

УДК 622.62

## ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Деселич С. Е., студентка гр. ВДДМ-221, II курс

Научный руководитель Рябко К. А., к.т.н., доцент

Ростовский государственный университет путей сообщения

филиал в г. Воронеж

г. Воронеж

Вспомогательный транспорт в современной шахте является неотъемлемой частью логистической системы. Его работа непосредственно влияет на множество аспектов: затраты на доставку оборудования, материалов и рабочих, а также эффективность основных производственных процессов по добыче ископаемых. Важно не только сократить время транспортировки, но и обеспечить своевременную и точную доставку всего необходимого в нужное место [1].

Цель данного исследования заключается в формировании теоретической и методологической базы для моделирования работы шахтного вспомогательного транспорта.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить общие логистические принципы организации движения подземного вспомогательного транспорта;

- разработать графоаналитическую модель, описывающую работу подземного вспомогательного транспорта, на примере шахтной монорельсовой дороги.

Одной из существенных проблем организации движения подземного вспомогательного транспорта, считается оптимизация работы подвижного состава и организация транспортных потоков с минимальным потреблением топливо-энергетических ресурсов [2-5]. Если рассматривать транспортную систему горного предприятия как совокупность грузопотоков, то можно выделить входящие и выходящие транспортные потоки. При этом входящие грузопотоки относятся к вспомогательным грузопотокам и не включают в себя полезное ископаемое. В исследовании [6] приводится соотношение входящих грузопотоков к выходящим, так на 1000 т угля перевозится 1,4 т вспомогательного оборудования, 0,3 т эмульсии, 0,4 т глины, песка и инертной пыли. В процентном соотношении входящие грузопотоки составляют 0,21%. При этом от организации работы вспомогательного транспорта в значительной степени зависит эффективность выходящих транспортных потоков.

Рассмотрим особенности организации движения подземного вспомогательного транспорта. По направлению движения транспортные

потоки вспомогательного транспорта шахт и рудников также могут быть подразделены на входные и выходные. Данная классификация помогает определить объемы перевозимых грузов и планировать грузопотоки, учитывая особенности организации движения подземного транспорта.

В связи с изменчивостью горнотехнических условий горных предприятий, особенностью логистических систем в шахтах является то, что главные грузопотоки характеризуются динамичностью и непостоянством в количественном и качественном выражении. Вместе с тем, их функционирование протекает в виде периодически повторяющегося процесса, разбитого на несколько этапов. Каждый такой этап включает этапы планирования, осуществления и оценки грузопотоков с целью определения их соответствия между плановыми и фактическими значениями.

Организации движения подземного вспомогательного транспорта горных предприятий базируется на установлении минимальных финансовых затрат при осуществлении необходимого объема и маршрутов перевозок [7, 8]. С целью оценки технико-экономических показателей шахтных монорельсовых локомотивов в настоящее время применяется ряд характеристик - зависимостей нескольких параметров работы силовой установки друг от друга. Вид характеристики определяется по независимой переменной, в качестве которой выбирается один из эксплуатационных или конструктивных параметров [9, 10]. Задачи данного рода можно решать, представив их в виде нелинейных транспортных задач, представляющих собой класс оптимизационных задач, которые возникают при организации логистических потоков шахт, управлении ресурсами, планировании производства горных предприятий и т.д. Они характеризуются наличием нелинейных зависимостей между переменными, что делает их более сложными для решения по сравнению с линейными транспортными задачами. Известны различные методы решения нелинейных транспортных задач, такие как метод множителей Лагранжа, метод Ньютона, метод сопряженных градиентов и другие. Также для решения этих задач широко применяются алгоритм Дейкстры, алгоритм Форда-Беллмана и другие.

С точки зрения вспомогательного шахтного транспорта наиболее подходящим логистическим методом решения данной задачи является метод функциональных уравнений динамического программирования [6]. Метод функциональных уравнений динамического программирования является одним из самых эффективных методов решения транспортных задач. Он основан на принципе оптимальности Беллмана и позволяет найти оптимальное решение путем разложения задачи на более простые подзадачи.

Предположим, что требуется составить такой план грузопотоков вспомогательного шахтного транспорта, при котором весь груз вывозится из пунктов отправления, поступает потребителям, транспортные издержки минимальны.

Составим для данных условий математическую модель:

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = a_i, \text{ где } i = 1, 2, 3, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = b_j, \text{ где } j = 1, 2, 3, \dots, n;$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \rightarrow \min .$$

где  $X_{ij}$  – объем груза в пункте отправления, перевозимого из  $i$  в  $j$  пункт;

$a_i$  – потребность в грузе в пункте  $a_i$ ;

$b_j$  – потребность в грузе в пункте  $b_j$ ;

$C_{ij}$  – стоимость перевозки груза.

