

INTERNATIONAL CONFERENCE: DYNAMICS OF MINING MACHINES
DYNAMACH '89

Анатолий Васильевич ЖУКОВ

Институт горного дела ДВО АН СССР
Хабаровск, СССР

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРНЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН И МАШИННЫХ СИСТЕМ

Резюме. Разработанный для ЭВМ алгоритм имитационного моделирования работы механизированного комплекса в очистном забое дает возможность установить наиболее рациональный вариант механизации для каждой из исследуемых шахт и рассчитать все режимные параметры выемочных машин.

Для исследования динамики и прогнозирования уровня стабильности функционирования оборудования в околоствольных дворах и на погрузочных пунктах шахт и рудников, с учетом случайных поступлений составов на разгрузку и погрузку, применен метод статистических испытаний (Монте-Карло), позволяющий с помощью ЭВМ рассчитывать сменные и суточные графики движения поездов и картограммы работ наиболее приемлемые в конкретных условиях эксплуатации рудничного электровозного транспорта.

Реализация математической модели на основе теории массового обслуживания, широкий спектр параметров математического моделирования (около 500 вариантов) и адекватность одноканальной системы массового обслуживания с ожиданием реальному процессу погрузки и разгрузки составов позволило детально исследовать динамику оборудования рудничных околоствольных дворов и погрузочных пунктов в зависимости от интенсивности прибытия составов, проектируемой схемы и объема транспортных выработок, оценить диапазон возможных характеристик их обслуживания.

1. ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СРЕДСТВ КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ НА УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Практика проектирования средств комплексной механизации добычных и транспортных процессов связана с решением многовариантных задач, исследованиями динамики горных машин и машинных систем, оптимизацией их эксплуатационных и режимных параметров. Системный программированный подход в решении многих оптимизационных задач и их значительное разнообразие позволяет наиболее эффективно применять различные методы математического моделирования. Качество и точность вычислений во многом зависят от выбранной процедуры расчетов, надлежащего учета факторов, влияющих на параметры процесса, структуры

расчетного алгоритма и вида целевой функции. Структура расчетного алгоритма должна быть универсальной в целях проверки данных на различных стадиях разработки проектной документации и возможности производства прямых расчетов, когда исходная информация детерминированно отражает стороны действующего производственного процесса: данные проекта — плановые и прогнозируемые показатели, определяемые с помощью моделирования.

При проектировании средств механизации добычи угля в очистном забое на основании имеющейся горно-геологической и горно-технической информации устанавливаются основные технологические параметры лавы и определяются требования к добычному, транспортному, обеспечивающему и вспомогательному оборудованию. Эффективность проектируемых средств механизации во многом зависит от степени проявления горно-геологического и горно-технического факторов, которые практически не управляемы, часто не прогнозируемы или прогнозируемы лишь с некоторой долей достоверности. Поэтому реальные процессы функционирования горных и транспортных машинных систем могут быть описаны с помощью стохастических моделей.

Разработанный типовой алгоритм имитационного моделирования работы комбайна в очистном забое дает возможность установить рациональный вариант механизации для каждой из исследуемых шахт и рассчитать режимные параметры выемочных машин с использованием ЭВМ и тем самым разработать конкретные рекомендации по технической реконструкции добычных участков. На основании алгоритма были разработаны программы на алгоритмическом языке ФОРТРАН-IV. В качестве исходной информационной базы для исследования были приняты горно-технические условия конкретных добычных участков и конструктивные данные комбайнов шахт ПО "Приморскуголь" [1].

