

УДК 622.647.2

ЛОГИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА СУММАРНОГО ГРУЗОПОТОКА В УЗЛАХ СЛИЯНИЯ СИСТЕМЫ КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА ШАХТЫ

Пуханов А.А., старший преподаватель,
Красноармейский индустриальный институт ДонНТУ,
Будишевский В.А., канд. техн. наук, проф.,
Донецкий национальный технический университет

Построена логистическая модель определения и прогнозирования величины суммарных грузопотоков, находящихся в узлах слияния системы конвейерного транспорта в процессе вывоза угля из шахты на поверхность.

The article presents a logistic model for defining and predicting total traffics in the junction nodes of conveyor transport system in the process of coal transportation from mines.

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами. На современных, ориентированных на клиента, рынках конкурируют не отдельные предприятия, а цепи поставок: производственные и логистические сети. Эта тенденция связана с двумя факторами: стратегическим взаимодействием предприятий и формированием «сетевых» межорганизационных структур.

Современное состояние угольной промышленности характеризуется недостаточным уровнем научной организации управления производством. При этом исследование процессов формирования и движения грузопотоков отходит на второй план несмотря на то, что экономическая стабильность предприятия, а так же 80% общей стоимости продукта определяется эффективностью управления процессом производством.

Целью логистических подходов в управлении шахтным транспортом является эффективное управление материальными потоками, что основывается на количественных оценках характера протекания работ.

Анализ исследований и публикаций. Вопросам разработки логистических моделей материальных потоков в цепях поставок, использования методов имитационного моделирования, развития логистических подходов при решении проблем оптимизации запасов и

управления учета затрат посвящены исследования многих зарубежных и отечественных учёных. Так, задача построения логистической модели управления производственными ресурсами рассматривалась А.В. Мищенко, М.В. Могильницкой, Л.И. Федуловой; вопросы формирования системы углесбытовых органов в условиях перехода на бесфондовое обеспечение при прямых связях потребителей и поставщиков угля изучались в работах А.А. Решетняк, Е.В. Крикавского, Н.И. Чухрай; проблема оптимизации и повышения эффективности функционирования транспортно-складских систем исследовалась Г.И. Нечаевым, А.Н. Стерлинговой, В.М. Кургановым, И.П. Эльяшевичем, Дж. Шрайбфедером; вопросы инвестиционных решений и контроллинга в промышленной логистике рассмотрены В.И. Сергеевым, А.И. Федоренко, П.А. Терентьевым и др.

В работах Х.Таха, и Д. Уотерса рассматриваются транспортные модели основанные на теории массового обслуживания, которая позволяет иметь представление о динамике работы транспортной сети предприятия в любой момент времени. Однако, в этих работах, не решена проблема в плане прогнозирования работы транспортной сети, что является немаловажным фактором для эффективного управления транспортной системой влияющим на себестоимость угля.

В работах Ф. Хейта рассмотрена классическая транспортная задача для решения отдельных проблем транспортной сети некоторого предприятия, что не приемлемо для транспортной сети топливно-энергетического комплекса, которая имеет свои характерные особенности, связанные с наличием стационарных транспортных узлов, расположение которых неизменно.

Однако подчеркнуть, что имеющиеся аналитические методы технологических расчетов не охватывают экономические показатели процессов, протекающих в транспортных системах, и не обеспечивают их прогнозирование; практически не уделяется внимание разработке логистических моделей управления грузопотоками в транспортной системе горнодобывающего производства; не рассматриваются вопросы прогнозирования надежности функционирования транспортной сети топливно-энергетического комплекса, которая имеет свои характерные особенности, связанные с наличием стационарных транспортных узлов, расположение которых неизменно; не решается проблема прогнозирования экономических показателей работы транспортной сети, что является немаловажным фактором, влияющим на себестоимость угля [2], [5].

