

## ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГРУЗОПОТОКА УГЛЯ В СИСТЕМЕ КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

*Построена логистическая модель определения параметров основного грузопотока в системе конвейерного транспорта шахты на основе баланса технологических транспортных процессов в условиях неопределенности*

**Ключевые слова:** логистическая модель, балансовые соотношения, факторы неопределенности, грузопоток, конвейер, транспортный аккумулирующий узел, бункер, цепь поставок

**Постановка проблемы.** В настоящее время, проводимая в нашей стране экономическая реформа особенно остро ставит перед предприятиями угольной промышленности задачи повышения эффективности производства. Эти требования обусловлены прежде всего развитием стратегического взаимодействия предприятий и формированием «сетевой» межорганизационной структуры. Угольные шахты, являясь составной частью топливно-энергетического комплекса, существенно влияют на сбалансированность сырьевых потоков. В условиях нерегулярного спроса и фиксированного времени выполнения заказа является одним из важных факторов финансовой стабильности горнодобывающего предприятия.

Для успешного решения задач угольной промышленности необходимо не только рациональное использование существующих средств механизации и автоматизации, но и внедрение системы научной организации управления производством. Только при условии взаимосвязанной работы всех звеньев и служб шахты, построенной на использовании логистических методов, можно говорить об эффективном функционировании шахтного производства.

Современное состояние угольной промышленности характеризуется недостаточным уровнем научной организации управления производством. При этом вопрос исследования процессов формирования, превращения и движения грузопотоков, отходит на второй план несмотря на то, что 80% общей стоимости продукта и экономическая стабильность предприятия в целом определяется эффективностью управления логистической инфраструктурой шахты [1].

Цепь поставок горнодобывающих предприятий является сложной многоуровневой системой, звенья которой функционируют в условиях постоянного изменения внешней среды. Поэтому результат деятельности цепи поставок предприятий данной отрасли в значительной степени зависит от факторов неопределенности и факторов риска. Источниками неопределенности могут быть как факторы внешней среды (изменение потребительской способности населения, изменение законодательства и т.д.), так и внутренней среды (остановка производственного оборудования, поломка транспортного средства и т.д.) цепи поставок. Обусловленность цепи поставок горнодобывающих предприятий факторами неопределенности нуждается в разработке логистических методов оптимизации модели управления материальными грузопотоками. Это дает основания утверждать об актуальности исследований указанного направления.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Вопросам разработки логистических моделей грузопотоков в цепи поставок, использования методов имитационного моделирования, развития логистических подходов, решения проблемы оптимизации производственных запасов и учета расходов посвящены исследования многих зарубежных и отечественных ученых. Так, вопросы оптимизации параметров модели управления запасами в условиях риска рассматривались О.В. Токаревой; задача построения логистической модели управления производственными ресурсами обосновывалась А.В. Мищенко, М.В. Могильницкой, Л.И. Федуловой; критерии формирования системы углесбыта в условиях перехода на безфондовое обеспе-

чение при прямой связке потребителей и поставщиков угля изучались в работах О.О. Решетняк, О.В. Крикавского, Н.И. Чухрай; проблема оптимизации и повышения эффективности функционирования транспортно складских системы исследовалась Г.И. Нечаевым, А.Н. Стерлинговой, В.М. Кургановим, И.П. Ельшвицем, Дж. Шрайбфедером; вопросы инвестиционных решений и контроллинга в промышленной логистике рассмотрены В.И. Сергеевим, А.И. Федоренко, П.А. Терентьевим и др. [2]

В работе Х.Таха, и Д. Уотерса рассматривается транспортная модель основанная на теории массового обслуживания, которая позволяет иметь представление о динамике работы транспортной сети предприятия в любой момент времени. Однако, в этой работе, не решена проблема работы транспортной сети в условиях неопределенности, что является важным технологическим и экономическим фактором эффективного управления материальными грузопотоками, значительно влияющим на себестоимость угля [5].

Исследованиями Ф. Хейта обоснована классическая транспортная задача для решения отдельной проблемы транспортной сети некоторого предприятия. Однако, для транспортной сети топливно-энергетического комплекса, которая имеет свою характерную особенность, связанную с наличием стационарных транспортных узлов, расположение которых неизменно, основные положения и принципы не могут быть использованными в сформулированном виде, а следовательно нуждаются в определенной модификации.