Для каждого конкретного случая рассматривались два конкурирующих варианта горных и транспортных машин. Соответственно для каждого из них создавалась имитационная модель работы в лаве с учетом конструктивно-технических возможностей того или иного вида выемочной машины. Имитационная модель строилась в виде блок-схемы расчета на ЭВМ основных показателей эффективности работы очистного комплекса для рассматриваемых горно-геологических условий. Последовательность операций, заложенная в программе, следующая: для каждой реализации при помощи выбранных случайных чисел определяется продолжительность простоев и работы горных машин по их заданным законам распределения. Затем для каждого из интервалов, на которые разбивается выполнение процесса, находятся случайные значения всех факторов, влияющих на эффективность работы очистного механизированного комплекса. В течение одной реализации указанный процесс повторяется до тех пор, пока суммарное время работы и простоев по различным причинам не будет равно длительности смены. После этого начинается выполнение следующей реализации вплоть до накопления такого их количества, которое обеспечило бы заданную достоверность статистических характеристик искомых показателей математического ожидания или дисперсии.

В таблице 1 показаны результаты имитационного моделирования и прогнозируемые технико-экономические показатели работы очистных комплексов по шах-

Таблица 1

Технико-экономические показатели работы очистных комплексов на шахтах ПО "Приморскуголь"

Наименование шахты	Комбайны	Уровень эффективности работы комбайна	Удельная энергоемкость разрушения угля, квт ч/м ³	Нагрузка на лаву т/сутки	Себестоимость угля руб.	Годовой экономический эффект руб.
Шахта им. Артема	КШ-1 КГ	0,29	1,67	1229	1,58	-
	2КШ-3	0,53	1,43	1944	1,17	235030
	КШ-3М	0,41	2,55	1016	1,51	-
Липовецкое шахтоуправление	КШ-75	0,77	1,64	1509	2,06	268809
	1К-101	0,35	1,32	442	3,25	-
Шахтоуправление "Авангард"	К-103	0,81	0,86	750	2,14	400770
	КШ-3М	0,60	1,22	1202	2,02	-
Ургальское шахтоуправление	2КШ-3	0,79	0,68	1873	1,23	444633

там ПО "Приморскуголь". Алгоритм имитационного моделирования показал хорошую сходимость с эксплуатационными выходами данными горных и транспортных машин, работающих в настоящее время на шахтах.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГОРНОТРАНСПОРТНЫХ МАШИН В ОКОЛОСТВОЛЬНЫХ ДВОРАХ ШАХТ И РУДНИКОВ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ (МОНТЕ-КАРЛО)

В настоящее время метод Монте-Карло применяется при исследовании случайных процессов в самых различных отраслях науки и техники. Задачи, решаемые методом Монте-Карло, можно разбить на две группы: 1) задачи вероятностной природы, аналитическая формулировка которых представляет значительные трудности (задача исследования надежности и динамики горных машин; исследование систем управления со случайными входными параметрами; теории массового обслуживания и т.д.); 2) задачи, сформулированные аналитически: вычисление многомерных интегралов, решение дифференциальных и интегральных уравнений, нахождение экстремума функций многих переменных и т.д. При решении чисто вычислительных задач применение метода Монте-Карло особенно оригинально.

Исследование динамики функционирования горнотранспортных машин проведено на примере работы опрокидывателя в околоствольном дворе. На опрокидыватель поступают составы с углем, причем моменты поступления (τ) — случайные. Опытным путем установлено, что поток составов с углем является простейшим. Это значит, что промежуток времени (τ) между двумя последовательными составами с углем, есть случайная величина, распределенная с плотностью

$$p(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad \text{где } \lambda - \text{плотность потока состава с углем [2, 3].}$$

Формулу для розыгрыша τ можно получить из уравнения

$$\int_0^{\tau} \lambda e^{-\lambda x} dx = \gamma,$$

откуда

$$1 - e^{-\lambda \tau} = \gamma \quad \tau = 1/\lambda \ln(1 - \gamma)$$

Величина $1 - \gamma$ распределена точно так же, как и γ и поэтому можно вместо последней формулы использовать формулу $\tau = 1/\lambda \ln \gamma^*$ (*). Пусть $\lambda = 2$ (среднее число составов в час);

$$\bar{\tau}_{\text{раз.}} = 0,4 \quad (\text{среднее время на разгрузку одного состава})$$

Решение:

В качестве значений γ выберем пары цифр из таблицы случайных чисел, умноженные на 0,01, и результат вычислений по формуле (*) запишем в таблице 2.

