

ликоопорам, обусловленная деформацией груза, увеличивается, а при изменении расстояния между роlikоопорами практически не изменяется.

Список литературы

1. Шахмейстер Л. Г. Теория и расчет ленточных конвейеров / Л. Г. Шахмейстер, В. Г. Дмитриев. – М.: Машиностроение, 1987. – 336 с.
2. Определение коэффициента сопротивления движению ленты по роlikоопорам мощного конвейера / Р. В. Кирия, В. Ю. Максютенко, Т. Ф. Мищенко, Н. Г. Ларионов // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 86. – С. 248–254.
3. Кирия Р. В. Определение коэффициента сопротивления движению ленты по роlikоопорам конвейера, обусловленного изгибом ленты / Р. В. Кирия, В. Ю. Максютенко, Т. Ф. Мищенко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск, 2012 – Вып. 106. – С. 140–146.
4. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
5. Тимошенко С. П. Пластины и оболочки / С. П. Тимошенко, С. Войковский–Кригер. – М.: Физ.-мат. литература, 1963. – 635 с.
6. Зенков Р. Л. Механика насыпных грузов / Р. Л. Зенков. – М.: Машиностроение, 1964. – 251 с.
7. Акимов Б. Г. Экспериментальные исследования некоторых составляющих сопротивления перемещению ленты конвейера по роlikоопорам / Б. Г. Акимов, И. С. Петухов // Прочность и долговечность горных машин. – М.: Недра, 1975. – Вып. 3. – С. 120–128.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ширіним Л.Н.
Надійшла до редакції 28.02.2014*

УДК 622.272

© А.Б. Владыко

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПРОХОДЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Выполнен анализ и разработан алгоритм имитационной модели оптимизации применения проходческого оборудования с помощью программных пакетов Matlab и Simulink. Установлены зависимости времени работы, коэффициента готовности и трудоемкости от технологических параметров для двух вариантов проходческих комплексов.

Виконано аналіз та розроблено алгоритм імітаційної моделі оптимізації застосування прохідницького обладнання за допомогою програмних пакетів Matlab та Simulink. Встановлено залежності часу роботи, коефіцієнта готовності і трудомісткості від технологічних параметрів для двох варіантів прохідницьких комплексів.

Evaluated the results of the introduction of technological solutions of the deposit of uraniumThe analysis of the algorithm and simulation optimization model of tunneling equipment with the help of software packages Matlab and Simulink. The dependences of the time, and labor availability factor of the process parameters for the two options tunnel complexes.

Одним из основных экспортных товаров Украины является железорудное сырье, металл или изделия из него. Уровень экспорта металла зависит от эффективности работы горнодобывающего комплекса Украины. Поэтому приоритет-

ность повышения его эффективности отмечается стратегией развития Украины. Центральное место в горнодобывающем комплексе занимают горнопроходческие работы, которые составляют 30–40 % трудозатрат на добычу полезного ископаемого. Одно из направлений совершенствования горнодобывающего комплекса это разработка научно-обоснованных методов определения эффективности горного оборудования отечественных и зарубежных производителей, которое используется при проведении горных выработок.

Для решения подобных задач в последнее время широко применяются системный анализ и его метод – имитационное моделирование. При использовании системного анализа при решении подобных задач необходимо обоснование цели системы, структуры и функциональных свойств системы. Из теории системного анализа цель – это образ несуществующего, но желаемого состояния среды, которое позволяет решать проблему при данных ресурсах.

Целью исследуемой системы будет:

- производительность машин, шп.-м/смену, м³/смену;
- коэффициент готовности машин;
- трудоемкость проведения выработки, чел-смен.

Структура системы – это ее порядок в совокупности объектов. Структура горнопроходческого комплекса представляет сложную систему с внешней средой и несколькими входами и выходами параметров. При проведении выработки машины имеют последовательное, параллельное и смешанное соединение. Определенная структура расположения оборудования влияет на эффективность системы и зависит от результата каждого из процессов. Система делится на подсистемы, которые имеют связи между собой и внешней средой. Внешняя среда представлена горными породами в массиве и в разрушенном состоянии также влияет на структуру. Функции системы зависят от ее структуры, и характеризуется технической производительностью, уровнем надежности и эффективностью использования оборудования во времени.

Из широко применяемых методов для системного анализа основным является имитационное моделирование. Выбор имитационного моделирования для выполнения исследований заключался в следующем:

1. Увеличивая или уменьшая количество исходных данных модели, можно строить системы любой степени сложности.
2. С использованием алгоритмов и языков высокого уровня программирования, например Matlab, можно воспроизводить сколько угодно связей между элементами, блоками и подсистемами модели.
3. Усложняя имитационную модель, можно добиться высокой точности результатов моделирования.

