

# ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ ТА СИСТЕМИ

УДК 622.489:658.012.011

**В.В. Слесарев, д-р техн. наук, проф.,  
А.В. Малиенко**

Государственное высшее учебное заведение „Националь-  
ный горный университет“, г. Днепропетровск, Украина,  
e-mail:andrei.malienko@mail.ru

## УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТОМ НА УГОЛЬНОЙ ШАХТЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМЫ РАСЧЕТНОГО ОБОСНОВАНИЯ

**V.V. Slesarev, Dr. Sci. (Tech.), Professor,  
A.V. Malienko**

State Higher Educational Institution “National Mining Univer-  
sity”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: andrei.malienko@mail.ru

## APPLICATION OF THE DESIGN-BASIS JUSTIFICATION SYSTEM FOR TRANSPORT MANAGEMENT IN COAL MINES

**Цель.** Разработка метода расчёта моделей транспортной системы шахты при решении задачи обеспечения взаимной увязки всех звеньев по пропускной способности и режиму работы очистных забоев.

**Методика.** Расчёт работы подземного транспорта обеспечивается достаточным количеством вагонеток и правильным размещением их в точках погрузки и по обменным пунктам. Выбор методов основан на принципе создания условий для наиболее быстрого включения в работу очистных и подготовительных забоев, а также транспортной цепи.

**Результаты.** Обоснован выбор метода расстановки транспортных средств, необходимых предприятию, двумя способами – расстановкой их по рабочим местам и по времени полного оборота транспортных средств в шахте. Показано, что предложенный подход позволяет организовать работу по графику, предусматривающему движение поездов один за другим.

**Научная новизна.** Научная новизна предложенного в работе метода состоит в том, что при его использовании станет возможно производить проверку транспортной системы шахты по параметрам и определять более рациональную организацию откатки.

**Практическая значимость.** Разработка метода расчёта моделей транспортной системы шахты при решении задачи обеспечения взаимной увязки всех звеньев по пропускной способности и режиму работы очистных забоев позволяет создать программный комплекс для систем диспетчерского управления угольной шахтой.

**Ключевые слова:** *подземный транспорт, пропускная способность транспортной цепи, грузооборот*

**Введение.** При осуществлении управляющих воздействий на технологические процессы угольной шахты необходимо учитывать, что только совместное рассмотрение технологических и энергетических ограничений в их вероятностных проявлениях, направленное на дальнейшее совершенствование технологии и организации производства, на создание условий для более эффективного использования оборудования, создает предпосылки для повышения эффективности производства. Правильный выбор вида транспортных средств, умелая организация их эксплуатации – одно из самых важных условий, обеспечивающее работу по добыче угля без сбоев. При этом максимально эффективно используется забойное оборудование. На шахтах применяются два вида

транспорта: прерывного действия (воздуховозный, электровозный, гировозный, концевыми канатами) и непрерывного (конвейерный, гидротранспортный, бесконечным канатом).

**Состояние вопроса.** Главное при управлении и организации транспортной системы предприятия – обеспечение взаимной увязки всех звеньев по пропускной способности и режиму работы очистных забоев.

Высокопроизводительная работа подземного транспорта обеспечивается достаточным количеством вагонеток и правильным размещением их в точках погрузки и по обменным пунктам. Число данных транспортных средств, необходимых предприятию, можно определить двумя способами:

- расстановкой их по рабочим местам;
- по времени полного оборота транспортных средств в шахте.

Расчет, согласно первому из указанных методов, основан на принципе создания условий для наиболее быстрого включения в работу очистных и подготовительных забоев, а также транспортной цепи.

**Экспериментальные исследования.** Одной из наиболее общих характеристик горного предприятия, дающих представление о степени загруженности транспортных служб, является его грузооборот.

Грузооборотом называют количество груза, охарактеризованное массой (т.) или объемом ( $m^3$ ), перемещаемого в пределах горного предприятия за некоторый период времени. Обычно в качестве этого периода в планово-экономических расчетах выступают год, месяц и сутки. При этом говорят о годовом, месячном или суточном грузообороте. Однако известны случаи расчета месячного и сменного грузооборота (соответственно, за месяц и за смену).