Как видно из приведенных уравнений, представленная математическая модель грузопотоков довольно проста и применяется для транспортно-технологических систем, использующих бестарные транзитные перевозки. Однако данная модель служит основой для разработки более сложных транспортно-технологических схем, включающих в себя перевозки несколькими видами транспорта.

В шахтных транспортных системах иногда возникает потребность в перемещении грузов и людей от околосвольного двора к пункту назначения с использованием различных видов транспорта. Это требует перегрузки грузов в нескольких точках и последовательного использования разных транспортных средств.

Перегрузочные точки обычно функционируют как пункты стыкования, где происходит взаимодействие разных видов транспорта с возможностью временного хранения груза на данном пункте до перегрузки. В зависимости от обстоятельств, существуют различные варианты.

Составим математическую модель такого варианта системы вспомогательного транспорта:

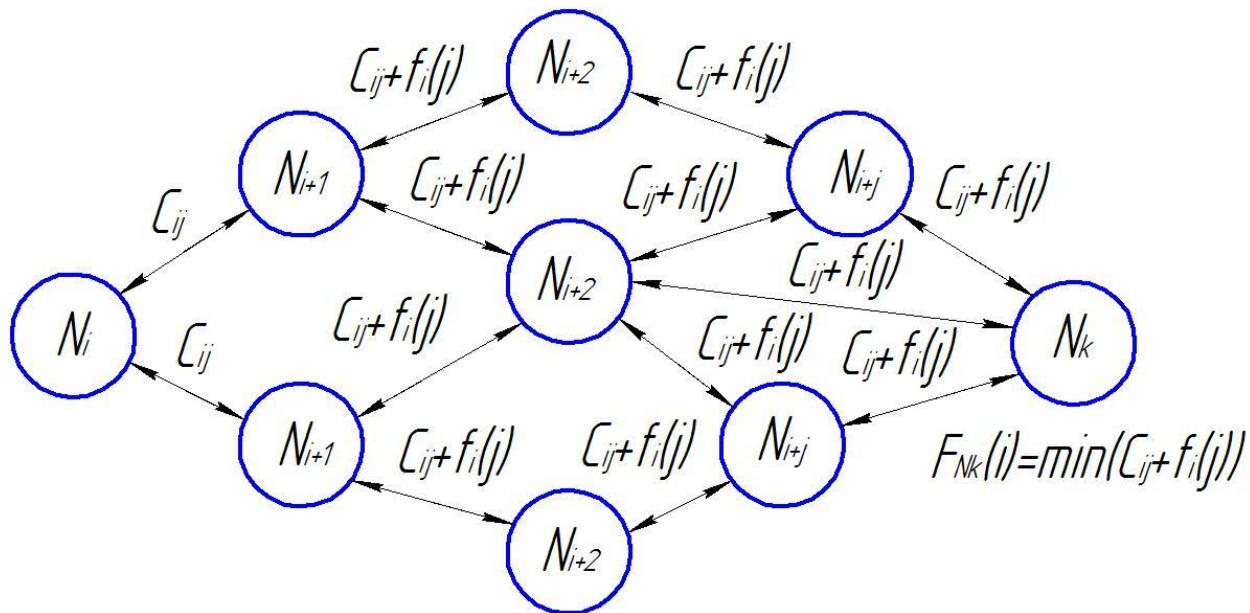
$$S_0 = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r C_{ik} x_{ik} + \sum_{k=1}^r \sum_{j=1}^n C_{kj} y_{kj} \rightarrow \min ,$$

$$\text{где } \sum_{k=1}^r x_{ik} = a_i, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad \sum_{i=1}^m x_{ik} \leq d_k, \quad k = 1, 2, \dots, r,$$

$$\sum_{k=1}^r y_{kj} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad \sum_{i=1}^m x_{ik} = \sum_{j=1}^n y_{kj}, \quad k = 1, 2, \dots, r,$$

$$x_{ik} \geq 0; \quad y_{kj} \geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, r .$$

Для обоих вариантов организации движения подземного вспомогательного транспорта с промежуточными пунктами перегрузки и без них, справедлива графическая интерпретация задачи, приведенная на рис. 1.



$N_i$  – пункт погрузки;  $N_{i+1}, N_{i+2} \dots N_{i+j}$  – промежуточные пункты;  $C_{ij}$  – стоимость перевозки груза между пунктами,  $f_i(j)$  – оптимальная функция перевозки груза на предыдущем этапе;  $N_k$  – пункт назначения

Рис. 1. Графо-аналитическая модель описывающая работу подземного вспомогательного транспорта

При планировании грузовых перевозок важно не только минимизировать транспортные расходы, но и время доставки [11]. В этом случае задача может быть решена с использованием временного критерия. Специфика таких задач оптимизации заключается в необходимости определения зависимости времени перевозки от объема груза, перевозимого в разных направлениях, а также в учете нелинейности и вогнутости целевой функции.