Такой подход позволяет решить ряд актуальных проблем эффективного управления горнопроходческих комплексов. Основными проблемами мешающие эффективному управлению горнопроходческих комплексов есть:

- большое количество горного оборудования: бурового, погрузочного, транспортного, вспомогательного;
- при различных видах горнопроходческого оборудования возможны различные совмещения рабочих процессов;

- большое количество рабочих процессов, которые взаимодействуют между собой и внешней средой;
- различные во времени и пространстве взаимодействия подсистем оборудования.

При построении имитационной модели необходимо воспроизвести структуру и функции системы, а также рассмотреть критерии работы системы и ограничения. Основным критерием эффективности является коэффициент готовности машины, производительность машин, и затраты энергии на работу машины. В модели рассчитывается производительность и уровень использования машины на проходческом участке, также при работе оборудования должна определяться производительность и надежность оборудования. Оценка каждого варианта проходческого комплекса производится по максимальной производительности при минимальных затратах в данных горно-геологических и технологических условиях.

Имитационное моделирование состоит из следующих этапов:

1. Постановка задачи и согласование целей системного анализа с целью имитационного моделирования, рассматриваются показатели эффективности и ограничения.
2. Изучение горно-геологических и горнотехнических условий, в том числе случайных законов распределения прочности пород.
3. Выделение основных факторов: тип машин, скорость проведения выработки, эксплуатационная производительность, зависимость производительности машин от геотехнологических условий.
4. Формулировка, построение математической модели и планирования численного эксперимента.
5. Составление программы в Matlab и проведение эксперимента.
6. Верификация и анализ результатов имитационного моделирования.

Целью имитационного эксперимента является: выбор и определение эксплуатационной производительности горно-проходческого оборудования, определение трудоемкости основных рабочих процессов, таких как бурение шпуров в забое и погрузка горной массы, а также определение коэффициента использования оборудования в зависимости от эксплуатации в различных горно-геологических условиях.

Общая схема алгоритма имитационного моделирования основных процессов при проведении подготовительных выработок представлена на рис. 1. Алгоритм состоит из различных модулей, которые подразделяются на основные и вспомогательные. К основным относятся: 3, 8, 11, 12, 13. Остальные модули можно рассматривать как вспомогательные. Вспомогательные модули служат для ввода и вывода данных (2, 16), изменения установленных параметров моделирования (5), вычисления требуемых показателей (15), определения режима работы программы (4, 6, 7, 9, 10), а также обеспечения взаимодействия и функционирования основных модулей алгоритма. Здесь и далее нумерация модулей алгоритма осуществляется в соответствии со схемой, приведенной на рис. 1.