Грузооборот называют сосредоточенным, если основное количество груза перемещается по одним и тем же транспортным коммуникациям, и рассредоточенным, если грузы перемещаются по разным транспортным путям.

Основную часть грузооборота действующего горного предприятия составляет перемещение полезного ископаемого, меньшую – пустой породы, закладочных материалов, хозяйственно-технических грузов. Грузооборот определяется проектной мощностью шахты, рудника или карьера и изменяется по мере развития горного предприятия, проводимых на нем горных работ. Значения грузооборота современных горных предприятий непрерывно возрастают. При этом объем необходимых транспортных работ и величина затрат на их выполнение определяется грузооборотом и расстоянием транспортирования.

При определении степени загруженности отдельных транспортных магистралей горного предприятия, при выборе средств транспорта, на них используют понятие „грузопоток“.

Грузопотоком называют количество груза, охарактеризованное массой (т.) или объемом ( $m^3$ ), перемещаемое по определенной выработке в единицу времени. В соответствии с этим различают минутный (т./мин;  $m^3$ /мин), часовой (т./ч;  $m^3$ /ч), сменный (т./смену;  $m^3$ /смену) и суточный (т./сутки;  $m^3$ /сутки) грузопотоки.

Для нормального ведения горных работ необходимо существование двух встречных по направлению грузопотоков: прямого (или главного) и обратного (или вспомогательного).

Прямой грузопоток направлен от подготовительного или очистного забоя к стволу и включает следующие грузы: уголь (горную массу), породу, оборудование, подлежащее выдаче на поверхность, людей.

Обратный грузопоток направлен от ствола к забоям и включает такие грузы, как: оборудование, подлежащее монтажу, крепежные, взрывчатые и прочие материалы, породу (для закладочных работ), людей.

Оба эти грузопотока могут обеспечиваться одними и теми же транспортными средствами или различными, однотипными или разными по своему ти-

пу. В некоторых случаях для того или иного грузопотока могут быть применены специальные транспортные машины.

Грузопотоки полезного ископаемого на горном предприятии называют основными, а систему транспортных машин, осуществляющих перевозку полезного ископаемого – основным транспортом.

Грузопотоки всех остальных грузов называют вспомогательными, а их транспорт – вспомогательным транспортом.

Характерной особенностью шахтных грузопотоков является их крайняя неравномерность: грузопотоки резко, в течение непродолжительных периодов времени, значительно изменяют свою величину. Так, формирование грузопотока угля из очистного забоя – основного грузопотока угольных шахт, происходит под влиянием множества горно-геологических, технических, технологических и организационных факторов, случайным образом влияющих на величину рассматриваемого грузопотока. Это определяет случайный характер его интенсивности – мгновенных значений грузопотока. Кроме того, процесс выемки угля – циклический процесс. Периоды непрерывного поступления угля из забоя чередуются с периодами отсутствия его поступления. Причем длительность этих периодов носит также случайный характер. Это является причинами неравномерности грузопотока.

Степень неравномерности грузопотока принято характеризовать коэффициентом неравномерности  $k_n$ , который определяется

$$k_n = U_{\max} / \bar{U},$$

где  $U_{\max}$  – максимальная интенсивность грузопотока;  $\bar{U}$  – математическое ожидание значений интенсивности грузопотока.

Для грузопотоков действующих шахт значения  $k_n$  колеблются в широких пределах, что определяется различными факторами технического, технологического и организационного характера. Опытные данные говорят о том, что для современных угольных шахт диапазон изменения составляет от 1,25 до 4,5.

Наибольшей неравномерностью отличаются грузопотоки выемочных и подготовительных участков, для которых  $k_n = 2,5...4,5$ . Значения  $k_n$  уменьшаются для грузопотоков на сборных транспортных выработках, в которые поступают грузопотоки с нескольких участков, зачастую через усредняющие накопительные емкости – бункера. Наименьшую неравномерность имеют грузопотоки главных (магистральных) выработок и околоствольных дворов –  $k_n = 1,20...1,25$ .