Таблица 2

Результат вычислений

j	1	2	3	4	5	6	7	8
τ_j	0,51	0,59	0,07	0,95	0,66	0,15	0,56	0,64
τ_j	0,33	0,26	1,32	0,02	0,21	0,94	0,29	0,22
j	9	10	11	12	13	14	15	
τ_j	0,34	0,56	0,55	0,81	0,23	0,32	0,94	
τ_j	0,54	0,29	0,29	0,10	0,74	0,56	0,02	

Далее предполагаем, что на начало смены на опрокидывателе стоит состав с углем, следующий состав приходит через 0,33 часа (см. τ_1) и т.д. Количество обслуженных составов и получивших отказы будем вычислять по формуле $\sum_{j=1}^n t_j - \sum_{j=1}^n \tau_j$. Если эта разность положительна, то заявка (состав) получает отказ (не принимается), если отрицательна, то принимается к обслуживанию:

$$1. t_1 - \tau_1 = 0,40 - 0,33 > 0 \quad - \text{отказ};$$

$$2. \sum_{j=1}^2 t_j - \sum_{j=1}^2 \tau_j = 0,80 - 0,59 > 0 - \text{отказ};$$

$$3. \sum_{j=1}^3 t_j - \sum_{j=1}^3 \tau_j = 1,20 - 1,91 < 0 - \text{обслуживает};$$

$$4. \sum_{j=1}^4 t_j - \sum_{j=1}^4 \tau_j = 1,60 - 1,93 < 0 - \text{обслуживает};$$

$$5. \sum_{j=1}^5 t_j - \sum_{j=1}^5 \tau_j = 2,00 - 2,14 < 0 - \text{обслуживает};$$

$$6. \sum_{j=1}^6 t_j - \sum_{j=1}^6 \tau_j = 2,40 - 3,08 < 0 - \text{обслуживает};$$

$$7. \sum_{j=1}^7 t_j - \sum_{j=1}^7 \tau_j = 2,80 - 3,37 < 0 - \text{обслуживает};$$

$$8. \sum_{j=1}^8 t_j - \sum_{j=1}^8 \tau_j = 3,20 - 3,59 < 0 - \text{отказ};$$

$$9. \sum_{j=1}^9 t_j - \sum_{j=1}^9 \tau_j = 3,60 - 4,03 < 0 - \text{отказ};$$

$$10. \sum_{j=1}^{10} t_j - \sum_{j=1}^{10} \tau_j = 4,00 - 4,30 < 0 - \text{обслуживает};$$

$$11. \sum_{j=1}^{11} t_j - \sum_{j=1}^{11} \tau_j = 4,40 - 4,51 < 0 - \text{обслуживает};$$

$$12. \sum_{j=1}^{12} t_j - \sum_{j=1}^{12} \tau_j = 4,80 - 4,71 < 0 - \text{отказ};$$

$$13. \sum_{j=1}^{13} t_j - \sum_{j=1}^{13} \tau_j = 5,20 - 5,45 < 0 - \text{обслуживает};$$

$$14. \sum_{j=1}^{14} t_j - \sum_{j=1}^{14} \tau_j = 5,60 - 6,01 < 0 - \text{обслуживает};$$

$$15. \sum_{j=1}^{15} t_j - \sum_{j=1}^{15} \tau_j = 6,00 - 6,03 < 0 - \text{обслуживает};$$

Как видно из вычислений, в начале смены опрокидыватель будет занят и составы простаивают в ожидании разгрузки, затем в течение всей смены опрокидыватель будет работать стабильно.

