

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., кан. 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 logistic model of determination of total traffics of goods, being in the knots of confluence in the process of export of coal from a mine on a surface is developed

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, которое 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 прогнозирования работы транспортной сети, что является немаловажным экономическим фактором 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.

Следует особо подчеркнуть, что имеющиеся аналитические методы технологических расчетов не отображают экономические показатели технологических 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; не решается проблема прогнозирования экономических показателей работы транспортной сети, что является немаловажным фактором, влияющим на себестоимость угля [2], [5].

Односторонний подход свидетельствует о недостаточно глубо-

ком 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, что достигается прежде всего за счет уменьшения простоев и перерывов в процессе добычи угля и его транспортировании, совмещении простоев в различных технологических звеньях, увязки производительности добычной и проходческой техники, а также пропускной способности транспортных магистралей [1].

В этой связи практический интерес представляет решение логистической проблемы 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 выше указанной 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 нагрузки бункера и средне ожидаемую величину грузопотока, поступающего в бункер, накапливаемого в бункере и исходящего из бункера.

ра 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:

– промежуток времени T не включает время работы первой смены для лавы, так как по технологии шахтного производства первая

смена осуществляет только ремонтно-подготовительные работы и не ведет добычу угля;

– технологические особенности ведения подготовительных работ – время и длительность периода поступления грузопотока угля из подготовительного забоя предусмотрено графиком планограммы работ.

Пусть K_{ni} – коэффициент поступления i -го грузопотока. Тогда коэффициент поступления суммарного грузопотока, определяющий вероятность поступления хотя бы одного i -го грузопотока в узел слияния, равен:

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

Определим периоды поступления и отсутствия суммарного грузопотока.

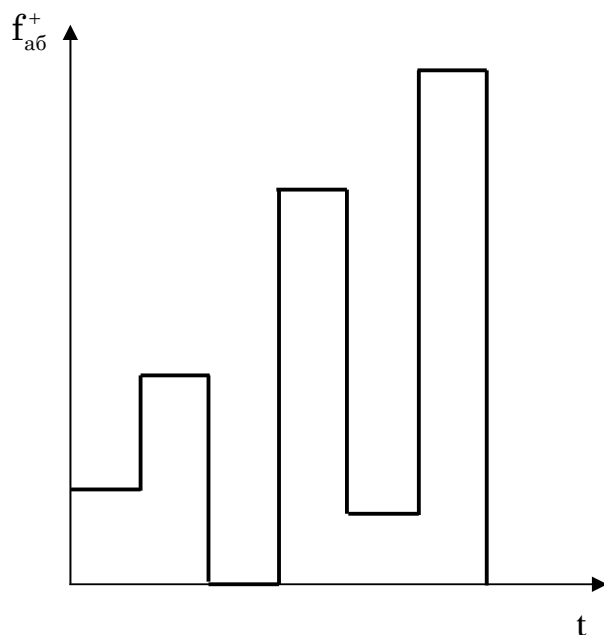


Рис. 1 Графическая интерпретация периодов поступления суммарного грузопотока в узел слияния

Решение этой задачи упрощается, если сначала определить среднюю ожидаемую длительность периодов отсутствия суммарного грузопотока $\bar{\Delta}_\Sigma$. Очевидно это состояние возникает при совпадении периодов отсутствия всех суммируемых грузопотоков. В [3] доказано, что распределение длительности потока одновременного совпадения всех суммируемых импульсов является экспоненциальным с параметром

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

С учетом экспоненциального распределения получим плотность распределения 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 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, средне ожидаемая длительность периодов отсутствия $\bar{\Delta}_{\Sigma}$ суммарных грузопотоков из лавы \bar{f}_{Σ}^o и проходки \bar{f}_{Σ}^n соответственно равна

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

Значит средне ожидаемая длительность периодов поступления \bar{t}_{Σ} суммарных грузопотоков из лавы \bar{f}_{Σ}^o и проходки \bar{f}_{Σ}^n составляет:

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

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

$$p(\bar{f}_{\Sigma}^o) = \frac{1}{K_{\Sigma}^{\Sigma}} \sum_{m=1}^k p_m \cdot p_m(f_i), \quad (8)$$

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:

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

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. При слиянии 4 и более грузопотоков с приблизительно одинаковыми параметрами грузопоток за периоды поступления приближается к нормальному.

Пусть к узлу слияния – аккумулялирующий бункер – движутся суммарные грузопотоки из очистных \bar{f}_{Σ}^o и подготовительных \bar{f}_{Σ}^n забоев. Входящий поток характеризуется законами распределения периодов работы и простоев, средней производительностью за машинное время и вероятностью поступления. Учитывая принцип сохранения, 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 аккумулялирующими или усредняющими. При работе добункерных и подбункерных конвейерных линий оба типа бункеров выполняют функции усреднения грузопотока (рис. 3).

