

В.А. Будишевский, А.А. Пуханов

ПОСТРОЕНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА ВЕЛИЧИНЫ ГРУЗОПОТОКА УГЛЯ ВНУТРИШАХТНОГО ТРАНСПОРТА

Изложен вероятностно-статистический метод построения логистической модели прогноза величины грузопотока внутришахтного транспорта из очистных забоев с использованием стандартной производственной информации. Рис. 2, ист. 5.

Постановка проблемы. Несмотря на некоторые успехи в угольной национальной промышленности, современный уровень ее развития характеризуется во многом устаревшими производственными факторами и технологиями, отсутствием системы научной организации управления производством. При этом проблема моделирования процессов движения грузопотоков и цепей поставок (ЦП) отходит на второй план несмотря на то, что процесс моделирования цепи является чрезвычайно важным, так как затраты на транспортно-складские операции составляют от 7% до 30% общей стоимости продукта, а в некоторых случаях и больше [1], [3].

В транспортной системе топливно-энергетического комплекса основными грузопотоками являются грузопотоки, которые связаны с вывозом угля и горной массы. Поэтому, повышение эффективности функционирования внутришахтного транспорта – одно из основных направлений повышения финансовой стабильности угольного предприятия и рентабельности его производства. Величина потока денежных затрат полностью зависит от эффективного управления транспортной сетью топливно-энергетического комплекса и потоками в ней.

Подземный транспорт шахты является составной частью производственных систем и представляет собой многозвенную разветвленную систему, состоящую из разнотипных транспортных установок циклического и непрерывного действия и функционирующую в сложных горногеологических условиях. Конфигурация сети подземных транспортных выработок, соединяющая очистные и подготовительные забои со стволом и поверхностью, зависит от количества, длины, взаимного расположения горизонтальных и наклонных выработок, числа и расположения погрузочных и обменных пунктов, средств транспорта, применяемых на отдельных последовательных звеньях и их стыках.

Задача повышения эффективности управления транспортной системой горнодобывающего предприятия, прежде всего, сводится к оптимизации функционирования каждого звена транспортной цепи подземного транспорта, которые с учетом транспортных тарифов, маршрутизации движения транспорта, контроля и управления за перемещением грузопотоков на транспортных установках, обеспечивали бы в конкретных горнотехнических условиях наилучшие технико-экономические показатели работы всего внутришахтного транспорта.

На уровне предприятия достаточно тесно переплетены задачи технологического и экономического управления: потребителю необходимо доставить уголь нужного качества, необходимого количества, в нужное место, в определенное время с минимальными расходами. Это – постулат логистического построения любой экономической системы, в том числе и топливно-энергетического комплекса. Нарушение хотя бы одного требования логистиче-

ской системы приводит к увеличению себестоимости угля и расходов на его сохранение. Поэтому эффективная организация работы подземного транспорта горнодобывающего предприятия является одной из задач логистики на предприятии в целом и осуществляется совместно с решением производственных задач. Цель логистических подходов в управлении шахтным транспортом – эффективное управление материальными потоками.

Низкий уровень развития теории систем подземного транспорта и аналитических методов расчета технологических параметров и показателей функционирования в значительной степени обусловил низкие эксплуатационные качества этих систем и стал тормозом на пути их совершенствования. В этой ситуации научный и практический интерес представляет решение одной из основных проблем – развитие аналитических методов определения и прогнозирования величины грузопотока угля расчетным путем с использованием стандартной производственной информации, содержащейся в производственных отчетах и в технологическом паспорте очистного и проходческого забоев. Разработка основ комплексного математического моделирования технологических процессов в системах подземного транспорта является актуальной современной научной проблемой.

Анализ последних исследований. 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 Дж.Р. Стока, Д.М. Ламберта и Д. Уотерса рассматриваются транспортные модели основанные на теории массового обслуживания, которые позволяют иметь представление о динамике работы транспортной сети предприятия в любой момент времени, а в работе Ф. Хейта рассмотрена классическая транспортная задача для решения отдельных проблем транспортной сети некоторого предприятия. Однако, несмотря на значимость развития угольной промышленности для национальной экономики в научно-исследовательской литературе 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].

Изложение материала и результаты исследования.