Таким образом, реализация метода Монте-Карло позволяет исследовать динамику работы оборудования в окрестностях дворах и на погрузочных пунктах шахт и рудников; с помощью ЭВМ рассчитывать сменные и суточные наиболее приемлемые в конкретных условиях эксплуатации рудничного электровозного транспорта графики движения поездов, картограммы работ, интенсивности прибытия составов на погрузку и разгрузку

3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРОВОЗНОГО ТРАНСПОРТА

В результате проведенных исследований удалось получить аналитические выражения электромеханических характеристик тяговых двигателей рудничных электровозов. В последующем были разработаны алгоритмы и программное обеспечение для расчетов эксплуатационных и проектируемых параметров рудничного электровозного транспорта на ЭВМ. Расчеты выполняются дифференцированно для откатки контактными и аккумуляторными электровозами [4, 5].

Реализация алгоритма позволяет на более качественной основе рассматривать альтернативные варианты технологической системы электровозного транспорта в соответствии с исходной расчетной информацией по шахте руднику плановой, фактической или моделируемой. В то же время эффективность всей системы рельсового транспорта во многом зависит от качества функционирования оборудования на шахтных погрузочных пунктах и в околоствольном дворе. Таким образом, для надежного обеспечения высокопроизводительных вымочных комплексов средствами рудничного транспорта необходима оптимизация параметров всей технологической системы, в том числе и оборудования, и транспортных коммуникаций на шахтных погрузочных пунктах и в околоствольных дворах.

В работе для оптимизации параметров оборудования и транспортных коммуникаций применен аппарат теории массового обслуживания. Случайный характер потока заявок приводит к тому, что в какие-то промежутки времени на входе системы массового обслуживания (СМО) скапливается излишне большое число заявок, в другие же периоды СМО будет работать с недогрузкой или вообще простаивать. Поэтому предметом теории массового обслуживания является установление зависимости между характером потока заявок, числом каналов, их производительностью, правилами работы СМО и успешностью (эффективностью) обслуживания.

Технологические параметры оборудования на шахтных погрузочных пунктах и в околоствольных дворах определялись на базе теории марковских случайных процессов (например, использовался частный случай процесса по схеме "гибели и размножения") с учетом количества работающих добычных участков, характеристик интенсивности поступления электровозосоставов, интенсивности их обслуживания. При этом определялась относительная и абсолютная пропускная способность околоствольного двора или погрузочного пункта, вероятность обслуживания составов без задержки. На рис. 1 представлена экономико-математическая модель оптимизации функциональных параметров оборудования и транспортных коммуникаций в рудничных околоствольных дворах и на погрузочных пунктах (модель одноканальной системы массового обслуживания с ожиданием).

Реализация алгоритма моделирования параметров функционирования погрузочного и разгрузочного оборудования проведена на ЭВМ типа СМ-1420 с использованием алгоритмического языка ДИАМС. Программа алгоритма разработана в соавторстве с инженером системотехником В.В. Жуковым.