Следует подчеркнуть, что существующие аналитические методы технологических расчетов не в полной мере отображают экономические показатели технологических процессов протекающих в транспортной системе, что не обеспечивает их прогнозирование; практически не уделяется внимание разработке логистической модели управления грузопотоками в транспортной системе горнодобывающего производства; не рассматриваются вопросы неопределенности и риска в системе функционирования транспортной сети; не разрешается проблема прогнозирования экономических показателей работы цепи поставок. Отмеченные факторы существенно влияют на финансовую стабильность предприятия и являются одним из важных условий снижения себестоимости угля.

Односторонний подход свидетельствует о недостаточно глубоком понимании важности экономико технологических показателей функционирования шахты для маркетинговой деятельности предприятия и принятия экономически выгодной политики. Система научной организации и управления производством способствует обеспечению бесперебойной работы очистительных и подготовительных забоев, интенсификации процесса транспортировки, которая достигается прежде всего за счет интегрированной логистической поддержки: уменьшение простоев и перерывов в процессе добычи угля и его транспортировке, сочетании простоев, в разных технологических звеньях, повышение пропускной способности транспортной магистрали.

**Постановка задачи.** Представить один из методов современного управления логистической инфраструктурой горнодобывающего предприятия, который обеспечивает модификацию существующих методов в модель, которая учитывает факторы неопределенности.

Решение поставленной задачи осуществляем путем построения математической модели в виде системы взаимосвязываемых балансовых соотношений. Балансовые соотношения представлены в виде уравнений и неравенств, отражающих сбалансированную работу всех звеньев сети конвейерного транспорта шахты.

**Материалы и результаты исследования.** Построение логистической модели функционирования внутришахтного транспорта осуществляется по результатам исследования концентрации основных грузопотоков, которые связаны с вывозом угля и горной массы.

Рассмотрим балансовые соотношения основных технологических процессов: загрузка, перегрузка и аккумуляция основного грузопотока конвейерного транспорта шахты. Построение модели сводится к определению и оценке параметров суммарных грузопотоков, которые поступают к узлу слияния.

Исследуя изменение параметров грузопотоков угля конвейерно-бункерной

системы с течением рабочего времени, полагаем, что перегрузка из конвейера в бункер или на загруженный конвейер является увеличением величины грузопотока соответственно в бункере или на конвейере, а разгрузка – уменьшением. Исходя из этого, определяем величину основного грузопотока  $x_{p_i, l_n}$ , продукта  $p_i$  который поступает конвейерной лентой к пункту  $l_n$ , – бункер или промежуточный пункт погрузки, – с учетом погрузочно-разгрузочных операций можно определить уравнениями:

$$\dot{x}_{p_i, l_n}(t) = \sum_{l_n \in L_T^+} f_{p_i, l_{n-1}, l_n}(t) + g_{p_i, l_n}(t) - f_{p_i, l_n, l_{n+1}}(t) \quad (1)$$

$$x_{p_i, l_n}(t) = \sum_{l_n \in L_T^+} f_{p_i, l_{n-1}, l_n}(t) + \sum_{l_n \in L_T} f_{p_i, l_n, l_{n+1}}(t) \quad (2)$$

где  $\dot{x}_{p_i, l_n}(t)$  – изменение величины грузопотока  $x_{p_i, l_n}$  продукта вида  $p_i$  в пункте  $l_n$  с учетом погрузочно-разгрузочных операций с течением времени;

$\sum_{l_n \in L_T^+} f_{p_i, l_{n-1}, l_n}(t)$  – суммарный грузопоток продукта вида  $p_i$ , доставленный в пункт  $l_n$  конвейером из других транспортных узлов по коммуникации  $(l_{n-1}, l_n)_T$  и разгружаемый в этом пункте;

$g_{p_i, l_n}(t)$  – текущий запас продукта вида  $p_i$ , находящийся в резервирующем элементе транспортного узла  $l_n$  – бункере;

$f_{p_i, l_n, l_{n+1}}(t)$  – грузопоток продукта  $p_i$ , отправленного из пункта  $l_n$  на конвейере в пункт  $l_{n+1}$  по коммуникации  $(l_n, l_{n+1})_T$ ;

$x_{p_i, l_n}(t) \geq 0$ ,  $f_{p_i, l_{n-1}, l_n}(t) \geq 0$ ,  $f_{p_i, l_n, l_{n+1}}(t) \geq 0$ ,  $g_{p_i, l_n}(t) \geq 0$ ,  $g_{p_i, l_n}(t) = \text{fix}$ ;

$p_i$  – перевозимый конвейером продукт: уголь, порода или горная масса;

$L_T^{\pm}$  – транспортный узел  $l_n$  транспортной сети  $T$  топливно-энергетического комплекса  $L$ , в который прибывает или убывает конвейерная лента;

Формула (1) описывает величину грузопотока, проходящего через бункер, а формула (2) для промежуточного пункта погрузки.