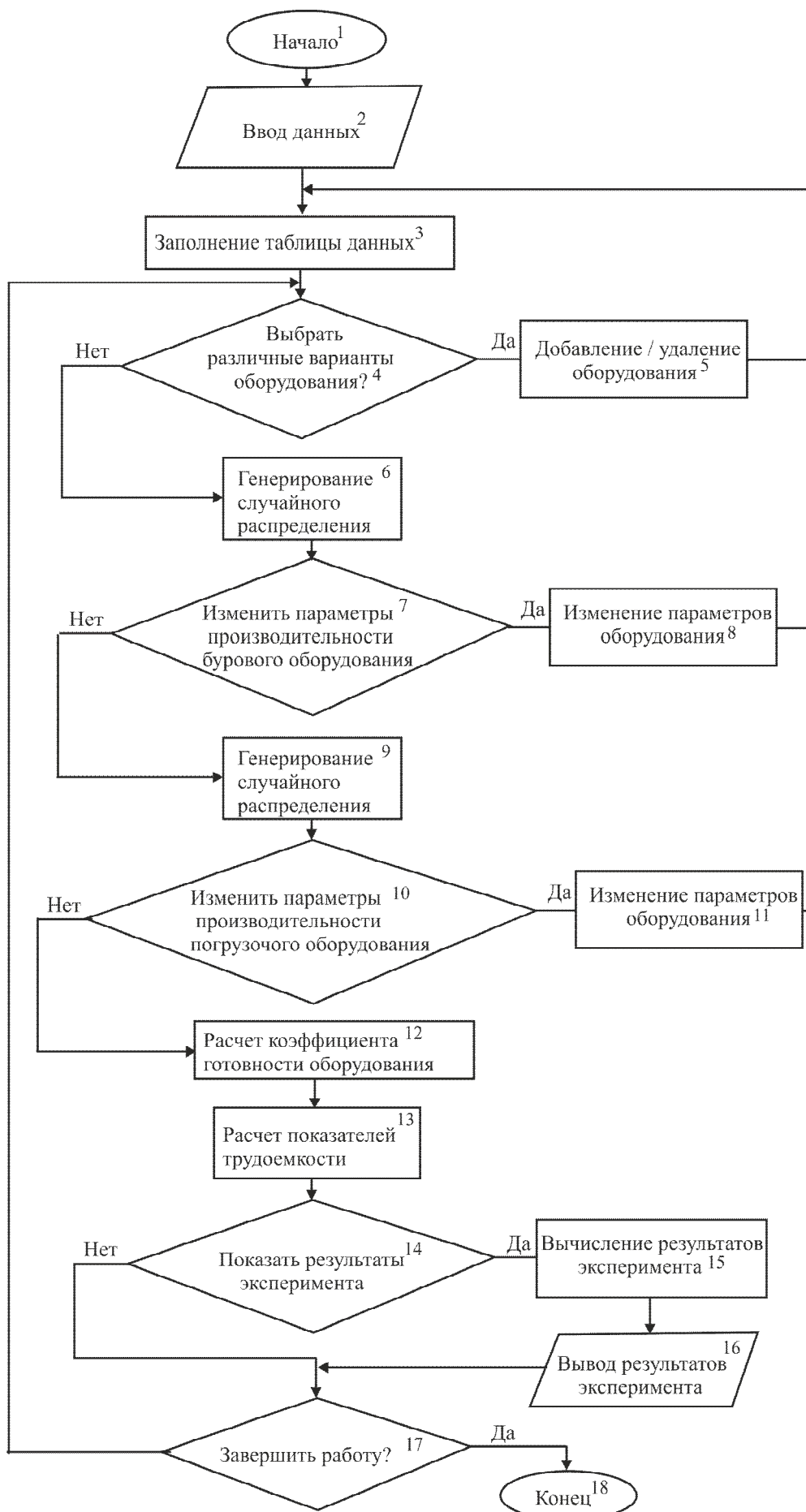


Рис 1. Алгоритм имитационной модели

Модуль № 2. Блоки исходных данных состоят, из двух подразделов:

1. Технологические параметры горной выработки (форма поперечного сечения и геометрические размеры) и горно-технологические условия ее проведения;

2. Рассматриваются технические характеристики горно-проходческого оборудования совместимых с исходными данными по двум вариантам.

При выборе вариантов горно-проходческих комплексов учитывались следующие горно-геологические и горно-технические условия: крепость пород, максимальный размер куска и фронт погрузки и т.д.

Модуль № 3. В данном модуле осуществляется заполнение таблицы данных и хронометража времени по выполнению отдельных операций.

Модуль № 5. В данном модуле осуществляется работа с базой данных: выбор или удаление оборудования из справочного пособия [1].

В модули №№ 6, 9 входит генерирование случайного распределения величин.

Модуль 7. Сменная эксплуатационная производительность (норма выработки) установки бурильной шахтной определяется по формуле [1]:

$$H_{\sigma} = \frac{T - (t_{nz} + t'_{nz} + t_{om} + t_{взр})}{\frac{1}{(k_o \cdot n \cdot v)} + (t_{ман} + t_{об.х.} + t_{\kappa})}, \text{ ш.-м/смену},$$

где T – продолжительность смены, мин; t_{nz} – время общих подготовительно-заключительных операций, принимается равным 2,5 % от продолжительности смены, мин; t'_{nz} – время подготовительно-заключительных операций при бурении шпуров, принимается равным 9,5 % от продолжительности смены, мин; t_{om} – время на отдых проходчиков, принимается равным 10 % от продолжительности смены, мин; $t_{взр}$ – время на технологический перерыв на взрывные работы, принимается равным 12% от продолжительности смены, мин; n – число бурильных машин на установке; k_o – коэффициент одновременности работы бурильных машин, равный 0,78 при $n = 2$ и 0,73 при $n = 3$; $t_{ман}$ – время, затрачиваемое на манипулирование по установке и перестановке бурильных машин, обычно равно 0,25-0,5 мин на 1м шпура; $t_{об.х.}$ – время обратного хода бурильной головки на 1м шпура, м/мин; $t_{об.х.} = 1/V_{об.х.}$, здесь $V_{об.х.}$ – скорость обратного хода (м/мин), равная в среднем 20 м/мин; t_{κ} – время на замену коронок, 0,1 мин на 1 м шпура; v – чистая скорость бурения бурильной машиной (м/мин), зависящая от крепости пород.