Определим один из важных экономико-технологических параметров, сохраняющийся в операторе планирования и функционирования производства, – прогнозируемая величина грузопотока, выходящего из очистного забоя за любой

промежуток времени Δt . Для этого представим описание производственного процесса в виде математической модели. В основу математической модели положим логистический оператор, представляющий систему формул.

В имеющейся научной литературе показано, что коэффициент поступления грузопотока K_n может быть определен как функция коэффициента машинного времени K_m [2]. Однако, полученные расчеты не учитывают случайный характер периодов поступления и величины грузопотока за единицу времени (рис.1). При построении модели прогноза грузопотоков этот вероятностный факт является основополагающим.

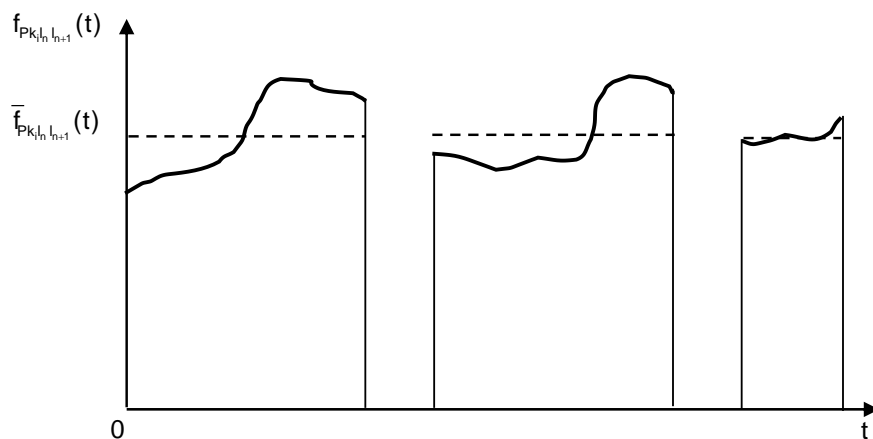


Рис. 1. Графическое представление импульсов грузопотока

Рассмотрим длительности периодов поступления грузопотоков угля из лавы. Как известно, грузопоток угля из лавы характеризуется длительностью периодов непрерывного поступления и отсутствия угля (рис.2). Результаты эксперимента показывают, что длительности периодов поступления \bar{t}_p и отсутствия $\bar{\Delta}$ грузопотока распределены по показательному закону. Эти характеристики многократно проверены и являются общепринятыми. Поэтому, плотности распределения длительностей периодов поступления и отсутствия грузопотоков имеют соответственно вид:

$$p(t_p) = \frac{1}{\bar{t}_p} e^{-\frac{t_p}{\bar{t}_p}} \quad (1)$$

и

$$p(\Delta) = \frac{1}{\bar{\Delta}} e^{-\frac{\Delta}{\bar{\Delta}}} \quad (2)$$

Для решения поставленной логистической задачи применим вероятностно-статистические методы с использованием числовых характеристик случайных величин. Обозначив значение прогнозируемой величины минутного грузопотока

$\bar{f}_{p_k l_h l_{n+1}}^{cm.o}(t)$ в период поступления из лавы в течение смены при комбайновой челноковой выемке, получим

$$\bar{f}_{p_k l_h l_{n+1}}^{cm.o}(t) = \frac{\bar{A}_{cm.o}^o}{t_{cm.p}^o}, \quad (3)$$

где $\bar{A}_{cm.o}^o$ – значение ожидаемой среднесменной добычи угля из очистного забоя;
 $t_{cm.p}^o$ – ожидаемое время работы добычной машины;
 t – время наблюдения.

