

Александр Пуханов

г. Красноармейск

## МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В СИСТЕМЕ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Изложены результаты построения логистико-аналитической модели, внедрение которой позволяет обеспечить динамическую экспресс диагностику величины грузопотоков в транспортной системе горнодобывающего предприятия*

**Ключевые слова:** система подземного транспорта, усредняющие бункеры, динамика величины грузопотоков.

**Постановка проблемы.** Система подземного транспорта является важным звеном общешахтной транспортной системы. Структура движения потоков представляет собой многосвязную разветвленную систему, состоящую из разнотипных транспортных установок циклического и непрерывного действия, функционирующую в сложных горно-геологических условиях. В транспортной системе горнодобывающего предприятия основными потоками являются потоки, которые связаны с вывозом угля. Поэтому, повышение эффективности работы внутришахтного транспорта – одна из основных задач промышленной логистики, решение которой направлено на повышение финансовой стабильности и рентабельности горнодобывающего производства.

Необходимо подчеркнуть, что эффективность функционирования цепи поставок горнодобывающих предприятий обусловлена условиями неопределенности и риска. Источниками неопределенности могут быть как внешние факторы (например, изменение потребительской способности населения), так и внутренние факторы (остановка производственного оборудования и т.д.). Поэтому, одним из проблемных факторов, влияющего на эффективное управление транспортной сетью, является прогнозирование изменения количества угля в транспортных узлах логистической цепи шахты [5].

Современным решением указанной проблемы является внедрение научных подходов в производственно-технологический процесс, разработка и усовершенствование имеющихся логистических методов и моделей оптимизации управления материальными грузопотоками в транспортных системах шахты [2]. В этой ситуации научный и практический интерес представляет 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 логистического моделирования технологических процессов в системах подземного транспорта является актуальной современной научной проблемой.

**Анализ исследований и публикаций.** Анализ научной и специальной литературы показывает, что задачу построения логистической модели управления производственными ресурсами рассматривали А.В. Мищенко, М.В. Могильницкой, Л.И. Федуловой; вопросы оптимизации и повышения эффективности функционирования транспортно-складских систем исследовались Г.И. Нечаевым, А.Н. Стерлинговой, В.М. Кургановым, И.П. Эльяшевичем, Дж. Шрайбфедером; средствами классической транспортной задачи отдельные проблемы транспортной сети некоторого предприятия решал Ф. Хейт. В работах Дж.Р. Стока, Д.М. Ламберта и Д. Уотерса разрабатываются транспортные модели основанные на вероятностно-стохастических методах и приемах. Исследование логистических моделей оптимального управления потоками (материальными, информационными, финансовыми и др.) осуществлялось В.И. Бережной, Т.О. Порохней, В.В. Клепиковой, А.В. Павленко и др.

Однако, на современном этапе развития угольной промышленности в усло-

виях экономического кризиса достаточно важным для повышения финансовой стабильности и рентабельности горнодобывающего производства является наличие информации о динамике величины грузопотоков в сети предприятия в любой момент времени.

**Цель статьи.** Предложить результаты построения средствами аналитических методов логистической модели, которая обеспечивает динамику формирования и экспресс диагностику величины грузопотоков угля в транспортной системе горнодобывающего предприятия.

Для решения поставленной задачи используем основные положения, принципы и формулы теории массового обслуживания с учетом стандартной производственной информации.

**Материалы и результаты исследования.** Исследуем грузопотоки, поступающие из усредняющих бункеров в узел слияния. Учитывая высокую вероятность существования подбункерного грузопотока, определим суммарный среднeminутный грузопоток формирующийся в узле слияния по формуле

$$\bar{f}_{\Sigma} = Q_{yb}^{-} + \bar{f}_{\Sigma}^{+}, \quad (1)$$

где  $Q_{yb}^{-}$  – пропускная способность (интенсивность разгрузки) усредняющего бункера;

$\bar{f}_{\Sigma}^{+}$  – суммарный грузопоток, входящий в узел слияния.

В соответствии с ранее полученными результатами [4], полагаем грузопоток прерывистым ступенчатым марковским процессом и принимаем допущение о нормальном распределении величин (высоты ступенек) грузопотока. Для бункеров, расположенных достаточно близко к очистному забою, т. е. в пределах выемочной панели, это оправдано тем, что в них поступает, как правило, один или два грузопотока. Поэтому транспортные преобразования не могут существенно исказить характер распределения грузопотока.