Величина грузопотока продукта вида  $p_i$ , отправленного в момент  $t$  из  $l_n$  в  $l_{n+1}$ , равна при отсутствии потерь величине грузопотока того же продукта вида  $p_i$ , доставленного конвейером в  $l_{n+1}$  из  $l_n$ , но в более поздний момент времени  $t + \theta_{l_n, l_{n+1}}$ . Продолжительность перемещения грузопотока по конвейерной ленте ограничена. Это обстоятельство дает возможность фиксации величины грузопотоков продукта вида  $p_i$  на стартовых интервалах соответствующей длины.

Соотношение баланса грузопотоков продукта вида  $p_i$ , когда пункт  $l_n$  является транзитным в процессе перемещения на конвейерах, имеет вид:

$$\sum_{l_n \in L_T^+} f_{p_i, l_{n-1}, l_n}(t) + g_{p_i, l_n}^+(t) = \sum_{l_n \in L_T} f_{p_i, l_n, l_{n+1}}(t), \quad (3)$$

где  $p_i \neq 0$ .

Транзитным транспортным узлом может быть узел, в котором не предусмотрено слияние грузопотоков и осуществляется перегрузка с одного конвейера на другой без использования бункеров.

В формуле (3) слагаемое  $g_{p_i, l_n}^+(t)$  будет отсутствовать, если происходит перегрузка продукта вида  $p_i$  на не загруженный конвейер.

Рассмотрим баланс грузопотоков порожнего конвейерного транспорта, которое отражает регулярные холостые пробеги, возникающие во время пересмены рабочих бри-

гад, а также простоев конвейерного транспорта.

Запишем уравнение, которое определяет изменение величины грузопотока порожнего конвейерного транспорта в некотором транспортном узле  $l_n$ :

$$\dot{x}_{0l_n}(t) = f_{0l_{n-1}l_n}(t), \quad (4)$$

где  $x_{0l_n}$  – величина потока порожнего конвейерного транспорта в пункте  $l_n$ ;  
 $\dot{x}_{0l_n}(t)$  – изменение величины грузопотока порожнего конвейерного транспорта в пункте  $l_n$  (для конвейера это не загруженные участки грузовой ветви конвейерной ленты или пустая конвейерная лента во время пересмены рабочих бригад или технологических перерывов) с течением времени;  
 $f_{0l_{n-1}l_n}(t)$  – поток порожнего конвейерного транспорта прибывающего в пункт  $l_n$  из пункта  $l_{n-1}$ ;  
 $f_{0l_{n-1}l_n}(t) \geq 0$ .

Учитывая состояние стационарности системы конвейерного транспорта и пренебрегая редкими переходными режимами, можно записать упрощенную форму баланса потоков порожнего конвейерного транспорта:

$$f_{0l_{n-1}l_n}(t) + f_{p_{l_{n-1}l_n}}(t) = \sum_{l_n \in L_T} f_{0l_n l_{n-1}}(t) \quad (5)$$

где  $f_{p_{l_{n-1}l_n}}(t)$  – грузопоток продукта  $p_i$ , отправленного из пункта  $l_n$  на конвейере в пункт  $l_{n+1}$  по коммуникации  $(l_n, l_{n+1})_T$ ;  
 $f_{0l_{n-1}l_n}(t)$  – поток порожнего конвейерного транспорта прибывающего в пункт  $l_n$  из пункта  $l_{n-1}$ ;  
 $\sum_{l_n \in L_T} f_{0l_n l_{n-1}}(t)$  – поток порожнего конвейерного транспорта прибывающего в пункт  $l_{n-1}$  из пункта  $l_n$ .

Рассмотрим баланс грузопотоков продукта вида  $p_i$ , которые проходят через транспортный узел  $l_n$  (бункер) и аккумулируются в нем.