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

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

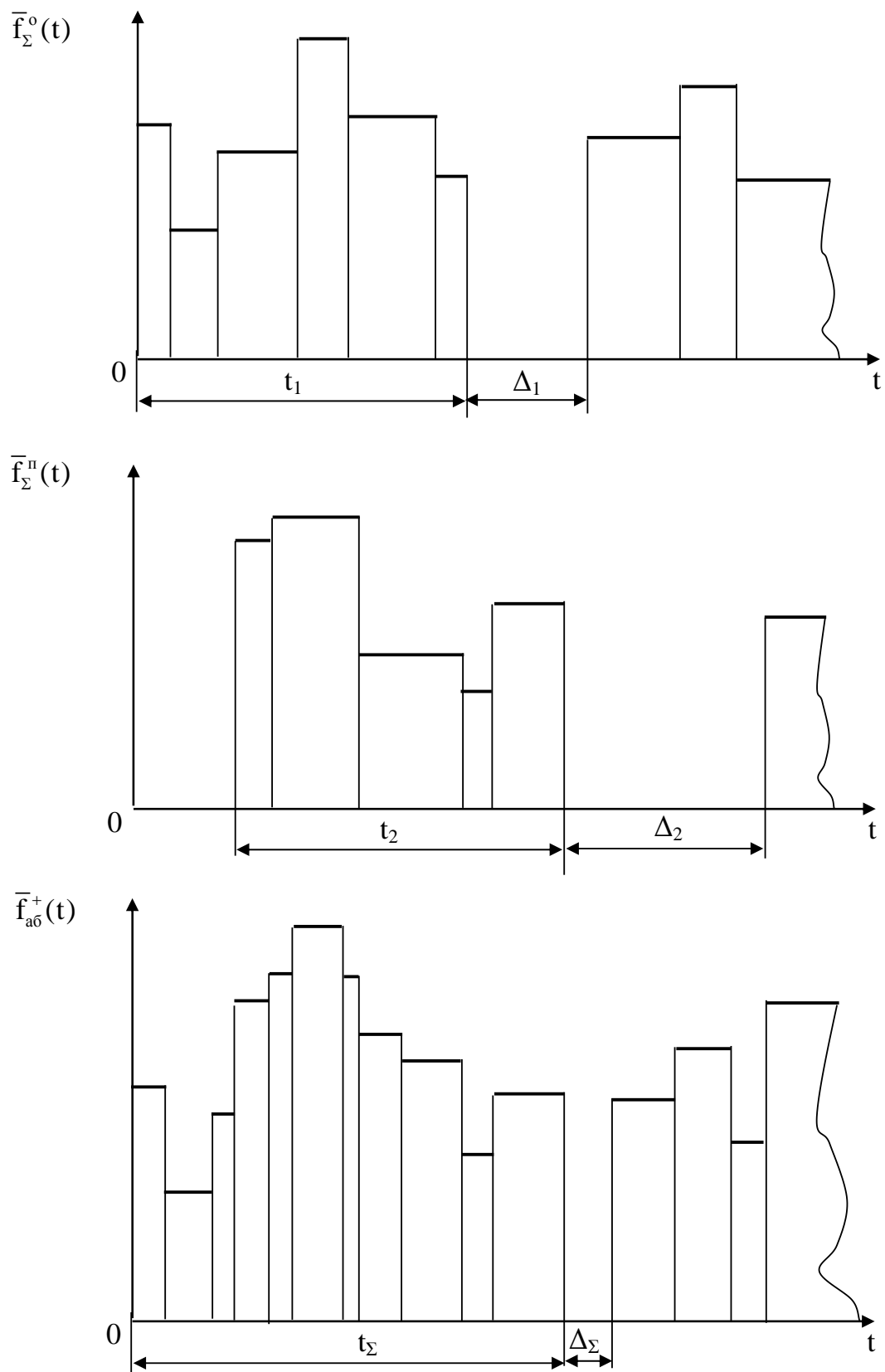


Рис. 2 Преобразование грузопотоков при слиянии

где \bar{f}_{a6}^+ – среднeminутный суммарный грузопоток, входящий в аккумулирующий бункер;
 \bar{f}_{Σ}^o – суммарный среднeminутный грузопоток, поступающий в аккумулирующий бункер, из очистных забоев;
 \bar{f}_{Σ}^n – суммарный среднeminутный грузопоток из подготовительных забоев, поступающий в аккумулирующий бункер.