Односторонний подход свидетельствует о недостаточно глубоком понимании важности экономико-технологических показателей функционирования шахты для маркетинговой деятельности предприятия и проведения им экономически выгодной политики. Кроме того, система научной организации и управления производством направлена на обеспечение бесперебойной работы очистных и подготовительных забоев, интенсификацию процесса транспортирования, которая достигается прежде всего за счет уменьшения простоев и перерывов в процессе добычи угля и транспортирования, а также совмещение простоев в различных технологических звеньях, увязка производительности добычной и проходческой техники и пропускной способности транспортных магистралей [1].

В этой связи практический интерес представляет решение логистической проблемы расчета прогноза суммарного грузопотока в узлах слияния транспортной сети внутри шахты. Решение указанной проблемы позволит более эффективно управлять транспортной сетью топливно-энергетического комплекса, что в свою очередь сократит транспортные расходы на перевозку угля, снизит его себестоимость, а значит уменьшит стоимость продукции металлургических комбинатов и себестоимость выработки электроэнергии тепловыми электростанциями. Иными словами, величина потока денежных затрат шахтного производства полностью зависит от эффективного управления материальными потоками как всего топливно-энергетического комплекса так и его составляющих, т. е. грузопотоками отдельных его звеньев, в частности системы подземного транспорта. Данная проблема является одной из основных в концепциях управления цепями поставок, основанных на динамическом построении и ориентированных на заказ клиента.

Постановка задачи. В соответствии с вышеуказанной актуальной логистической проблемой шахтного производства поставим следующую задачу: исследовать величины суммарных грузопотоков \bar{f}_{Σ} , находящихся в узлах слияния системы конвейерного транспорта в процессе вывоза угля из шахты на поверхность.

В результате исследования получить логистическую модель определения и прогнозирования величины суммарного грузопотока \bar{f}_{Σ} в узлах слияния.

Основу логистической модели будет составлять логистический оператор, представляющий систему комплексных формул. Формулы логистического оператора позволят рассчитать интенсивность на-

грузки бункера и среднюю ожидаемую величину грузопотока, поступающего в бункер, накапливаемого в бункере и исходящего из бункера с учетом коэффициента поступления грузопотока.

В процессе исследования и построения логистической модели учитываем технические и технологические характеристики узлов слияния грузопотоков, в которых расположены бункеры непрерывного действия для перегрузки угля с конвейера на конвейер, аккумулирующие бункеры. Кроме того, рассмотрим узлы слияния, в которых происходит перегруз угля с одного конвейера на другой.

Разработка модели прогноза величины суммарного грузопотока в узлах слияния предусматривает построение логистической граф-модели внутришахтного транспорта. Построение логистической граф-модели базируется на изучении концентрации грузопотоков, которые связаны с вывозом угля и горной массы. Эти грузопотоки являются основными потоками в транспортной системе горно-энергетического комплекса.

Для решения поставленной задачи применим вероятностно-статистические методы с использованием числовых характеристик случайных величин, а также используем стандартную производственную информацию.

Изложение материала и результаты. Рассмотрим суммарные грузопотоки за периоды поступления в системе конвейерного транспорта учитывая при этом, что по каждой коммуникации конвейером транспортируются грузопотоки только одного вида продукта, в нашем случае – это уголь, и причем движение возможно только в одном направлении.

Как известно, грузопоток характеризуется длительностью периодов непрерывного поступления и отсутствия угля (рис.1). Поступающие в узел слияния грузопотоки из лавы и проходки являются прерывистыми марковскими. Поэтому при построении логистической модели основополагающим будем считать тот факт, что величина грузопотока за единицу времени зависит от периодов поступления, имеющие вероятностный, случайный характер. Определим среднюю ожидаемую длительность периодов отсутствия $\bar{\Delta}_{\Sigma}$ и поступления \bar{t}_{Σ} суммарных грузопотоков из лавы \bar{f}_{Σ}^o и проходки \bar{f}_{Σ}^n .