Скорость бурения бурильной машины:

$$v = \frac{13400 \cdot A \cdot n}{d^2 (10 \cdot \sigma_{сж})^{0,59}}, \text{ мм/мин},$$

где A – энергия удара, Дж; n – частота удара, Гц; d – диаметр шпура, мм; $\sigma_{сж}$ – предел прочности породы на одноосное сжатие, МПа, т.е. $\sigma_{сж} = 10 \cdot f$,

МПа; f – коэффициент крепости горных пород по шкале проф. М.М. Прото-
дьяконова.

Модуль 10. Сменная эксплуатационная производительность (норма выра-
ботки) погрузочно-доставочных машин определяется по формуле [1]:

$$H_n = \frac{(T - t_{nz} - t_l) \cdot V \cdot K_3}{[t_o + t_g] \cdot k_{om} \cdot K_p}, \text{ м}^3/\text{смену},$$

где t_{nz} – продолжительность подготовительно-заключительных операций зави-
сящие от типа машины и равные 30 – 70 мин на смену; V – объем кузова или
ковша, м³; t_g – вспомогательных операций, связанных с маневрами машины,
штабелевкой горной массы, ее разрыхлением и разбивкой негабаритов, равное
0,8–3 мин/рейс (большее время относится к погрузочно-транспортным маши-
нам); t_o – время основных операций на рейс, определяется по формуле:

$$t_o = \frac{2 \cdot L}{v_c} + t_n + t_p, \text{ мин},$$

где L – расстояние транспортирования, м; v_c – средняя скорость транспор-
тирования, равная 75–80 м/мин; t_p – время разгрузки, в среднем равное 1 мин;
 t_n – время погрузки, равное для накопления ковша погрузочно-доставочных
машин 0,9–1,4 мин.; K_p – коэффициент разрыхления горной массы, равный
1,5–1,8.

Модуль 12. Коэффициент готовности K_2 может быть установлен по
формуле из [2]:

$$K_2 = \frac{Q_{сут}}{Q(T - t_{e.o})n_{p.см} - AQ_{сут}},$$

где $Q_{сут}$ – суточная проектная производительность горно-проходческого оборудо-
вания, шп.-м/сутки или м³/сутки; Q – эксплуатационная производительность за
смену, шп.-м/смену или м³/смену; T – продолжительность смены, ч; $t_{e.o}$ – регла-
ментированное время ежедневного обслуживания, ч; A – вероятность поломки
проходческого оборудования, доли ед.; $n_{p.см}$ – число смен в сутки.

Модуль 13. Трудоемкость бурения шпуров в забое установкой бурильной
шахтной:

$$\tau_{\sigma} = \frac{V_{\sigma}}{H_n}, \text{ чел-смен},$$

где V_{σ} – объем работ по бурению шпуров в забое, шп.-м;

Трудоемкость по погрузке горной массы, погрузочно-доставочной маши-
ны:

$$\tau_{2M} = \frac{V_{2M}}{H}, \text{ чел-смен},$$

где V_{2M} – объем горной массы полученный за один взрыв в забое, м³.

Модули 14, 17 обеспечивают пользователю удобство работы с программой и выполняют вспомогательную функцию.

Для имитационного моделирования были выбраны два варианта горно-проходческих комплексов, которые рекомендуется использовать в горно-геологических условиях ЗАО «Запорожский железорудный комбинат» (ЗАО «ЗЖРК») [1]. Первый вариант горно-проходческого комплекса состоит из установки бурильной шахтной типа Axera 5-126 (производства «SANDVIK TAMROCK», Финляндия) и погрузочно-доставочной машины PNE-2500 (производства «STROJARNE PRIEVIDZA», Словакия), а второй вариант - УБШ-312 А и погрузочная машина ПД-5А (производства Украина) (табл. 1 и 2)

Таблица 1

Техническая характеристика установок бурильных шахтных

Параметр	Axera 5-126	УБШ-312 А
Зона бурения (высота×ширина)	5,89×6,49	5,0×7,0
Коэффициент крепости буримых пород, f	≤ 20	6-20
Глубина бурения шпуров, м	$\leq 3,09$	$\leq 3,9$
Тип бурильной машины	HLX5, HL510	Б-106, Б-106А
Тип ходовой части	пневмошинный	пневмошинный
Длина, м	10,855	12,0
Ширина, м	1,75	2,0
Высота, м	2,1–3,1	2,5
Масса, т	12,0	15,5