Фактические значения грузопотоков по магистральным выработкам эксплуатируемых угольных шахт колеблются от 50 до 2000 т./ч, на рудных шахтах – от 100 до 6000 т./ч и более. Изменения в по-

ступлени груза приводят к тому, что в отдельные периоды времени могут возникнуть недогрузки или перегрузки транспортных средств. Поэтому машины должны иметь достаточные резервы производительности и прочности узлов.

Количественные характеристики грузопотоков устанавливаются в соответствии с горнотехническими условиями шахты с учетом требований широкого внедрения комплексной механизации, автоматизации производственных процессов для каждого из разрабатываемых пластов и основных параметров современных комплексов, применяемых в очистных и подготовительных забоях. Исходя из суточной производительности шахты, принятой длины лавы, мощности пластов и технических характеристик принятых средств выемки, определяют количество очистных забоев, устанавливают минутные, часовые, сменные и суточные грузопотоки угля из очистных забоев по участковым и магистральным горизонтальным и наклонным выработкам с пластов, крыльев и шахты.

Минутные, часовые, сменные и суточные грузопотоки от подготовительных забоев определяют по всем транспортным выработкам исходя из необходимого количества подготовительных забоев, в соответствии с принятыми типовыми сечениями выработок, и планируемых темпов проходки.

Большой объем расчетов при управлении транспортом потребовал создания систем расчетного обоснования (СРО) управлений. В рамках такой системы расчет производится по методике, предложенной К.Ф. Сапицким при подземной разработке пластовых месторождений. К началу добычной смены на погрузочных и обменных пунктах, в околоствольном дворе, на разминовках и канатах должно находиться определенное количество порожних вагонеток. Общую потребность в вагонетках рассчитываем согласно формуле

$$N^b = (n^1 + n^2 + n^3 + n^4 + n^5 + n^6)k^1k^2,$$

где  $(n^1 + n^2 + n^3 + n^4 + n^5 + n^6)$  – количество вагонеток к началу смены на погрузочных пунктах очистных и подготовительных забоев, на обменных пунктах шахты, в околоствольном дворе, на канатах, в движении между обменными пунктами, на поверхности шахты;  $k^1$  – коэффициент, учитывающий количество вагонеток, находящихся в ремонте (принимается значения 1,0–1,15);  $k^2$  – коэффициент, учитывающий резерв исправных вагонеток (принимается значения 1,1–1,15).

Необходимое количество вагонеток по времени их полного оборота определяем по следующей формуле

$$N^b = \frac{D_y t_y + D_n t_n}{T} k_1 k_2,$$

где  $t_y, t_n$  – время полного оборота вагонетки с углем и породой, ч;  $D_y$  – объем угля, добываемого шахтой

за сутки, т.;  $D_n$  – количество породы, выдаваемое за сутки, т.;  $T$  – продолжительность работы транспорта по выдаче груза в течение суток, ч.

В связи с ростом нагрузок на очистной забой пропускную способность выработок можно повысить, применив двухпутевую откатку. Системой управления предусмотрена возможность работы и с данным вариантом. Работа в данном случае организуется по графику, предусматривающему движение поездов один за другим. При этом возможное количество одновременно работающих электровозов определяем по формуле

$$n^{\max} = \frac{t_p}{t_{\max}},$$

где  $n^{\max}$  – максимальное число электровозов;  $t_p$  – продолжительность рейса, мин;  $t_{\max}$  – наибольшая длительность маневровых операций на одном из конечных пунктов маршрута, мин.

Пропускная способность выработки при этом равна, т./ч

$$P = \frac{60Q_c n^{\max}}{t_p k_n},$$

где  $Q_c$  – емкость состава, т.;  $k_n$  – коэффициент неравномерности работы откатки.