Рассмотрим случай, когда в узел слияния поступают грузопотоки из аккумулирующих бункеров. В периоды непрерывного поступления угля в бункере может накапливаться, а затем выгружаться в периоды отсутствия угля. Поэтому производительность подбункерного конвейера меньше средней интенсивности грузопотока за периоды поступления. Однако она должна быть больше средней интенсивности грузопотока за оперативное время, чтобы к началу каждого периода поступления угля бункер был пуст. Сравнительно небольшая длительность периода поступления угля приводит к тому, что аккумулирующий бункер работает в нестационарном режиме. Поэтому, на тех уровнях интенсивности, в которых участвуют грузопотоки из бункеров, распределение суммарного грузопотока будет отличаться от нормального.

Для решения поставленной задачи входящий и исходящий грузопотоки опишем в терминах теории массового обслуживания (СМО) как параметры простейшего потока заявок и простейшего потока обслуживания, а бункер как систему массового обслуживания. Под потоком событий (поток заявок и поток обслуживания) понимаем последовательность однородных событий, следующих одно за другим в какие-то случайные моменты времени. Термин «простейший» объясняется тем, что СМО с простейшими потоками имеет наиболее простое математическое описание.

Для простейшего потока число событий, попадающих на произвольный интервал времени, распределено по показательному закону. Будем рассматривать входящий грузопоток как ступенчатый марковский процесс. Длительность импульса будет определять интервал времени между поступлением заявок. Поступающий с каждым импульсом уголь является заявкой на обслуживание. Обслуживание заявки заключается в выгрузке поступившего с данным импульсом угля. Поэтому, накапливающийся в бункере уголь будем рассматривать как очередь на обслуживание. Случайный характер потока заявок и времени обслуживания приводит к тому, что СМО оказывается загруженной неравномерно: в какие-то периоды времени скапливается большое количество заявок, в другие же периоды СМО работает с недогрузкой или простаивает. Таким образом, аккумуля-

рующий бункер является системой массового обслуживания с ожиданием.

Рассмотрим два случая:

$$\bar{f}_{аб}^+ < Q_{аб} \text{ и } \bar{f}_{аб}^+ > Q_{аб},$$

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

$Q_{аб}$  – производительность питателя.

При построении модели будем учитывать, что величина накапливаемого запаса может принимать только два значения, а именно: если  $\bar{f}_{аб}^+ < Q_{аб}$ , тогда за период поступления уголь в бункере не накапливается.

Если  $\bar{f}_{аб}^+ > Q_{аб}$ , то уровень загрузки бункера (исходное состояние – бункер пуст) будет увеличиваться до определенной величины, а затем наступит период установившегося состояния. Следовательно, накопленный запас угля в бункере в течение одного импульса поступления будет равен:

$$f_3 = \int_0^t (\bar{f}_{аб}^+ - Q_{аб}) dt, \quad (2)$$

где  $f_3$  – накопленный запас угля в бункере в течение одного импульса поступления;

$t$  – длительность импульса.

Найдем средне ожидаемую величину запаса угля в бункере за периоды поступления при условии, что  $\bar{f}_{аб}^+ > Q_{аб}$ :

$$\bar{f}_{\Sigma 3} = \frac{1}{\delta_{\Pi} \sqrt{2\pi}} \int_{Q_{аб}}^{Q_{вкр}} \bar{f}_{\Sigma}^+ \cdot e^{-\frac{-(f-\bar{f}_{\Pi})^2}{2\delta_{\Pi}^2}} df = \bar{f}_{\Pi} + \delta_{\Pi} \cdot \frac{\varphi(t_p)}{1 - \Phi(t_p)}, \quad (3)$$

где  $\varphi(t_p)$  – плотность распределения вероятности накопленного запаса за периоды поступления;

$\Phi(t_p)$  – нормальная функция распределения.