Таблица 2

Техническая характеристика погрузочно-доставочных машин

Параметр	PNE-2500	ПД-5А
Грузоподъемность, т	6,0	6,0
Вместимость ковша, м ³	2,42	3,0
Высота разгрузки, м	1,6	1,525
Мощность привода, кВт	55	100,4
Радиус поворота, м	3,075	7,2
Длина, м	7,39	8,0
Ширина, м	1,65	2,2
Высота, м	2,0	1,85
Масса, т	18,6	15,0

Составим математическую модель работы проходческого оборудования с помощью программных пакетов Matlab и Simulink.

Пакет моделирования динамических систем Simulink предназначен для математического моделирования линейных и нелинейных динамических систем и устройств, представленных своей функциональной блок-схемой (рис. 2).

В нем реализованы принципы визуально-ориентированного программирования, что позволяет легко набирать нужные блоки и соединять их с целью составления модели системы или устройства.

Используя компоненты блок-схем, исследователь может переносить нужные компоненты блоков в окно редактора пакета Simulink и соединять линиями входы и выходы блоков. Таким образом, создается блок-схема моделируемой системы в Simulink. Часть блоков схемы представляет собой алгебраические и дифференциальные уравнения, а остальные блоки обеспечивают работу Simulink-модели.

При этом сложнейшие уравнения состояния, описывающие работу моделей систем или устройств, формируются автоматически, обеспечивая визуальный контроль за поведением созданной модели.