Предположим, что исследуемая величина изучалась в течение некоторого промежутка времени T , причем длительность промежутка T должна обеспечивать репрезентативность выборки исследуемых данных наблюдений. При этом учитываем следующее:

– проміжок часу T не включає час роботи першої зміни для лави, так як за технології шахтного виробництва перша зміна виконує тільки ремонтно-підготовчі роботи і не веде добування вугілля;

– технологічні особливості ведення підготовчих робіт – час і тривалість періоду надходження вантажопотоку вугілля з підготовчого забоя передбачено графіком планування робіт.

Нехай K_{ni} – коефіцієнт, що характеризує надходження i -го вантажопотоку. Тоді коефіцієнт надходження загального вантажопотоку, що визначає ймовірність надходження хоча б одного i -го вантажопотоку в вузол злиття, в тому випадку, коли вони є незалежними випадковими величинами:

$$K_{\Sigma} = 1 - \prod_i (1 - K_{ni}). \quad (1)$$

Визначимо періоди надходження і відсутності загального вантажопотоку.

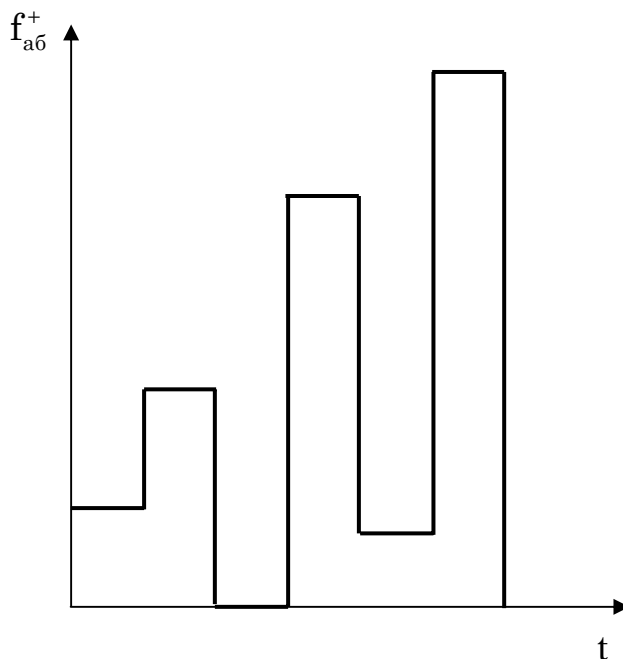


Рис. 1 - Графічна інтерпретація періодів надходження загального вантажопотоку в вузол злиття

Розв'язання цієї задачі спрощається, якщо спочатку визначити середню очікувану тривалість періодів відсутності загального вантажопотоку $\bar{\Delta}_{\Sigma}$. Очевидно, це стан виникає при збіганні періодів відсутності всіх сумовуваних вантажопотоків. В [3] доказа-

но, что распределение вероятности длительности грузопотока одновременного совпадения всех суммируемых импульсов является экспоненциальным законом с параметром

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_i \lambda_i. \quad (2)$$

С учетом экспоненциального распределения вероятностей получим плотность распределения вероятности длительности периодов отсутствия суммарного грузопотока Δ_{Σ} :

$$p(\Delta_{\Sigma}) = \mu_{\Sigma} e^{-\mu_{\Sigma} \Delta_{\Sigma}}, \quad \text{причем } \Delta_{\Sigma} = \sum_i \Delta_i, \quad (4)$$

где μ_{Σ} – параметр показательного закона распределения вероятности длительности периодов отсутствия суммарного грузопотока;

Δ_{Σ} – суммарная длительность периодов отсутствия суммарного грузопотока ;

Δ_i – длительность периода отсутствия i -го грузопотока.