Определим случайную длительность обслуживания одной заявки:

$$t_i = \frac{f_3}{Q_{аб}} \cdot \eta = \frac{\bar{f}_{аб}^+ - Q_{аб}}{Q_{аб}} \cdot \eta, \quad (4)$$

где  $\eta$  – длительность  $i$ -го импульса;

$f_3$  – накопленный запас угля в бункере в течение одного импульса поступления;

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

$Q_{аб}$  – производительность питателя;

$Q_{вкр}$  – верхний критический уровень бункера.

Из выше сказанного следует, что средне ожидаемая длительность обслуживания заявки будет равна:

$$\bar{t}_i = \frac{f_3}{Q_{аб}} \cdot \tau = \frac{\bar{f}_{аб}^+ - Q_{аб}}{Q_{аб}} \cdot \tau, \quad \tau = M(\eta) = \bar{t}, \quad (5)$$

где  $\tau$  – параметр простейшего потока заявок;

$M(\mu)$  – средне ожидаемая длительность импульса.

В системах массового обслуживания, к которым относятся бункеры, время ожидания распределено по показательному закону. Количество накопившегося в номинальном режиме работы угля, определяемое временем ожидания в терминах теории массового обслуживания, будет также распределено по показательному закону [3].

Найдем интенсивность потока заявок, т.е. интенсивность нагрузки бункера, которая выражает среднее число заявок, приходящих за среднее время обслуживания одной заявки:

$$\rho = \frac{\bar{t}_i}{\tau} \quad (6).$$

Если рассмотреть грузопотоки поступающие к магистральному бункеру или бункеру в околостольном дворе, то следует учесть, что эти грузопотоки за счет многочисленных преобразований становятся сглаженными. Уменьшается их коэффициент неравномерности. Об этом свидетельствуют результаты имитационного исследования преобразований грузопотоков при слиянии из нескольких очистных забоев [1]. Поэтому представление в виде ступенчатого марковского процесса, будет слишком грубым приближение, а расчет основных параметров  $\bar{f}_\Sigma$ ,  $\bar{t}$ ,  $\bar{\Delta}$ ,  $\bar{f}_3$  может привести к существенному искажению результатов. В этом случае грузопоток представляется импульсами постоянной амплитуды, а длины импульсов и пауз распределены по показательному закону. В соответствии с вышеизложенным можно принять, что длительность обслуживания распределена по показательному закону. Поэтому, имеем

$$\bar{x} = \frac{\bar{f}_\Sigma^+ \cdot \bar{t}}{Q_{аб}} \quad (7)$$

Интервал между поступлением заявок будет равен

$$\bar{t}_3 = \bar{t}_p + \bar{\Delta}, \quad (8)$$

где  $\bar{t}_p$  – средне ожидаемая длительность обслуживания заявки;

$\bar{\Delta}$  – средне ожидаемая длительность отсутствия заявки.

Хотя  $\bar{t}_p$  и  $\bar{\Delta}$  распределены по показательному закону, распределение их суммы отличается от показательного. В данном случае имеем систему массового обслуживания с отличным от показательного распределением длительности обслуживания и одним обслуживающим каналом. Однако, если исчезает период поступления или период отсутствия, тогда интервал между заявками становится распределенным строго по показательному закону.

В рассматриваемой системе среднее время ожидания будет равно

$$\bar{t}_o = \frac{\sigma}{\mu(1-\sigma)} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\mu[\mu(\lambda_1 + \lambda_2) - \lambda_1 \lambda_1]}, \quad (9)$$

где  $\lambda_1 = \frac{1}{\bar{t}_p}$ ,  $\lambda_2 = \frac{1}{\bar{\Delta}}$ ,  $\mu = \frac{1}{\bar{x}}$ .

Тогда прогнозируемое количество угля в аккумулирующем бункере равно

$$\bar{f}_3 = \bar{f}_\Sigma^+ \cdot \bar{t}_o, \quad (10)$$

где  $\bar{f}_\Sigma^+$  – средне ожидаемая величина суммарного грузопотока угля, поступающего в бункер.