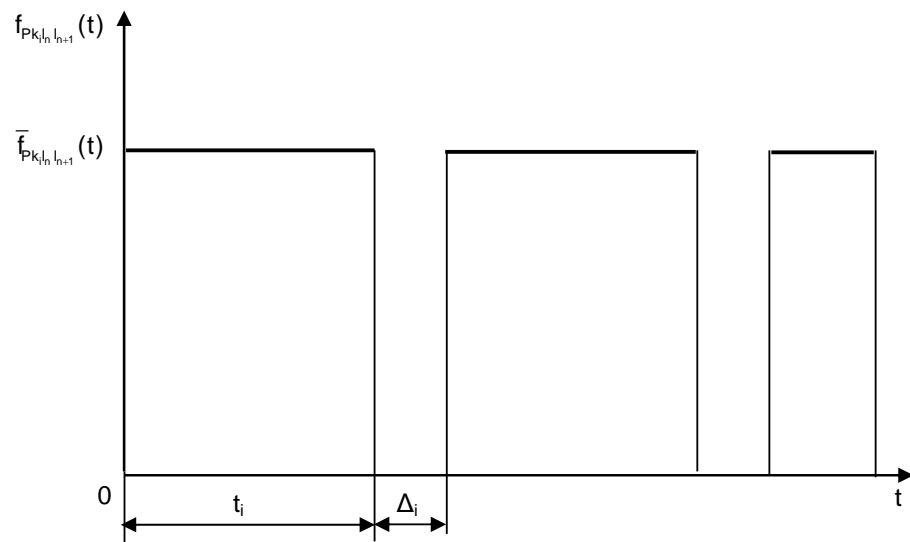


Рис. 2. Графическая модель усредненного грузопотока

При определении величины грузопотоков минимальным временным интервалом будем считать минуту.

Параметры, входящие в формулу (3), содержат достаточно полную вероятностную информацию об изменчивости величины минутного грузопотока в период поступления из лавы в течение смены. Их текущие значения представлены данными отчета о выполнении плана по добыче угля за смену, также данными планограммы работ. Указанные величины являются характеристикой средних значений, а средние аналитические величины характеризуют значение признака и центральную тенденцию распределения плотности вероятности.

Предполагаем, что исследуемая величина изучалась в течение некоторого промежутка времени T , причем длительность промежутка T должна обеспечивать репрезентативность выборки исследуемых данных наблюдений. Кроме того, промежуток времени T не включает время работы первой смены, так как по технологии шахтного производства первая смена осуществляет только ремонт-

но-подготовительные работы и не ведет добычу угля.

Значение прогнозируемой сменной добычи угля из очистного забоя можно найти из соотношения:

$$\bar{A}_{\text{см.}}^{\circ} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{\text{см.}i}^{\circ} \cdot n_i}{n}, \quad (4)$$

где $A_{\text{см.}i}^{\circ}$ – величина фактического i -го сменного грузопотока, взятая из отчетов предприятия о выполнении плана по добыче угля за смену;

n_i – частота изучаемого признака в выборке из n смен;

n – число смен за исследуемый период времени T , причем объем данных наблюдений обеспечивает репрезентативность выборки и

$$n = \sum_i n_i.$$

Величина прогнозируемой продолжительности работы очистного забоя за смену равна средне ожидаемому значению:

$$\bar{t}_{\text{см.}p}^{\circ} = \frac{\sum_{j=1}^n t_{\text{см.}p,j}^{\circ} \cdot n_j}{n}, \quad (5)$$

где $t_{\text{см.}p,j}^{\circ}$ – значение продолжительности периода работы j -й смены очистного забоя;

n_j – частота изучаемого признака в выборке из n смен;

n – число смен за исследуемый период времени T , причем объем данных наблюдений обеспечивает репрезентативность выборки и

$$n = \sum_i n_i.$$

С учетом формул (3) – (5), можно найти прогнозируемую величину среднeminутного грузопотока в периоды поступления угля из лавы в течение смены:

$$\bar{f}_{p,k_1n,h_{n+1}}^{\circ}(t) = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n A_{\text{см.}i}^{\circ} \cdot n_i}{n}}{\frac{\sum_{j=1}^n t_{\text{см.}p,j}^{\circ} \cdot n_j}{n}} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{\text{см.}i}^{\circ} \cdot n_i}{\sum_{j=1}^n t_{\text{см.}p,j}^{\circ} \cdot n_j}. \quad (6)$$

Учитывая формулы (4) – (6), запишем формулу для нахождения ожидаемой (прогнозируемой) величины среднесуточного грузопотока $\bar{f}_{p,k_1n,h_{n+1}}^{\text{сут.}\circ}(t)$ в период поступления из лавы при комбайновой челноковой выемке:

$$\bar{f}_{p,k_1n,h_{n+1}}^{\text{сут.}\circ}(t) = \frac{\bar{A}_{\text{сут.}}^{\circ}}{\bar{t}_{\text{сут.}p}^{\circ}}, \quad (7)$$

где $\bar{A}_{\text{сут.}}^{\circ}$ – значение ожидаемой среднесуточной добычи угля из очистного забоя;

$\bar{t}_{\text{сут.р}}^{\circ}$ – значение ожидаемой среднесуточной продолжительности работы добычной машины, мин.