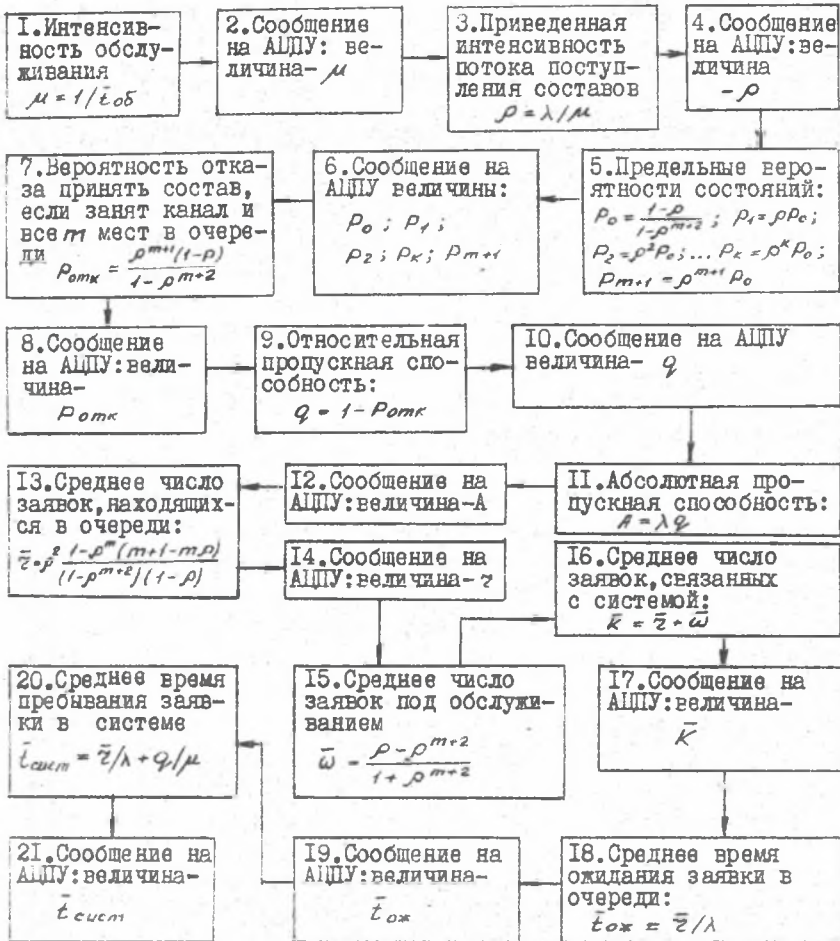


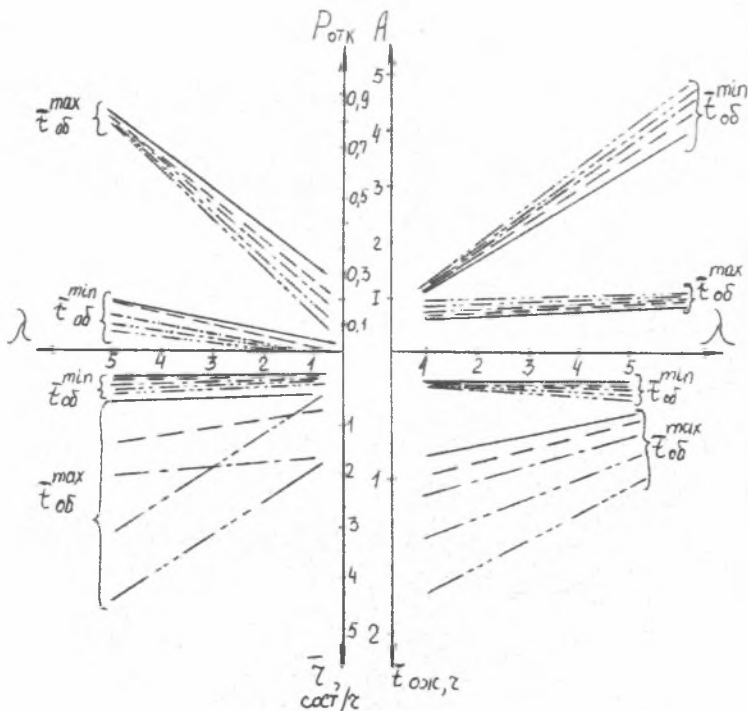
Рис. 1. Блок-схема алгоритма экономико-математического моделирования функциональных параметров ЛТС и транспортных коммуникаций в околостовольных дворах и на погрузочных пунктах (модель одноканальной системы массового обслуживания с ожиданием). Матрица массива исходной информации:

m - число возможных мест в очереди (число составов, ожидающих разгрузки погрузки); λ - интенсивность прибытия составов в околостовольный двор (на погрузочный пункт); $\tau_{об}$ - моделируемые интервалы времени опрокидывания (загрузки) вагонов

