

Применение автомобилей-углевозов особо большой грузоподъемности позволяет осуществить переход к высокой концентрации горного производства, что определит резкое снижение удельных приведенных затрат по сравнению с достигнутым уровнем. Увеличение грузоподъемности углевозов до 120 и 300 т позволяет увеличить производительность труда на добычных работах в 2,5-2,7 раза.

8. Установлены основные количественные зависимости, определяющие влияние параметров карьерного подвижного состава на результативные показатели и условия эффективного применения перспективных средств электровозного транспорта.

а) Рост грузооборотов, глубины карьеров, увеличение уклона путей, применение экскаваторов новых типов делают наиболее эффективным применение электроподвижного состава сцепным весом 240-360 т.

б) Мощность электроподвижного состава устанавливается с учетом режима работы локомотивов, и для перспективных тяговых агрегатов удельная мощность должна составлять 15-17 квт на тонну сцепного веса.

в) Экспериментальными исследованиями подтверждены более высокие тяговые свойства электровозов переменного тока по сравнению с электровозами постоянного тока современного исполнения.

9. В результате выполненных исследований создано новое высокопроизводительное оборудование карьерного транспорта:

а) создан тяговый агрегат переменного тока ОПЭИ сцепным весом 360 т с источником автономного питания мощностью 2000 л.с. силами Новочеркасского электровозостроительного завода, с 1970г. освоено серийное изготовление тяговых агрегатов и успешное их внедрение на угольных разрезах комбинатов "Кемеровоуголь" и "Экибастузуголь";

б) создан думпкар грузоподъемностью 165-170 т с кузовом емкостью 85-90 м³ силами Калининградского вагоностроительного завода, предназначенный для транспортирования вскрышных пород с объемным весом 2,3-2,4 т/м³, думпкар подготовлен к испытаниям на предприятиях комбината "Экибастузуголь";

в) разработан проект автомобиля - углевоза грузоподъемностью 120 т силами Белорусского автомобильного завода, намечено широкое применение таких углевозов на угольных разрезах Кузбасса.

Перечисленные транспортные средства являются основой технического перевооружения карьерного транспорта в угольной промышленности.

Расчетный эффект от внедрения в промышленность предложений по результатам проведенных исследований составляет 28 млн.руб. в год.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах автора:

1. Метод установления мощности электровозов угольных карьеров. - В сб. "Научные труды МГИ", вып.15. М., МГИ, 1955.

2. Основные параметры электровозов угольных карьеров. - "Уголь", 1956, № 6.

3. Принцип подобия при расчетах электрифицированного транспорта на карьерах. М., Углетехиздат, 1958.

4. К вопросу выбора вида карьерного транспорта. М., Углетехиздат, 1959.

5. Тепловозная тяга на карьерах. - "Горный журнал", 1959, №9.

6. Обоснование параметров горнотранспортного оборудования для железорудных карьеров Кустанайской области. - В сб. "Научные сообщения ИГД АН СССР", вып.5. М., 1960 (соавтор К.Е.Виницкий).

7. Перспективы развития и пути совершенствования конвейерного транспорта на открытых горных разработках. - "Уголь", 1961, № 2 (соавторы А.О.Спиваковский, Л.Г.Медведев, В.А.Дьяков).

8. Вопросы поточной технологии на открытых разработках. - "Горный журнал", 1961, № 9 (соавторы Н.В.Мельников, К.Е.Виницкий).

9. Обоснование технологических схем комплексно-конвейеризированных карьеров. Научные сообщения ИГД АН СССР, 1961, № II (соавтор Н.В.Мельников, К.Е.Виницкий).

10. Об эффективности применения конвейерного транспорта на открытых разработках. - "Уголь", 1962, № 3.

11. Транспорт на открытых разработках (учебник для вузов). М., Госгортехиздат, 1962 (соавторы А.О.Спиваковский, А.В.Андреев).