Найдем прогнозируемый среднесуточный объем добычи угля из очистного забоя, равный средне ожидаемому значению:

$$\bar{A}_{\text{сут.}}^{\circ} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{\text{сут.и}}^{\circ} \cdot n_i}{n}, \quad (8)$$

где $A_{\text{сут.и}}^{\circ}$ – величина фактического i-го суточного грузопотока, взятая из отчетов предприятия о выполнении плана по добыче угля за сутки;

n_i – частота изучаемого признака в выборке из n суток за исследуемый период времени T;

n – число суток в исследуемом периоде времени T, причем $n = \sum_i n_i$.

Ожидаемое значение средней продолжительности работы добычной машины за сутки, с учетом вероятностного характера, можно определить следующим образом:

$$\bar{t}_{\text{сут.р}}^{\circ} = \frac{\sum_{j=1}^n t_{\text{сут.р.ж}}^{\circ} \cdot n_j}{n_{\text{сут.}}}, \quad (9)$$

где $t_{\text{сут.р.ж}}^{\circ}$ – значение продолжительности периода работы в течение j-х суток очистного забоя;

n_j – частота изучаемого признака в выборке из n суток;

$n_{\text{сут.}}$ – число суток в исследуемом периоде времени T.

На основании формул (7), (8) и (9) составим комплексную формулу, которая позволяет определить значение величины среднесуточного грузопотока $\bar{f}_{\text{р.к.и.н.т.н-1}}^{\text{сут.о}}(t)$ в периоды случайного поступления угля из лавы при комбайновой челноковой выемке:

$$\bar{f}_{\text{р.к.и.н.т.н-1}}^{\text{сут.о}}(t) = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n A_{\text{сут.и}}^{\circ} \cdot n_i}{n}}{\frac{\sum_{j=1}^n t_{\text{сут.р.ж}}^{\circ} \cdot n_j}{n}} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{\text{сут.и}}^{\circ} \cdot n_i}{\sum_{j=1}^n t_{\text{сут.р.ж}}^{\circ} \cdot n_j}. \quad (10)$$

Тогда прогнозируемая величина грузопотока, выходящего из лавы, за любой промежуток времени Δt рабочей смены будет равна:

$$q(\Delta t) = \bar{f}_{p,k,l,h_{n+1}}^{cm,o}(t) \cdot \bar{t}_p, \quad (11)$$

где $q(\Delta t)$ – ожидаемая величина суммарного грузопотока, выходящего из лавы, за промежуток времени Δt рабочей смены;

\bar{t}_p – ожидаемое время работы добычной машины в течение исследуемого времени;

Δt – промежуток времени рабочей смены, в течение которого определяется величина суммарного грузопотока.

Прогнозируемое время работы добычной машины \bar{t}_p в течение исследуемого времени находим по формуле:

$$\bar{t}_p = K_n^o \cdot \Delta t, \quad (12)$$

где K_n^o – коэффициент поступления грузопотока угля из очистного забоя в течение исследуемого промежутка времени.

Учитывая тот факт, что процесс поступления и отсутствия грузопотока является случайным, находим вероятностную величину K_n^o – коэффициент поступления грузопотока из очистного забоя в течение смены [4]:

$$K_n^o = \frac{\bar{t}_{cm,p}^o}{\bar{t}_{cm,p}^o + \bar{\Delta}_{cm}^o}, \quad (13)$$

где K_n^o – коэффициент поступления грузопотока из очистного забоя в течение смены;

$\bar{t}_{cm,p}^o$ – средне прогнозируемая продолжительность работы очистного забоя в течение смены;

$\bar{\Delta}_{cm}^o$ – средне прогнозируемая продолжительность отсутствия работы очистного забоя в течение смены, причем $\bar{\Delta}_{cm}^o = T_{cm} - \bar{t}_{cm,p}^o$;

T_{cm} – продолжительность рабочей смены.