Состояние системы: S_0 - канал свободен; S_1 - канал занят; очереди нет; S_2 - канал занят, одна заявка стоит в очереди; S_k - канал занят, (k-1) заявок стоит в очереди; S_{m+1} - канал занят, "m" заявок ожидают в очереди

Вероятность отказа принять очередной состав ($P_{отк}$) в зависимости интенсивности прибытия состава (λ) и числа мест в очереди (m)

Зависимости абсолютной пропускной способности опрокидвателя (A) в функции (λ) и (m)



Среднее число электровозосоставов (\bar{n}), находящихся в очереди в зависимости от (λ) и (m)

Среднее время ожидания в очереди на разгрузку ($\bar{t}_{ож}$) в зависимости от (λ) и (m)

Рис. 2. Номограмма результатов моделирования параметров эффективности обслуживания электровозосоставов в околоствольном дворе

- $m=1$; -- $m=2$; --- $m=3$, -.-.- $m=4$; -.-.-.- $m=5$

Широкий спектр параметров математического моделирования (около 500 вариантов) и адекватность одноканальной системы массового обслуживания с ожиданием реальным процессом погрузки и разгрузки вагонеток позволил детально исследовать функциональные возможности оборудования рудничных околоствольных дворов и погрузочных пунктов в зависимости от интенсивности прибытия составов, проектируемой схемы и объема транспортных выработок, оценить диапазон возможных характеристик эффективности обслуживания составов.

Анализ результатов математического моделирования и графических зависимостей на рис. 2 показывает, что при минимальном времени опрокидывания вагонов ($\bar{t}_{об}^{min}$), т.е. большой пропускной способности оборудования околоствольного двора, вероятность отказа незначительная при любых числах m и λ и достигает наибольшей величины $P_{отк} = 0,143$ ($m = 1, \lambda = 5$), абсолютная пропускная способность в данном режиме работы оборудования najwyżшая. Другая картина наблюдается, когда нарастает интенсивность прибытия составов в околоствольный двор и одновременно увеличивается время на их разгрузку, при том же соотношении числа мест в очереди.

На номограме предельные значения этого режима обозначены — $\bar{t}_{об}^{max}$. Здесь независимо от числа мест в очереди (или объема транспортных коммуникаций в околоствольном дворе) вероятность отказа принять очередной состав при $\bar{t}_{об} = 9,95 - 1,0$ час, $\lambda = 5$ имеет величины $P_{отк} = 0,789 - 0,806$. Как показано на рис. 2 с увеличением числа мест в очереди значительно повышается количество груженых составов, находящихся в очереди; время ожидания в очереди на разгрузку также в несколько раз больше по сравнению с вышерассмотренными результатами моделирования.

Таким образом, разработанные алгоритмы, модели и программы для ЭВМ, которые могут служить основой программно-математического обеспечения подсистемы САПР подземного электровозного транспорта, позволяют для конкретной шахты оптимизировать проектные и эксплуатационные параметры технологической системы рудничного транспорта с учетом заданной интенсивности грузопотоков и требуемой пропускной способности околоствольного двора или погрузочного пункта. Для надежного обеспечения выемочных комплексов средствами электровозного транспорта рассчитывались основные эксплуатационные параметры откатки контактными и аккумуляторными электровозами, а также характеристики эффективности функционирования оборудования в околоствольных дворах и на погрузочных пунктах: возможность обработки всех поступающих составов с участков без задержки; вероятность занятости, относительная и абсолютная пропускная способность оборудования; среднее число составов, ожидающих разгрузки (погрузки); среднее время ожидания состава и числа мест в очереди и т.п.