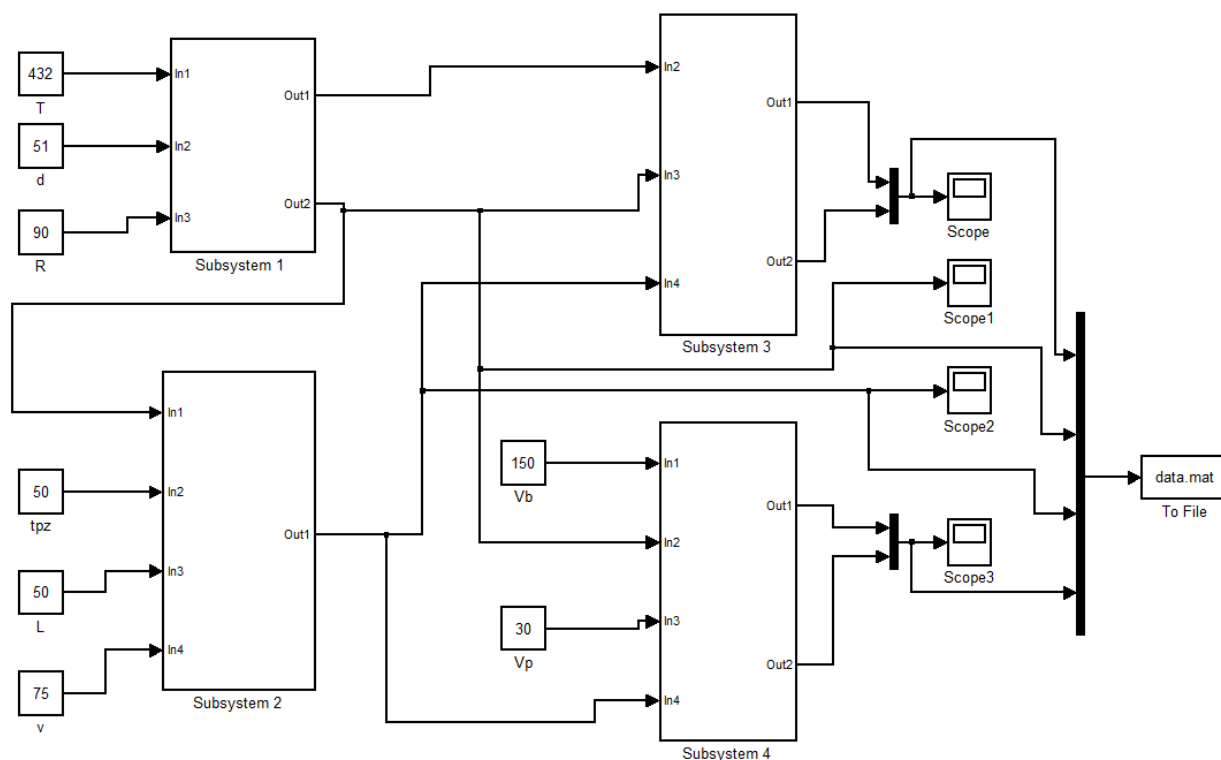


Рис. 2. Функциональная схема Simulink-модели

На рис. 2 представлены основные обозначения и переменные, использованные в математической модели: Subsystem 1 – производительность бурового оборудования, структура подсистемы показана на рис. 3, Subsystem 2 – производительность погрузочного оборудования, Subsystem 3 – коэффициент готовности оборудования, Subsystem 3 – определение трудоемкости. Блоки Constant – показывают исходные данные для модели. Результаты моделирования записываются в файл результатов с использованием блока To File, а также заносятся в блок Scope.

Ввод данных осуществлялся с командной строки, таблицы данных, а управление моделированием - с М-файлов в Simulink-модели.

Результаты имитационного моделирования были получены для условий эксплуатации Южно-Белозерского месторождение богатых железных руд. Характер изменения сменной производительности (нормы выработки) установки бурильной шахтной от изменения прочности горных пород представлен на рис. 3.

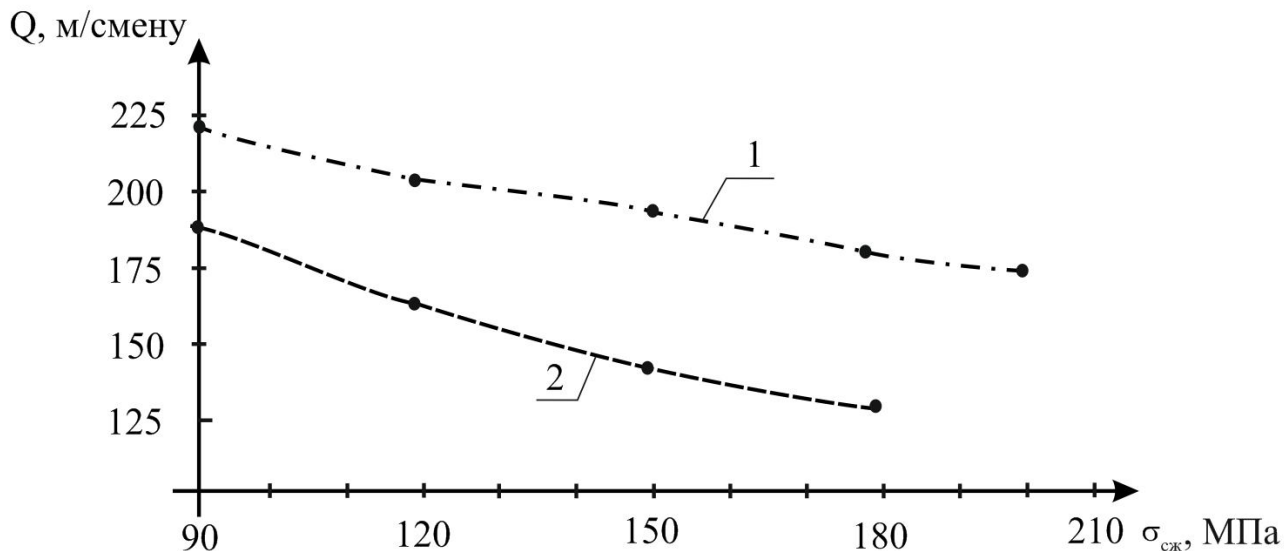


Рис. 3. График зависимости производительности установок бурильных шахтных от прочности пород: 1 – Axera 5-126; 2 – УБШ-312А

Из полученных зависимостей, представленных на рис. 3 видно, что производительность буровых машин уменьшается при увеличении прочности пород.

Характер изменения производительности машин погрузочных при погрузке 30 м³ горной массы от длины транспортирования представлен на рис. 4.