Следует заметить, что параметр K_n^o имеет следующее ограничение: $0 \leq K_n^o \leq 1$, причем $K_n^o = 0$, если на производстве аварийная ситуация, которая предполагает отсутствие возможности работы очистного забоя в течение смены; $K_n^o = 1$, если простоев нет.

Прогнозируемая величина суммарного грузопотока, выходящего из очистного забоя в течение рабочей смены равна:

$$q(\Delta t) = \bar{f}_{p,k,l,h_{n+1}}^{cm,o}(t) \cdot K_n^o \cdot \Delta t = \frac{\sum_{i=1}^n A_{cm,i}^o \cdot n_i}{\sum_{j=1}^n \bar{t}_{cm,p,j}^o \cdot n_j} \cdot \frac{\bar{t}_{cm,p}^o}{T_{cm}} \cdot \Delta t. \quad (14)$$

Возможности модели прогноза величины суммарного грузопотока, выхо-

дящего из очистного забоя в течение рабочей смены, можно расширить, если за расчетное время принять промежуток времени, исчисляемый сутками или промежуток времени, исчисляемый сутками без учета времени работы первой смены. В результате получим:

$$q(\Delta t) = \bar{f}_{p, k_n, h, h+1}^{\text{сут.о}}(t) \cdot K_n^o \cdot \Delta t = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{A}_{\text{сут.и}}^o}{\sum_{j=1}^n t_{\text{сут.п.ж}}^o \cdot n_j} \cdot \frac{\bar{t}_{\text{сут.п}}^o}{3T_{\text{см.}}} \cdot \Delta t, \quad (15)$$

где $q(\Delta t)$ – ожидаемая величина грузопотока;

$\bar{t}_{\text{сут.п}}^o$ – прогнозируемая продолжительность работы очистного забоя в течение суток;

$\bar{\Delta}_{\text{сут.}}^o$ – прогнозируемая продолжительность простоев очистного забоя в течение суток.

$K_n^{\text{сут.о}}$ – коэффициент поступления грузопотока из очистного забоя в течение суток.

Следует заметить, что параметр K_n^o имеет такое же ограничение как и в формуле (13), а $\bar{\Delta}_{\text{сут.}}^o = 3T_{\text{см.}} - \bar{t}_{\text{сут.п}}^o$, где $T_{\text{см.}}$ – продолжительность рабочей смены.

Выводы. Для практических экономических расчетов целесообразно использовать формулу, полученную авторами, которая дает возможность прогнозировать величину грузопотока, выходящего из лавы за любой промежуток времени. Следует заметить, что на сегодня нет общепринятых методов определения ожидаемой величины грузопотока. Поэтому, особое значение приобретает экспериментальное подтверждение адекватности разработанной авторами логистической модели прогноза величин грузопотоков, выходящих из очистного забоя. Использование модели прогноза позволяет более эффективно управлять как производственными процессами, так и перемещением грузопотоков в транспортной сети топливно-энергетического комплекса. Логистическая оптимизация работы подземного транспорта ведет к снижению транспортных затрат, а значит и себестоимости угля.

Список литературы

1. Корніщева Н.Й., Трушкіна Н.В. Прогнозування показників логістичної діяльності вугільного підприємства // Управління інноваційним процесом в Україні: проблеми. Перспективи, ризики: Міжнар. наук.-практ. конф. Львів, 11-13 травня 2006р. – Львів: Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2006. – С. 94–95.
2. Крыжановский Г.А., Шашкин В.В. Управление транспортными системами. – С.-Пб.: Международная Академия транспорта, 1998. – 163с.
3. Нечаев Г.И. Моделирование транспортно-складской логистической системы // Вісник СУДУ. - 1999. - №3(19). - С.264-270.
4. Проектирование транспортных систем энергоемких производств. /В.А. Будишевский, А.А. Пуханов и др. Под. ред. В.А. Будишевского, А.А. Сулимы.– Донецк, 2001.– 481с.
5. Уотерс Д. Логистика: управление цепью поставок: Пер. с англ.– М.: ЮНИТИ, 2003.– 503с.