На основании результатов исследования представляется возможным сделать следующий основополагающий вывод: в практике проектирования шахт и рудников большой производственной мощности целесообразно применение наиболее простых схем околоствольных дворов и погрузочных пунктов с объемом транспортных выработок (длиной разминок), вмещающих не более одного электровозосостава в сочетании с технически обоснованными характеристиками высокопроизводительного и надежного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Жуков А.В., Мартыненко В.К.: Оптимизация параметров средств комплексной механизации на угольных предприятиях Дальнего Востока. Применение ЭВМ и математических методов в горном деле. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988, с. 23-33.
- [2] Жуков А.В.: Применение метода статистических испытаний Монте-Карло для исследования динамики процессов в околоствольных дворах шахт и рудников. Применение ЭВМ и математических методов в горном деле. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988, с. 4-11.
- [3] Жуков А.В.: Методы теории исследования операций при решении транспортных задач. Владивосток: ДВПИ, 1974, 124 с.
- [4] Жуков А.В., Белобрицкий В.М.: Аналитическое определение тяговых параметров рудничных электровозов. Шахтный и карьерный транспорт. М.: Недра, 1984, Вып. 9, с. 122-127.
- [5] Жуков А.В., Диагностирование эффективности и оптимизации параметров производственно-технических систем горных предприятий: в 2 ч. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986, 296 с.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Walery Szusić

MATEMATYCZNE MODELOWANIE URZĄDZEŃ GÓRNICZYCH I TRANSPORTOWYCH
I SYSTEMÓW MASZYNOWYCH

S t r e s z c z e n i e

Opracowany dla komputera algorytm symulacji pracy kompleksu zmechanizowanego w przodku wybierkowym umożliwia ustalenie najbardziej racjonalnego wariantu mechanizacji dla każdej z badanych kopalń i obliczyć wszystkie parametry warunków pracy urządzeń wybierkowych.

Do badań dynamiki i prognozowania poziomu trwałości działania urządzenia w podszybiach i punktach załadowniczych kopalń węgla kamiennego i kopalń innego typu, z uwzględnieniem wpływów składów na rozładowanie i załadowanie, zastosowano metodę badań statystycznych (Monte Carlo), która pozwala przy pomocy komputerów obliczać harmonogramy zmienne i dobowe ruchu pociągów oraz kartogramy prac najbardziej możliwe do przyjęcia w konkretnych warunkach eksploatacji kopalnianego transportu elektrowozowego.

Realizacja modelu matematycznego na podstawie teorii obsługi masowej, szeroką gamę parametrów modelowania matematycznego (około 500 wariantów) i zgodność jednokanałowego systemu obsługi masowej z oczekiwaniem realnego procesu załadunku i rozładunku składów pozwoliło szczegółowo zbadać dynamikę urządzenia kopalnianych podszybiów i punktów załadowniczych w zależności od intensywności przybycia składów, projektowanego układu i rozmiarów wydajności transportowych, ocenić zakres ewentualnych charakterystyk ich obsługi.

MATHEMATICAL SIMULATION OF MINING AND TRANSPORT
MACHINES AND THEIR SYSTEMS

S u m m a r y

Computer-assisted algorithm of simulated operation of mechanized complex in breakage face offers the most rational variant of mechanization in every examined mine and the opportunity to consider operating conditions of excavating machines.

To examine the dynamics and to forecast the level of functional stability of the equipment in near-shaft yards and loading stations of mines including occasional receipt of trains to be loaded and unloaded we used the Monte Carlo method of statistic tests allowing to compute both the shift and 24-hourly schedules of train traffic and the charts of works best suited to exploitation of the ore transporting electromachines.

Implementation of mathematical model in terms of the theory of large-scale service, wide range of variables for mathematical simulation (about 500 variants) and equivalence of unichannel system for the large-scale service anticipating real loading and unloading of trains, allowed to conduct detailed studies on equipment performance in ore near-shaft yards and loading stations in accordance with rate of train arrival, contemplated scheme and scope of transport output as well as to evaluate possible characteristics of their service.