Соответственно задачу оптимизации организации движения подземного вспомогательного транспорта можно представить также в виде дифференциального уравнения:

$$dx/dt = f(x, u),$$

где  $x$  – вектор состояния транспортной системы;  
 $u$  – вектор функции управления;  
 $t$  – время перевозочного процесса.

Для решения данной задачи можно использовать метод Эйлера или метод Рунге-Кутты. Метод Эйлера – это численный метод, используемый для решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Он является простейшим методом для решения таких уравнений и имеет первый порядок точности. Метод Рунге-Кутты является методом решения дифференциальных уравнений, который позволяет получить решение с заданной точностью. Этот метод позволяет получить более точное решение, чем метод Эйлера, и имеет более высокий порядок точности.

**Вывод.** Организация движения подземного вспомогательного транспорта требует учета множества факторов, таких как особенности шахтных условий, виды используемого транспорта и характеристики грузов. Минимизация транспортных издержек и времени доставки является основными критериями при решении задач оптимизации движения подземного транспорта. Построение эффективного алгоритма решения таких задач осложняется необходимостью учета зависимости времени перевозки от объемов грузов, а также нелинейностью и невыпуклостью целевой функции. В работе определены общие логистические принципы организации движения подземного вспомогательного транспорта. Разработана графоаналитическая модель, описывающая работу подземного вспомогательного транспорта, на примере шахтной монорельсовой дороги.

### **Список литературы:**

1. Ульянов, В. В. Каким должен быть в угольных шахтах вспомогательный транспорт / В. В. Ульянов, А. В. Ремезов // Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты : сборник материалов Международной научно-практической конференции, Кемерово, 25–26 мая 2016 года / Западно-Сибирский научный центр. Том II. – Кемерово: Общество с ограниченной ответственностью «Западно-Сибирский научный центр», 2016. – С. 40-70. – EDN WEOXQZ.
2. Тихомиров, А. Н. Оптимизация транспортных потоков при эксплуатации транспортной сети / А. Н. Тихомиров, В. И. Микрин // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. – 2007. – № 1-13. – С. 106-110. – EDN KZJQXL.
3. Рябко, Е. В. Повышение энергоэффективности моторвагонного подвижного состава за счет использования емкостного конденсаторного накопителя энергии / Е. В. Рябко, К. А. Рябко, А. В. Сацюк // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. – 2020. – № 59. – С. 73-82. – EDN QCRRZB.
4. Бозюкова, Е. Ю. Структура мультиагентной системы для оптимизации движения шахтного транспорта / Е. Ю. Бозюкова, С. А. Олейникова // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2020. – Т. 16, № 2. – С. 32-37. – DOI 10.25987/VSTU.2020.16.2.005. – EDN CRIDWB.
5. Рябко, К. А. Основные параметры регулирования привода шахтных локомотивов на электрической тяге / К. А. Рябко, Е. М. Арефьев, Е. В. Рябко // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 2. – С. 300-313. – EDN FBHDFS.
6. Гутаревич, В. О. Общие логистические подходы к формированию процесса перевозки грузов подвесной монорельсовой дорогой / В. О. Гутаревич, Е. Л. Игнаткина // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития : Материалы международной научно-технической

конференции: в 2-х частях, Петропавловск-Камчатский, 17–19 октября 2018 года / Ответственный за выпуск О.А. Белов. Том Часть 2. – Петропавловск-Камчатский: Камчатский государственный технический университет, 2019. – С. 61-63. – EDN SAXVGC.

7. Буклагина, Г. В. Оптимизация транспортных потоков / Г. В. Буклагина // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. – 2005. – № 4. – С. 1220. – EDN HUSRON.

8. Озорнин, М. С. Регламент технологического процесса эксплуатации шахтного электровозного транспорта / М. С. Озорнин // Наука - производству. – 2006. – № 1. – С. 41-42. – EDN HTDPCD.

9. Рябко, К. А. Обоснование технико-экономических показателей шахтных монорельсовых локомотивов / К. А. Рябко, В. О. Гутаревич // Горные науки и технологии. – 2021. – Т. 6, № 2. – С. 136-143. – DOI 10.17073/2500-0632-2021-2-136-143. – EDN SIQVNJ.

10. Рябко, К. А. Теоретическая оценка эффективности эксплуатации горнотранспортных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге / К. А. Рябко // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2022. – № 6. – С. 72-82. – DOI 10.21440/0536-1028-2022-6-72-82. – EDN MCCUFZ.

11. Харитонов, И. Ю. Исследование особенностей организации движения транзитного транспорта по дорожной сети Промышленновского района Кемеровской области / И. Ю. Харитонов, М. С. Босс // Сборник материалов VIII Всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая», Кемерово, 19–22 апреля 2016 года / Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева; Ответственный редактор О.В. Тайлаков. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2016. – С. 219. – EDN WKJZMV.