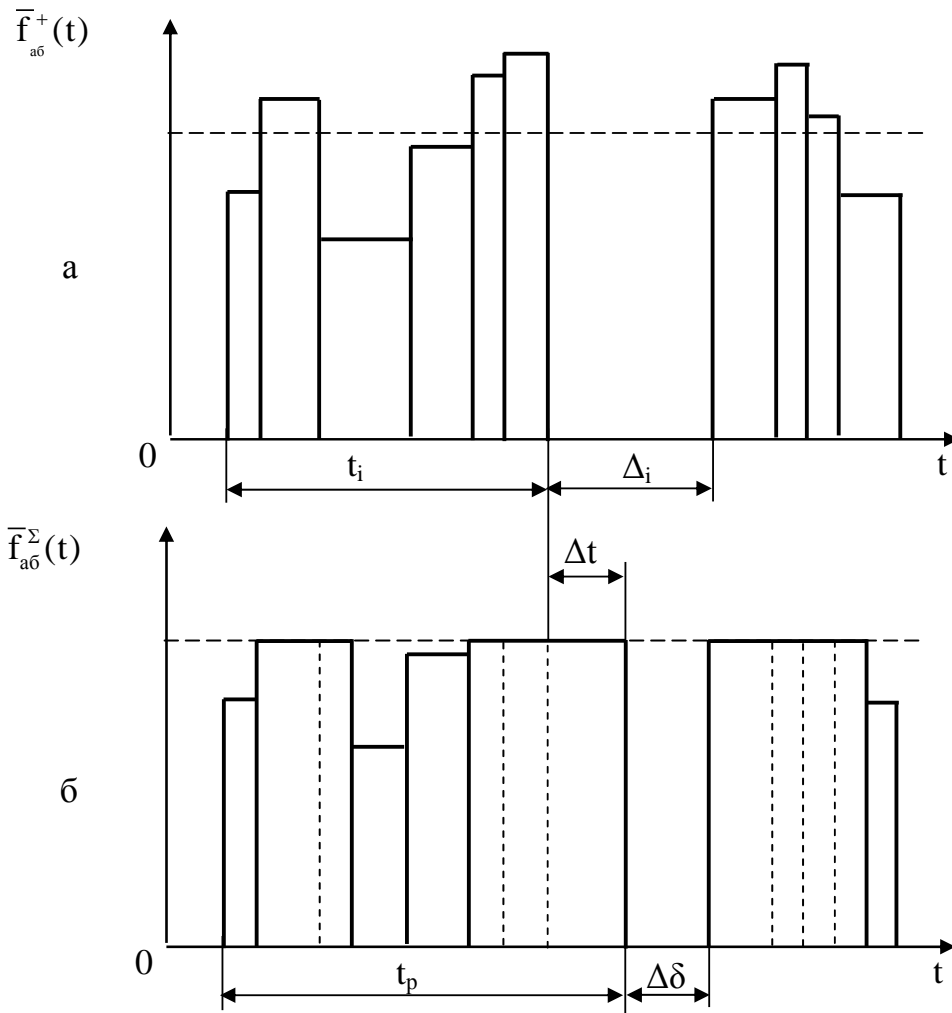


Рис. 3 Преобразование грузопотоков при прохождении через бункер: а – добункерный грузопоток, б – преобразованный грузопоток

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

$$\bar{f}_{\Sigma a6} = \bar{f}_{a6}^+ + \bar{f}_{\Sigma 3}, \quad (11)$$

где $\bar{f}_{\Sigma a6}$ – суммарный среднeminутный грузопоток угля, находящийся в бункере;

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

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

Расчет накопленного запаса угля можно определить используя данные контроля заполнения и опорожнения бункеров. Контроль заполнения и опорожнения осуществляют с помощью приборов, которые показывают уровень материала в бункере – бункерные датчики.

Определим величину среднeminутного суммарного грузопотока, находящегося в аккумулирующем 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 аккумулирующем бункере;

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

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

Q_{ab} – производительность питателя.

Подача груза из аккумулирующего бункера на последующее оборудование технологической цепи осуществляется с помощью питателей, позволяет регулировать производительность и равномерность подачи груза. Величина среднeminутного суммарного грузопотока \bar{f}_{ab}^- , 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_{ab} , 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 средне квадратическое 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 дальнейших научных исследований являются разработки логистических моделей, способствующих значительному снижению объёма 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 логистических 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 логистических 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. Логистика. 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. – 404с. – Библиогр.: с. 397–399. – ISBN 5-7418-0051-3.
5. Уотерс Д. Логистика: управление цепью поставок / Д. Уотерс; пер. с англ.– М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 503с. – Библиогр.: с. 499–501. – ISBN 5-6933-0101-2.