Параметр μ_{Σ} для суммарного грузопотока равен

$$\mu_{\Sigma} = \sum_i \mu_i = \frac{1}{\Delta_{\Sigma}}. \quad (5)$$

Отсюда следует, что среднеожидаемая длительность периодов отсутствия $\bar{\Delta}_{\Sigma}$ суммарных грузопотоков из лавы \bar{f}_{Σ}^o и проходки \bar{f}_{Σ}^n соответственно

$$\bar{\Delta}_{\Sigma o} = \frac{1}{\sum_i \mu_{io}} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{\bar{\Delta}_{io}}}, \quad \bar{\Delta}_{\Sigma n} = \frac{1}{\sum_i \mu_{in}} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{\bar{\Delta}_{in}}}. \quad (6)$$

Таким образом, среднеожидаемая длительность периодов поступления \bar{t}_{Σ} суммарных грузопотоков из лавы \bar{f}_{Σ}^o и проходки \bar{f}_{Σ}^n составляет

$$\bar{t}_{\Sigma o} = \frac{\bar{\Delta}_{\Sigma} K_{\Pi}^{\Sigma o}}{1 - K_{\Pi}^{\Sigma o}}, \quad \bar{t}_{\Sigma n} = \frac{\bar{\Delta}_{\Sigma} K_{\Pi}^{\Sigma n}}{1 - K_{\Pi}^{\Sigma n}} \quad (7)$$

При определении плотности вероятности суммарного грузопотока $p(\bar{f}_{\Sigma}^o)$ из r очистных забоев выделим уровни интенсивности грузопотока, количество которых k определяется числом всевозможных комбинаций при слиянии r грузопотоков. Тогда

$$p(f_{\Sigma}^{\circ}) = \frac{1}{K_{\Sigma}} \sum_{m=1}^k p_m \cdot p_m(f_i), \quad (8)$$

где p_m – вероятность возникновения m -го уровня интенсивности;
 $p_m(f_i)$ – композиция законов распределения i -ых грузопотоков, составляющих m -ый уровень интенсивности.

Запишем плотность вероятности суммарного грузопотока для двух грузопотоков f_1 и f_2 имеем:

$$p(f_{\Sigma}^{\circ}) = \frac{1}{K_{\Sigma}} (K_1(1 - K_2)p(f_1) + K_2(1 - K_1)p(f_2) + K_1K_2p(f_1)p(f_2)) \quad (9)$$

В результате в общем случае получаем трехмодальное распределение. При равенстве суммируемых грузопотоков это распределение превращается в бимодальное. Поскольку грузопотоки из очистных забоев имеют нормальное распределение, то при свертке также получим нормальное распределение, математическое ожидание и дисперсия которого равны сумме математических ожиданий и дисперсий суммируемых грузопотоков для случая их независимости. При слиянии 4 и более грузопотоков с приблизительно одинаковыми параметрами грузопоток за периоды поступления приближается к нормальному закону распределения вероятностей.

Пусть к узлу слияния – аккумулялирующий бункер – движутся суммарные грузопотоки из очистных \bar{f}_{Σ}° и подготовительных \bar{f}_{Σ}^{Π} забоев. Входящий поток характеризуется законами распределения вероятностей периодов работы и простоев, средней производительностью за машинное время и вероятностью поступления. Учитывая принцип сохранения грузопотоков, исследуем его величину.

Различают участковые и магистральные бункеры. Участковые располагаются в пределах выемочной панели и в них поступает, как правило, один или два грузопотока. Магистральные бункеры, в том числе и бункеры в околоствольном дворе, пропускают через себя грузопотоки из большого числа очистных забоев. Значит, поступающие грузопотоки претерпевают многочисленные преобразования (рис. 2), которые приводят к существенному отклонению распределения его интенсивности от нормального. Это необходимо учитывать при разработке модели расчета величины грузопотоков перемещающихся системе подземного транспорта.

Рассмотрим узлы слияния, в которых расположены бункеры с питателями. Бункеры по производственному назначению могут быть

аккумулюючими или усредняющими. При работе добункерных и подбункерных конвейерных линий оба типа бункеров выполняют функции усреднения грузопотока (рис. 3).