12. Основы поточной технологии открытых горных разработок. М., Академиздат, 1962 (соавторы Н.В.Мельников, К.Е.Виницкий).

13. Транспорт. - В кн.: "Техника открытых горных работ за рубежом". М., Госгортехиздат, 1962.

14. Карьерный транспорт. Учебник для техникумов. М., Госгортехиздат, 1963.

15. К вопросу о классификации схем карьерного транспорта. М., ИГД им.А.А.Скочинского, 1965.

16. Карьерный конвейерный транспорт. М., Госгортехиздат, 1965 (соавторы А.О.Спиваковский, М.А.Котов).

17. Метод оценки схем транспортирования в карьерах. - В сб. "Добыча угля открытым способом", вып. 6. М., ЦИТИУгля, 1967 (соавтор А.Н.Комраков).

18. Определение мощности дизеля тягового агрегата сцепным весом 360 т. - В сб. "Горные машины и автоматика", вып. 8. М., ЦИТИУгля, 1967.

19. Транспортные машины и комплексы открытых горных разработок. Учебник для вузов. М., "Недра", 1968 (соавторы А.О.Спиваковский, А.В.Андреев).

20. Развитие транспорта открытых разработок. Труды МГИ. М., МГИ, 1968. (соавтор Н.В.Мельников).

21. Вопросы надежности конвейерного транспорта. - В сб. "Применение техники непрерывного действия на угольных карьерах". Киев, "Техника", 1968 (соавтор А.Н.Комраков).

22. Состояние техники открытой разработки угля в Европе. М., ИГД им. А. А. Скочинского, 1968 (соавторы Н.В.Мельников, В.Н.Журавлев).

23. Принципы поточной технологии с конвейеризацией транспорта на открытых разработках. М., ИГД им. А.А.Скочинского, 1968 (соавторы Н.В.Мельников, К.Е.Виницкий).

24. Некоторые вопросы оценки схем транспортирования в карьерах. М., "Наука", 1969 (соавтор А.Н.Комраков).

25. Тяговый агрегат переменного тока для открытых горных разработок. - "Уголь", 1969, № 8 (соавторы Б.Р. Бондаренко, Г.К.Бутко, Н.А.Меркулов, С.М.Усачев).

26. Направления совершенствования и развития транспорта угольных карьеров. - Материалы Всесоюзного научно-технического совещания по совершенствованию технологии и средств комплексной механизации производственных процессов на угольных карьерах (г.Междуреченск, 24-26 июня 1969 г.). М., ЦНИЭИуголь, 1971.

27. Оценка надежности карьерных электровозов. - В сб. "Горные машины и автоматика", вып. 10. М., ЦНИЭИуголь, 1969 (соавтор А.Н.Комраков).

28. Оценка надежности схем поточной технологии в карьерах. - "Горный журнал", 1970, № 5 (соавтор А.Н.Комраков).

29. Оценка транспортирующей способности технологических схем карьерного транспорта. - В сб. "Основные направления совершенствования техники и технологии производства нерудных строительных материалов". М., Стройиздат, 1970 (соавторы В.М.Альтшулер, А.Н.Комраков).

30. Коэффициент сцепления и сопротивления движению тягового агрегата ОПЭГ. - В сб. "Горные машины и автоматика", вып. 1, М., ЦНИЭИуголь, 1971 (соавтор Л.В.Мелихов).

31. Новый думпкарь грузоподъемностью 165 т для вскрышных работ. М., ЦНИЭИуголь, 1971 (соавтор В.М.Давиденко).

Потапов

Михаил Геннадиевич

ИССЛЕДОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ И ПАРАМЕТРОВ ОБОРУДОВАНИЯ ТРАНСПОРТА
НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАЗРАБОТКАХ

Редактор Орлова Н.В.

Л-82189

Тираж 200

Заказ № 6197

- Ротапечатьный цех Института горного дела им.А.А.Скочинского
3,0 уч.-изд.л. Подписано к печати 2/XI 1971 г.