Комплексная формула расчета ожидаемого запаса угля в аккумулирующем бункере за периоды работы очистных и подготовительных забоев шахты в течение смены имеет вид:

$$\bar{f}_3 = \left( \frac{\sum_{i=1}^{n_1} A_{см,i}^o \cdot n_i}{\sum_{j=1}^n t_{см,p,j}^o \cdot n_j} + \frac{\sum_{i=1}^{n_2} S_{п.} \cdot \gamma_r \sum_{i=1}^n L_{п,i}^{см.} \cdot n_i}{\sum_{j=1}^n t_{см,p,j}^{п.}} + \left( \frac{S_{п.} \cdot \gamma_r \sum_{i=1}^n L_{п,i}^{см.} \cdot n_i}{\sum_{j=1}^n t_{см,p,j}^{п.}} - 3600 \cdot V \cdot \gamma \cdot S \right) + \right. \quad (11)$$

$$\left. + \left( \frac{\sum_{i=1}^n A_{см,i}^o \cdot n_i}{\sum_{j=1}^n t_{см,p,j}^o \cdot n_j} - 3600 \cdot V \cdot \gamma \cdot S \right) \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\mu[\mu(\lambda_1 + \lambda_2) - \lambda_1 \lambda_1]} \right)$$

**Выводы.** Решение логистической проблемы прогноза суммарного грузопотока в узлах слияния транспортной сети внутри шахты представляет практический интерес. Использование логистико-аналитической модели прогноза обеспечивает повышение эффективности управления как производственными процессами, так и перемещением грузопотоков в транспортной сети шахты.

Особое значение приобретает экспериментальное подтверждение адекватности разработанной модели. Результаты эксперимента показали, что полученная модель достаточно точно аппроксимирует процесс совершенно аналогичный процессу формирования суммарных грузопотоков в узлах слияния.

Научный подход к практическому управлению материальными грузопотоками в интегрированных логистических цепях подземного транспорта оказывает существенное влияние на уровень обслуживания потребителей и величину издержек горнодобывающего производства. Внедрение модели способствует повышению уровня эффективности управления транспортной сетью и её грузопотоков в логистических системах топливно-энергетического комплекса.

Перспективами дальнейших научных исследований являются разработки логистических моделей, способствующих значительному снижению транспортных затрат и себестоимости угля, повышению рентабельности и развитию угольной промышленности.

### Литература

1. Кун А., Хеллинграт Б., Иванов Д.А. Внедрение концепции управления логистическими цепями (Supply Chain Management) / Кун А., Хеллинграт Б., Иванов Д.А. // Логистика и управления цепями поставок. – 2006. – №2(13). – С. 8-17.
2. Корніщева Н.Й. Оцінка ефективності логістичної діяльності вугільних підприємств / Н.Й. Корніщева, Н.В. Трушкіна // Актуальні проблеми управління розвитком об'єктів і процесів ринкової економіки: міжнар. наук.-практ. конф., 5-6 жовтня 2006р.: тези доп. – Запоріжжя: ГУДМУ, 2006. – С. 222-225.
3. Толуев Ю.И. Анализ и моделирование материальных потоков в сетях поставок / Толуев Ю.И., Некрасов А.Г., Морозов С.И. // Интегрированная логистика. – М.: ВИНТИ, 2005. – №5. – С.7-14.
4. Проектування транспортних систем енергоємних виробництв. /В.О. Будішевський, В.О. Гутаревич, О.О. Пуханов та ін. Під. ред. В.О. Будішевського, А.О. Суліми.– Донецьк, 2008.– 454с.
5. Уотерс Д. Логистика: управление цепью поставок: Пер. с англ.– М.: ЮНИТИ, 2003.– 503с.

*Викладені результати побудови логістико-аналітичної моделі, впровадження якої дозволяє забезпечити динамічну експрес діагностику величини вантажопотоків в транспортній системі гірничодобувного підприємства*

**Ключові слова:** система підземного транспорту, усереднюючі бункери, динаміка величини вантажопотоків.

*The results of construction of logistic model introduction of which allows to provide dynamic express diagnostics of size of traffics of goods in a transport system of mining enterprise are expounded*

**Keywords:** system of underground transport, усереднююче бункери, dynamics of size of traffics of goods.

Пуханов О.О.

старший преподаватель кафедры «Электромеханика и автоматика», КИИ ДонНТУ, г. Красноармейск, Донецкая обл., Украина  
mail: puhanov@rambler.ru

Рецензент: д.т.н., доцент Гого В.Б.