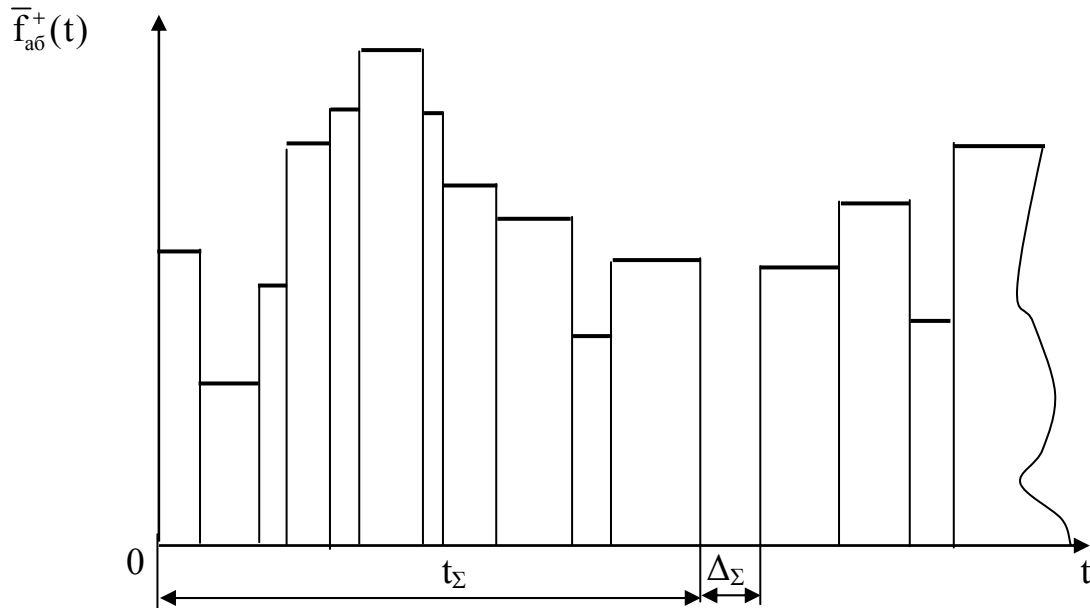


Рис. 2 - Преобразование грузопотоков при слиянии

Величина суммарного среднeminутного грузопотока, входящего в аккумулирующий бункер $\bar{f}_{a\delta}^+$:

$$\bar{f}_{a\delta}^+ = \bar{f}_{\Sigma o}^+ + \bar{f}_{\Sigma n}^+, \quad (10)$$

где $\bar{f}_{a\delta}^+$ – среднeminутный суммарный грузопоток, входящий в аккумулирующий бункер;

$\bar{f}_{\Sigma o}^+$ – суммарный среднeminутный грузопоток, поступающий в аккумулирующий бункер, из очистных забоев;

$\bar{f}_{\Sigma n}^+$ – суммарный среднeminутный грузопоток из подготовительных забоев, поступающий в аккумулирующий бункер.

Суммарный среднeminутный грузопоток угля, находящийся в бункере в момент затвора:

$$\bar{f}_{\Sigma a\delta} = \bar{f}_{a\delta}^+ + \bar{f}_{\Sigma 3}, \quad (11)$$

где $\bar{f}_{\Sigma a\delta}$ – суммарный среднeminутный грузопоток угля, находящийся в бункере;

$\bar{f}_{a\delta}^+$ – среднeminутный суммарный грузопоток, входящий в аккумулирующий бункер;

$\bar{f}_{\Sigma 3}$ – суммарный грузопоток (накопленный запас), находящийся в аккумулирующем бункере.