Для каждого откаточного маршрута на основе предварительного расчета строятся графики движения электровозов, и определяется продолжительность рейса

$$t^p = \frac{2L}{V} + t^1 + t^2 + t^M,$$

где  $L$  – общая длина откаточного пути в одну сторону, м;  $V$  – средняя скорость движения электровоза, м/мин;  $t^1, t^2$  – продолжительность маневров у начального и конечного пунктов, мин;  $t^M$  – время стоянки на разминровке, мин.

В зависимости от количества погрузочных пунктов, числа электровозов, а также путевого размещения, механизации и организации маневровых работ применяются различные типы графиков движения транспорта.

Автоматически системой фиксируются простои всех вспомогательных ветвей, от параметров которых зависит рациональная организация откатки.

На основании анализа технологических особенностей, многообразия горно-геологических, горнотехнических и технико-экономических показателей шахт Восточного Донбасса [3] рассмотрим классификацию технологических схем по характерным признакам. Основу классификации составляют три группы, отражающие особенности залегания пластов, схем подготовки и систем отработки шахтных полей, схем и видов подземного транспорта угля и породы, и т.п. Каждая из этих групп представлена под ос-

новними найменуваннями технологічних схем № 1–3 (рис. 1–3).

Технологічна схема № 1 об'єднує групу шахт потужністю 600–1500 тис. тонн угля в год, які розробляють уклонні поля пластів з углом падіння 12–18°, схема підготовки пластів панельна, транспорт угля і породи в межах панелі конвейерний, по магістральним штрекам порода транспортується локомотивами, а уголь – конвейерами.

Технологічна схема шахти № 2 об'єднує групу потужністю 900–3000 тис. тонн в год, які розробляють уклонні поля пластів з углом падіння до 12°, схема підготовки пластів довгими столбами до востаню (падінню), транспорт угля і породи в межах вьомочного столба конвейерний, по магістральним штрекам порода транспортується локомотивами, а уголь – конвейерами.

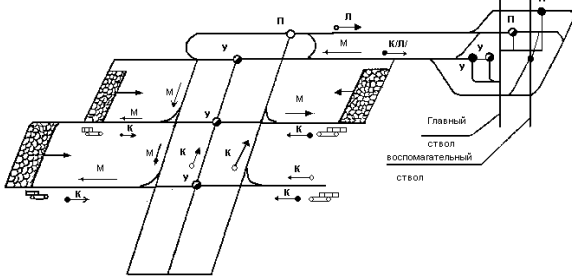


Рис. 1. Технологічна схема № 1, група шахт потужністю 600–1500 тис. тонн угля в год

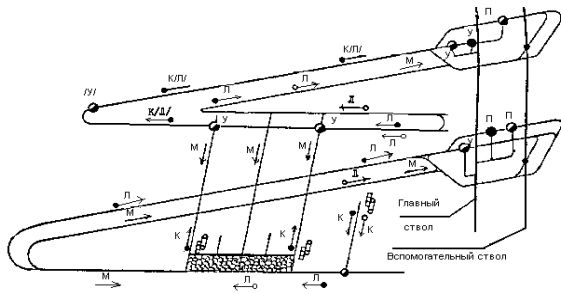


Рис. 2. Технологічна схема № 2, група шахт потужністю 900–3000 тис. тонн в год

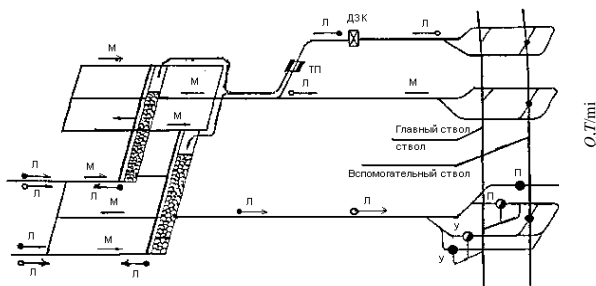


Рис. 3. Технологічна схема № 3, група шахт потужністю 600–1200 тис. тонн угля в год

Технологічна схема шахти № 3 об'єднує групу шахт потужністю 600–1200 тис. тонн угля в

год, які розробляють наклонні, крутонаклонні і крутопадаючі пласти, схема підготовки етажная, здійснюється оставление породи в шахте. Дробильно-закладочний комплекс (ДЗК) може располагаться на поверхности или под землей [5]. Дробленая порода локомотивами доставляется к пневмозакладочной машине и сжатым воздухом по трубам транспортируется в выработанное пространство очистного забоя, заполняя его под собственным весом.