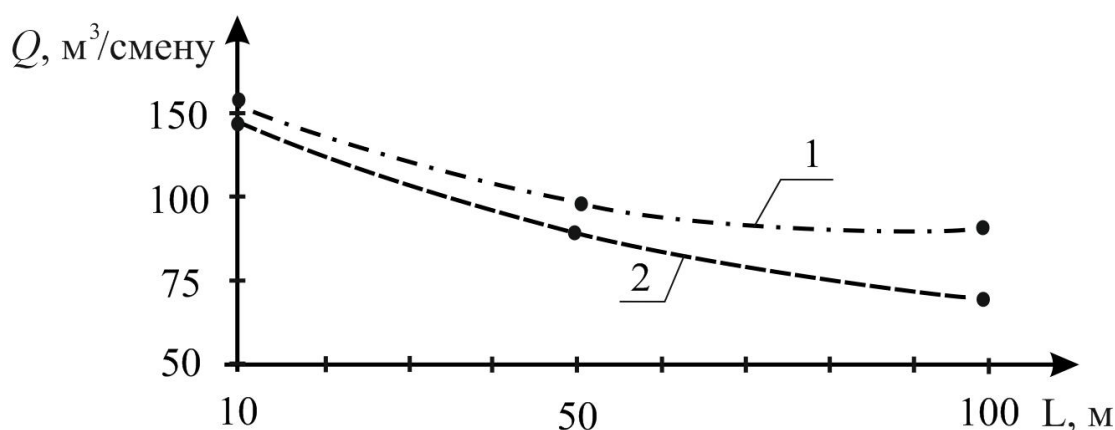


Рис. 4. График зависимости производительности погрузочно-доставочных машин от длины доставки: 1 – PNE-2500; 2 – ПД-5А

Из полученных зависимостей рис. 4 видно, что производительность погрузочных машин уменьшается при увеличении прочности пород.

Характер изменения коэффициента готовности бурового оборудования представлен на рис. 5.

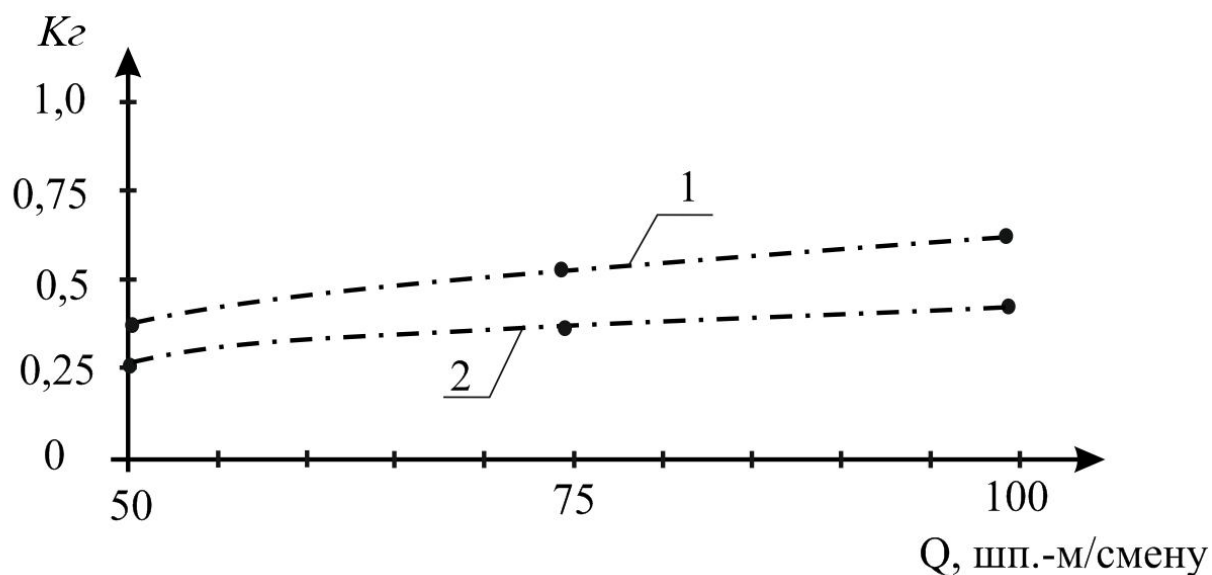


Рис. 5. График изменения коэффициента готовности от производительности установок бурильных шахтных: 1 – Ахега 5-126; 2 – УБШ-312 А

По зависимостям рис. 5 можно установить, что коэффициент готовности уменьшается при увеличении производительность установок бурильных шахтных.

Характер изменения коэффициента готовности погрузочных машин представлен на рис. 6.