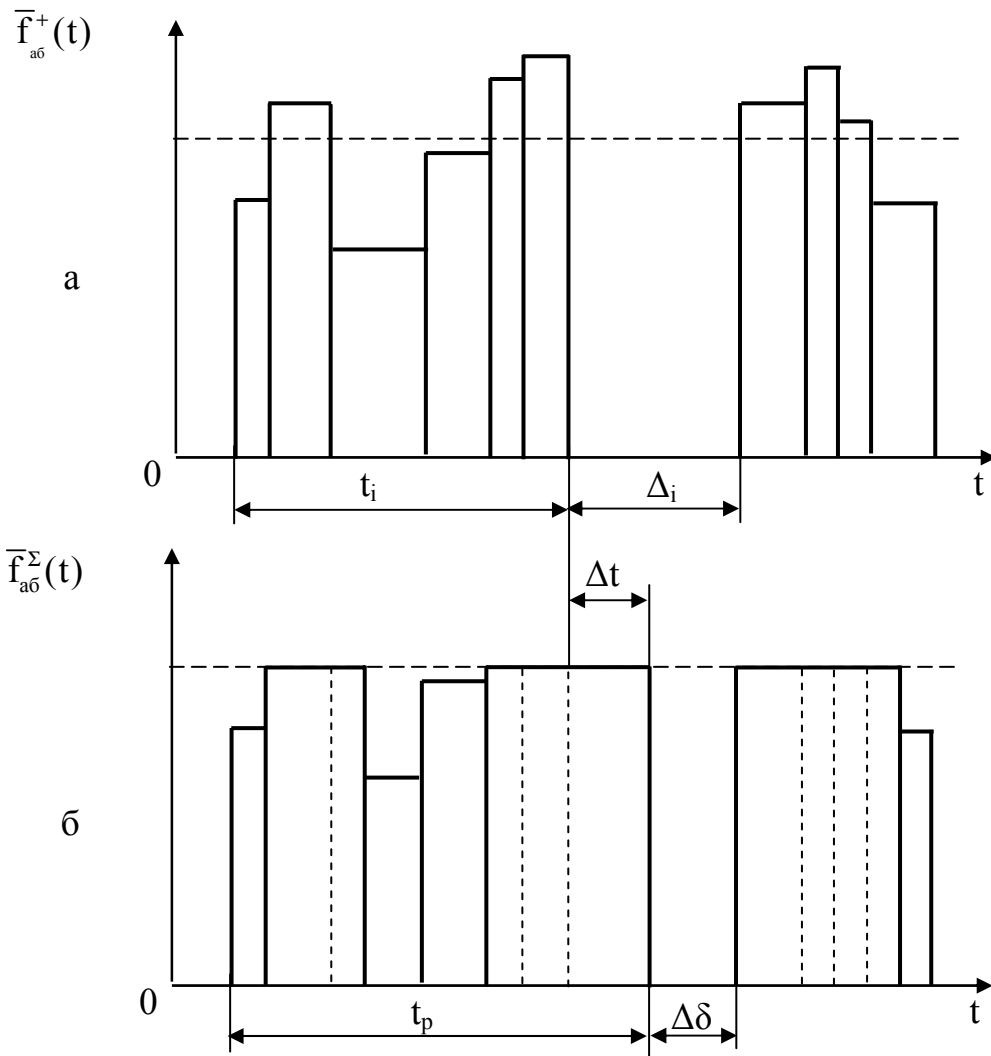


Рис. 3 - Преобразование грузопотоков при прохождении через бункер:
 а – добункерный грузопоток, б – преобразованный грузопоток

Расчет накопленного запаса угля определяем путем использования данных контроля заполнения и опорожнения бункеров. Контроль заполнения и опорожнения осуществляют с помощью приборов, которые показывают уровень материала в бункере – бункерные датчики.

Величина среднeminутного суммарного грузопотока, находящегося в аккумулярующем бункере, в момент работы питателя:

$$\bar{f}_{ab} = \bar{f}_{\Sigma ab}^+ + \bar{f}_{\Sigma z} - Q_{ab}, \quad (12)$$

где \bar{f}_{ab} – среднeminутный суммарный грузопоток, находящийся в аккумулярующем бункере;

\bar{f}_{ab}^+ – среднeminутный суммарный грузопоток, входящий в аккумулярующий бункер;

$\bar{f}_{\Sigma 3}$ – суммарный грузопоток, находящийся в аккумулирующем бункере (накопленный запас угля);

$Q_{аб}$ – производительность питателя.