Транспорт угля і рядової породи в схемі № 3 здійснюється локомотивами.

Результати дослідження грузопотоков по всім типам технологічних схем представлені на рис. 4–6. При цьому варіюєміє переменніє представляють собою текущее время в минутах, к значению грузопотока, которое измеряется тоннами в минуту.

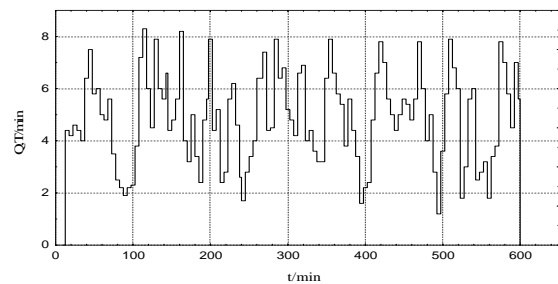


Рис. 4. Реалізація грузопотока для технологічної схеми № 1

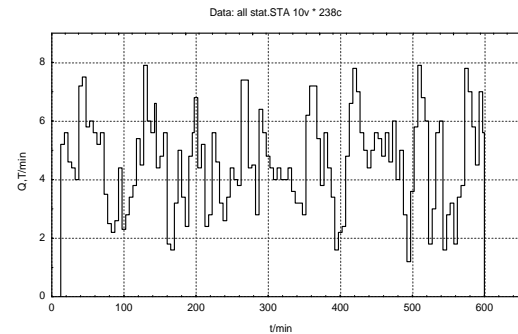


Рис. 5. Реалізація грузопотока для технологічної схеми № 2

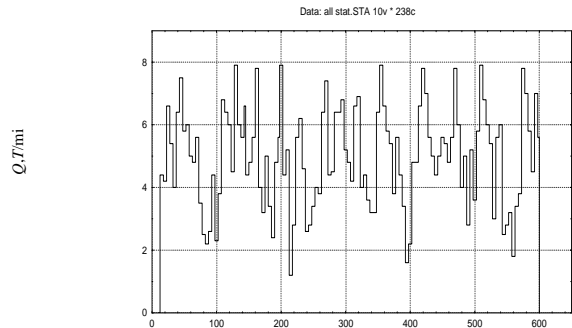


Рис. 6. Реалізація грузопотока для технологічної схеми № 3

В результате такого анализа установлено, что математическое ожидание нагрузки на лаву принимает

значения в диапазоне 4,05–4,74 тонн в минуту, среднее квадратичное отклонение находится в диапазоне 0,81–1,67.

Таким образом, коэффициент вариации по анализируемым грузопотокам принимает значения в диапазоне 0,18–0,35, а величину грузопотоков следует рассматривать как случайную величину с нормальным законом распределения.

Разработанная СРО производит проверку по параметрам и определяет более рациональную организацию откатки, при этом:

- максимально сокращается продолжительность маневровых операций в начальных и конечных пунктах движения транспортных средств;
- осуществляется откатка по главным выработкам составами с большей грузоподъемностью;
- планируется движение электровозов по заранее составленному графику;
- производится рациональная расстановка вагонного парка;
- возможна корректировка процессов работы транспорта сменным диспетчером.

**Вывод.** Таким образом, в рамках разработанной части управления транспортом системы диспетчерского управления, обеспечивается автоматизированное получение данных в реальном режиме времени, формирование графиков движения транспорта по отдельным маршрутам на горизонте околоствольного двора, объединяя их в сводные общешахтные графики, увязав при этом работу очистных забоев, околоствольного двора, подъема.