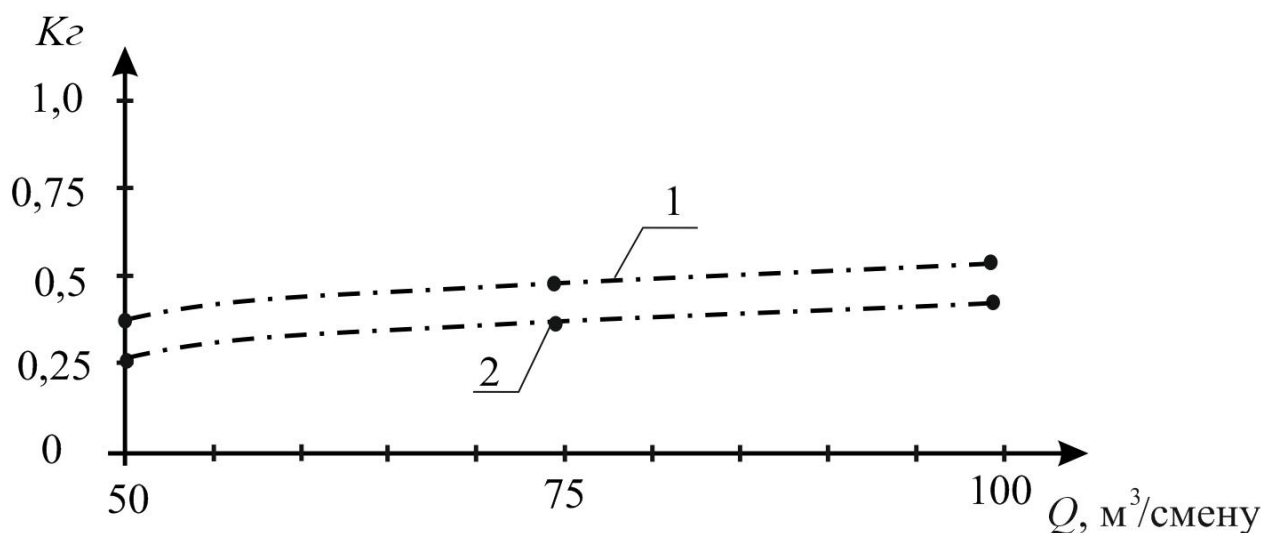


Рис. 6. График изменения коэффициента готовности от производительности погрузочно-доставочных: 1 – PNE-2500; 2 – ПД-5А

По зависимостям рис. 6 можно установить, что коэффициент готовности уменьшается при увеличении производительности погрузочно-доставочных машин.

Трудоемкость зависит от производительности горно-проходческого оборудования, а также от объема работ и для данных условий будет равняться:

- установка бурильная шахтная Ахера 5-126, $\tau_{\delta} = 0,44$ чел-смен;
- погрузочно-доставочная машина PNE-2500, $\tau_{2M} = 0,3$ чел-смен;
- установка бурильная шахтная УБШ-312А, $\tau_{\delta} = 0,62$ чел-смен;
- погрузочно-доставочная машина ПД-5А, $\tau_{2M} = 0,35$ чел-смен.

Из результатов моделирования работы двух вариантов горно-проходческого оборудования видно, что повышение прочности пород влияет на более высокопроизводительное буровое оборудование. При увеличении длины доставки горной массы более эффективны образцы импортного оборудования. Повышение производительности машин на коэффициент готовности существенного влияния не оказывает. Рациональный выбор оборудования позволяет повысить скорость проведения горных выработок и снизить трудоемкость горнопроходческих работ.

Список литературы

1. Хоменко О.Е. Горное оборудование для подземной разработки рудных месторождений [Текст]: справочное пособие / О.Е. Хоменко, М.Н. Кононенко, Д.В. Мальцев. 2-е изд. перераб. и доп. – Д.: Национальный горный университет, 2011. – 448 с.
2. Гетопанов В.Н. Проектирование и надежность средств комплексной механизации [Текст]: учебник для вузов / В.Н. Гетопанов, В.М. Рачек – М.: Недра, 1986. – 208 с

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бузилом В.І.
Надійшла до редакції 07.04.2014*

УДК 622.647.2:681.5

© А.Н. Смирнов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СТАВА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ РОЛИКООПОР

В работе решена задача определения живучести и интенсивности восстановления конвейерного става как системы параллельно соединенных элементов (роликоопор). При этом рассматривался став с роликоопорами четырех различных типов. В результате получены зависимости показателей надежности става ленточного конвейера, в частности, среднего количества замен роликов в смену от скорости ленты для рассмотренных типов роликоопор.

В роботі вирішена задача визначення живучості та інтенсивності відновлення конвеєрного става як системи паралельно з'єднаних елементів (роликоопор). При цьому розглядався став з роликоопорами чотирьох різних типів. В результаті одержана залежність показників надійності става стрічкового конвеєра, зокрема, середньої кількості заміни роликів в зміну від швидкості стрічки для розглянутих типів роликоопор.

The paper solves the problem of determination of durability and intensity of recover of conveyer framework as a system of the parallel connected elements (rollersupports). It was thus examined