Получим уравнение:

$$\sum_{l_n \in L_T} [g_{p,l_n}^+(t) - g_{p,l_n}^-(t)] = \sum_{m_i \in E_p} v_{p,m_i}^+(t) - v_{p_i}^-(t), \quad (6)$$

где  $\sum_{l_n \in L_T} [g_{p,l_n}^+(t) - g_{p,l_n}^-(t)]$  – суммарный поток грузопотоков продукта вида  $p_i$ , который аккумулируется после перегрузов в пункте  $l_n$  (бункере), т.е. текущая величина грузопотока продукта  $p_i$  в бункере транспортного узла  $l_n$ ;  
 $v_{p,m_i}^-(t)$  – входной поток грузопотока продукта вида  $p_i$  некоторого производственного элемента  $m_i$  (лавы, проходки);  
 $v_{p_i}^-(t)$  – выходной поток грузопотока продукта вида  $p_i$  из пункта  $l_n$  (бункера);  
 $E_p^-$  – множество производственных элементов  $m_i$ , в которых формируются грузопотоки продукта вида  $p_i$  (лава, проходка);  
 $p_i$  – продукт: уголь или порода, аккумулирующийся в пункте  $l_n$ ;  
 $x_{p,l_n}(t) = \text{fix}, g_{p,l_n}(t) \geq 0$ .

**Выводы.** Научный подход к практическому управлению материальными грузопотоками в интегрированной логистической цепи топливно-энергетического комплекса способствует существенному влиянию на уровень обслуживания потребителей и величину расходов всей логистической системы. Построение логистической модели управления грузопотоками внутришахтного транспорта базируется на изучении концентрации

грузопотоков производства, которые связаны с выдачей угля на поверхность и являются основными в транспортной системе шахты, и установлении итерационных согласований и балансирования пропускной способности транспортной коммуникации, узлов, аккумулирующих элементов системы подземного транспорта, с учетом мощности погрузочно-разгрузочных механизмов.

Использование логистических подходов позволяет: уменьшить транспортные расходы на перевоз угля от поставщика сырья к конечному потребителю; определить концентрацию грузопотоков угля в любой момент времени в любом транспортном узле логистической цепи в условиях неопределенности; прогнозировать работу транспортной сети; повысить эффективность управления цепью снабжений на конкретном участке цепи; повысить производительность и безопасность горного производства.

Перечисленные приложения не вычерпывает возможность разработанной модели. Практика показывает, что на основе данной имитационной модели можно решать большинство логистических заданий. Последующее совершенствование модели путем апробации на решении новой задачи позволит очертить более широкий круг возможных приложений.

Перспективой последующих научных исследований является разработка логистической модели, которая будет обеспечивать значительное снижение объема оперативных расходов в цепи создания стоимости снабжений.

### Литература

1. Бенедык И.В. Повышение эффективности управления транспортными системами на основе логистических процессов: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / И.В. Бенедык / Морская государственная академия имени адмирала Ф.Ф. Ушакова. – Санкт-Петербург: ГИЭУ, 2008. – 19с.
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. Мерцалов Р.В. Математические модели и основные характеристики процесса загрузки подземных конвейеров / Р.В. Мерцалов, Ю.Я. Корнев // Шахтный и карьерный транспорт. – М.: Недра, 1980. – Вып. 5. – С. 74-81.
4. Сысоева В.А. Исследование процесса формирования шахтных грузопотоков и разработка методов оптимизации технологических схем и параметров подземного транспорта угольных шахт: автореф. дис. ... д-ра тех. наук / В.А. Сысоева / Московский государственный технический университет. – М.: МГТУ, 1979. – 40с.
5. Тарамыко А.Е. Оптимальное планирование доставки грузов в транспортно-логистических системах: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / А.Е. Тарамыко / Санкт-Петербургский государственный университет. – Санкт-Петербург: СПб., 2002. – 195с.

*Побудована логістична модель оцінювання параметрів основного вантажопотоку в системі конвеєрного транспорту на основі балансу технологічних транспортних процесів в умовах невизначеності*

**Ключові слова:** логістична модель, балансові співвідношення, фактори невизначеності, вантажопоток, конвеєр, транспортний акумулюючий вузол, бункер, ланцюг поставок

*The logistic model of determination of parameters of basic traffic of goods is built at application of conveyor and locomotive transport on the basis of balance of technological transport processes in the conditions of vagueness*

**Keywords:** logistic model, balance correlations, factors of vagueness, traffic of goods, conveyor, transport heat-sink knot, bunker, chain of deliveries

Пуханов О.О.

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

Рецензент: д.т.н., проф. Татьяначенко А.Г.