Подача груза из аккумулирующего бункера на последующее оборудование технологической цепи осуществляется с помощью питателей, позволяет регулировать производительность и равномерность подачи груза. Величина среднеминутного суммарного грузопотока $\bar{f}_{аб}^-$, выходящего из аккумулирующего бункера, зависит как от величины суммарного входящего грузопотока и величины суммарного аккумулирующего грузопотока, так и от производительности питателя. Каждый тип питателя имеет соответствующую производительность $Q_{аб}$, которая указывается в техническом паспорте устройства.

При построении логистической модели расчета величины грузопотоков необходимо учитывать тот факт, что грузопоток по пути к магистральному бункеру или бункеру в околоствольном дворе претерпевает многочисленные преобразования, которые способствуют уменьшению коэффициента неравномерности, т.е. грузопоток становится более сглаженным [4].

Выводы и направление дальнейших исследований. Результаты эксперимента показали, что полученная модель достаточно точно аппроксимирует процесс совершенно аналогичный процессу формирования суммарных грузопотоков в узлах слияния после прохождении их через конвейерно-бункерную систему подземного транспорта. Средняя ошибка аппроксимации составляет 3,5%, остаточное среднеквадратическое отклонение соответственно $\sigma = 0,114$.

Научный подход к практическому управлению материальными грузопотоками в интегрированных логистических цепях топливно-энергетического комплекса оказывает существенное влияние на уровень обслуживания потребителей и величину издержек всей логистической системы. Использование логистических подходов позволит: уменьшить транспортные расходы на перевозку угля от поставщика сырья до конечного потребителя; определить концентрацию грузопотоков угля в любой момент времени в любом транспортном узле логистической цепи подземного транспорта топливно-энергетического комплекса; достаточно надежно прогнозировать работу транспортной сети; повысить эффективность управления цепями поставок на конкретном участке цепи; повысить производительность и безопасность горного производства.

Перспективами дальніших наукових досліджень являються розробки логістических моделей, способствующих значительному снижению объёму оперативных затрат в цепи создания стоимости, приходящихся на цепи поставок.

Перечисленные приложения не исчерпывают возможности разработанной модели. Практика показывает, что на основе данной имитационной модели можно решать большинство логістических задач. Дальнейшее совершенствование модели путем апробации на новых задачах позволит очертить более широкий круг возможных приложений.

Список источников.

1. Будишевский В.А., Пуханов А.А., Пуханова Л.С. Экономические аспекты управления запасами угля в логістических системах топливно-энергетического комплекса / Будишевский В.А., Пуханов А.А., Пуханова Л.С. // Наук. пр. Донецького нац.техн.ун-ту. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – Вип. 100-1.– С.173-178. – (Серія «Економічна»)
2. Буэрскос Доналд Дж., Клосс Дейвид Дж. Логістика. Интегрированная цепь поставок / Буэрскос Доналд Дж., Клосс Дейвид Дж.; пер. с англ.– М.: «Олимп-Бизнес», 2005.– 640с. – Библиогр.: с. 635–638. – ISBN 5-3522-0222-2.
3. Зарубин В.С. Математическое моделирование в технике / В.С. Зарубин. – М.: МГТУ, 2001. – 496с. – Библиогр.: с. 402–405. – ISBN 5-7038-1435-9.
4. Резниченко С.С. Математические методы и моделирование в горной промышленности: учеб. Пособ / С.С. Резниченко, А.А. Ашихмин. – М.: Московский государственный горного университет, 2001. – 404 с. – Библиогр.: с. 397–399. – ISBN 5-7418-0051-3.
5. Уотерс Д. Логістика: управление цепью поставок / Д. Уотерс; пер. с англ.– М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 503с. – Библиогр.: с. 499–501. – ISBN 5-6933-0101-2.

Дата поступления статьи в редакцию: 10.11.08