#### Список литературы / References

1. Слесарев В.В. Оптимальное распределение нагрузок на лавы при нестационарной добыче в условиях угольных шахт / В.В. Слесарев, М. Гаяда // Научный вестник национального горничого университета. – 2005. – № 3. – С. 72–73.
- Slesarev, V.V. and Gayada, M. (2005), “Optimum distribution of loadings to lavas at non-stationary production in the conditions of coal mines”, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 3, Dnepropetrovsk, pp. 72–73.
2. Технология подземной разработки пластовых месторождений полезных ископаемых / [Д.В. Дорохов, В.И. Сивохин, И.С. Костюк, А.С. и др.]; под общ. ред. Д.В. Дорохова. – Донецк: ДонГТУ, 1997. – 344 с.
- Dorokhov, D.V., Sivokhin, V.I., Kostyuk, I.S. and Podtikalov, A. (1997), *Tehnologia podzemnoy razrabotki plastovykh mestorogdeniy poleznykh iskopaemykh: Uchebnyk dlia vuzov* [The Technology of Underground Extraction of Layered Mineral Deposits], Donetsk, Ukraine.
3. Демин В.Ф. Экспертная система выбора оптимальной технологической схемы очистных работ / В.Ф. Демин, Д.В. Сон – Караганда: КарГТУ, 2006. – 193 с.
- Demin, V.F., Son, D.V. (2006), *Expertnaya sistema vybora optimalnoy tehnologicheskoy skhemy ochistnykh rabot* [The Expert System for Selection of Optimum Process Flowsheet of Coal-Face Work], Karaganda, Russia.

**Мета.** Розробка методу розрахунку моделей транспортної системи шахти при рішенні задачі забезпечення взаємної ув'язки всіх ланок за пропускною спроможністю та режимом роботи очисних забоїв.

**Методика.** Розрахунок роботи підземного транспорту забезпечується достатньою кількістю вагонеток і правильним розміщенням їх у точках вантаження та за обмінними пунктами. Вибір методів заснований на принципі створення умов для найбільш швидкого включення в роботу очисних і підготовчих забоїв, а також транспортного ланцюга.

**Результати.** Обґрунтований вибір методу розподілу транспортних засобів, необхідних підприємству, двома способами – розставлянням їх за робочими місцями та за часом повного обороту транспортних засобів у шахті. Показано, що запропонований підхід дозволяє організувати роботу за графіком, що передбачає рух поїздів один за одним.

**Наукова новизна.** Наукова новизна запропонованого в роботі методу полягає в тому, що при його використанні стане можливим проводити перевірку транспортної системи шахти за параметрами та визначати найбільш раціональну організацію відкатки.

**Практична значимість.** Розробка методу розрахунку моделей транспортної системи шахти при рішенні задачі забезпечення взаємної ув'язки всіх ланок за пропускною спроможністю та режиму роботи очисних забоїв дозволяє створити програмний комплекс для систем диспетчерського управління вугільною шахтою.

**Ключові слова:** підземний транспорт, пропускна спроможність транспортного ланцюга, вантажопотік

**Purpose.** To develop the method of calculation of mine transport system models in order to coordinate all parts of the network by carrying capacity and breakage face operation mode.

**Methodology.** The calculation of work of underground transport is provided by fair number of trolleys and their correct placing at loading and exchange points. The methods have been chosen considering the requirement to put into operation development and breakage faces, and transport chain as quickly as possible.

**Findings.** We have substantiated the transport vehicles distribution procedure by two methods: placing them on workplaces and by complete turn-around time of transport vehicles in a mine. The offered approach allows us to organize train schedule with movement in rapid sequence.

**Originality.** The method allows us to verify the work of transport system by its parameters and determine more rational organization of transportation.

**Practical value.** The method of calculation of mine transport system models allowing coordination of all parts of the network by carrying capacity and breakage face operation mode allows creating the programmatic complex for the dispatch control systems of coal mines.

**Keywords:** underground transport, transport chain carrying capacity, traffic of goods

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.В. Ткачовим. Дата надходження рукопису 29.04.13.