Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1985, т. 106

УДК 622.612

ОСНОВЫ РАСЧЕТА РУДНИЧНОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОВОЗНОГО ТРАНСПОРТА

В.Н.КОРДАКОВ

Одним из путей совершенствования рудничного электровозного транспорта является его автоматизация. Эффективность автоматизации определяется повышением надежности электромеханического оборудования, созданием условий безаварийного, безостановочного движения поездов и работы транспорта в режиме обеспечения усреднения показателей качества горной массы.

Повышение эксплуатационной надежности электромеханического оборудования – тяговых двигателей, сцепных устройств вагонеток, ведущих колес электровозов – в основном обеспечивается за счет автоматизации пусковых режимов. Для рудничных контактных электровозов заслуживает внимания система централизованного автоматического пуска. Серийно изготовляемая пусковая тиристорная аппаратура устанавливается на тяговых подстанциях. Контактная сеть разбивается на участки питания, на каждом участке в режиме пуска и движения могут находиться один или несколько поездов [I]. Существующая на электровозах реостатная пусковая аппаратура используется при пусконаладочных работах или аварийных ситуациях. Наличие двух пусковых систем на электровозном транспорте повышает надежность и ритмичность транспортировки горной массы, что особенно важно для концентрационных горизонтов рудников.

Создание централизованных систем автоматического пуска поездов повышает капитальные затраты на электровозный транспорт. С увеличением массы поезда повышаются токовые нагрузки в контактной сети, увеличивается количество тяговых подстанций, что создает ограничения при выборе рациональных параметров рудничного электровозного транспорта.

Одним из важных звеньев рудничного электровозного транспорта является автоматическая система обеспечения безопасности движения поездов. Внедрение системы исключает столкновения поездов независимо от реакции машинистов. Для этой цели транспортная сеть откаточного горизонта разбивается на отдельные секции. На каждой секции может находиться только один поезд. Длина секции определяется величиной тормозного пути, длиной поезда, интервалом между поездами и их рассогласованием скоростей движения. Правильный выбор параметров – массы поезда, скоростей движения, регламентированного времени диспетчерского разрешения на отправку поезда с пункта погрузки позволит решить задачу организации безостановочного движения поездов при секционировании транспортной сети.

С целью более полного использования сырьевой базы на горных предприятиях создаются усреднительные устройства. Обогащение усредненной горной массы позволяет повысить извлечение полезных компонентов в концентрат. Уменьшение затрат на создание и эксплуатацию усреднительных устройств возможно за счет организации упорядоченного входного потока порций горной массы. В каждом цикле этого потока должно содержаться определенное количество поездов, имеющих отличительные показатели качества горной массы с учетом запланированного объема перевозки. С увеличением массы поезда повышается объем усреднительного устройства. Оптимальной массой поезда является такая, которая обеспечивает минимизацию суммарных приведенных затрат на транспортировку и усреднение горной массы. Это положение должно найти отражение при выполнении тяговых расчетов рудничного автоматизированного электровозного транспорта.

Существующие методики тяговых расчетов основаны на определении соответствия технических параметров электровозов и прицепной части поезда. В качестве целевой функции при выборе типа электровоза предлагается использовать минимизацию транспортных затрат на электровозы и вагонный парк. В особых случаях принимаются во внимание затраты на вентиляцию и сооружение горных выработок, а также требование бесперебойного обеспечения безбункерных погрузочных пунктов порожняком. Проектные организации пользуются нормами проектирования, в которых приведены рекомендации по выбору типа электровоза в зависимости от производительности откаточного горизонта, длины транспортировки горной массы. В существующих методиках тяговых расчетов не нашли отражения представленные выше положения, определяющие требования и уровень автоматизации рудничного электровозного транспорта.

При ритмичном движении поездов по магистральным транспортным путям откаточного горизонта их движение по вспомогательным, имеющим общие транспортные узлы, носит аритмичный характер. Периоды максимальных интервалов времени между поездами чередуются с периодами минимальных интервалов времени. Коэффициенты кратности интервалов времени, равные отношению интервалов времени между поездами, находящимися на вспомогательных ветвях, к интервалу времени Δt_0 между поездами, находящимися на магистральных путях, равны целочисленным значениям. Это положение целесообразно учитывать при рассмотрении процесса движения поездов к погрузочным или разгрузочным пунктам, расположенным на вспомогательных транспортных ветвях. Коэффициент ритмичности транспортного потока – при циклическом движении поездов определяется из выражения

$$k_{тр} = Ц'_т Ц_т^{-1}, \qquad (I)$$

где $Ц_т$ – общее количество поездов с постоянным интервалом времени Δt_0 в цикле усреднения показателей качества горной массы; $Ц'_т$ – минимальное количество интервалов времени между поездами, находящимися на вспомогательной транспортной ветви в цикле усреднения показателей качества,

$$Ц'_т = \begin{cases} n_{min}\xi_{min} & \text{при } \xi_{min} \le \xi_н + \xi_к, \\ (\xi_н + \xi_к) & \text{при } \xi_{min} > \xi_н + \xi_к, \\ \xi_{min} & \text{при } \xi_{min} = \xi_{max} < \xi_н + \xi_к, \end{cases} \quad (2)$$

где ξ_{max}, ξ_{min} – максимальное и минимальное значения коэффициентов кратности интервалов времени между поездами; $\xi_н$, $\xi_к$ – начальное и конечное значения коэффициентов кратности интервалов времени; n_{min} – число поездов с минимальными интервалами времени в цикле усреднения.

На основании экспериментальных исследований, проведенных на ряде горных предприятий, установлено, что простои погрузки в основном определяются периодическим отсутствием горной массы на выходе рудоспусков. В процессе разгрузки горной массы простои обусловлены необходимостью очистки вагонов. Коэффициент готовности процессов погрузки или разгрузки при циклическом транспортном потоке определяется из выражения

$$k_{пр} = \frac{q_c Ц'_т}{q_c Ц'_т + 3{,}6^{-1}\cdot 10^{-3} k_э Q_{пр} T_{пр} (Ц_т - Ц'_т)}, \quad (3)$$

где q_c – полезная емкость поезда, м³; $k_э$ – коэффициент запаса по производительности; $T_{пр}$ – среднестатистическое время простоя процесса погрузки (разгрузки), с; $Q_{пр}$ – часовая производительность погрузочного (разгрузочного) пунктов, $м^3 \cdot м^{-1}$.

Тип погрузочного или разгрузочного устройства выбирается, исходя из условия

$$Q_{пр} > Q_{тр} \xi_р^{-1}, \quad (4)$$

где $Q_{тр}$ – часовая производительность откаточного горизонта, $м^3 \cdot ч^{-1}$; $\xi_р$ – расчетная величина коэффициента кратности интервала времени в цикле усреднения показателей качества,

$$\xi_р = min\left[\xi_{min};\ (\xi_н + \xi_к)\right]. \quad (5)$$

Учитывая, что коэффициент $k_{тр}$ – детерминированная величина, а $k_{пр}$ – случайная, а также условие организации безостановочного движения поездов по транспортным путям откаточного горизонта, необходимо выполнение условия:

$$k_{тр} \le k_{пр}. \quad (6)$$

С использованием представленных выражений при заданных параметрах циклического транспортного потока и погрузочного (разгрузочного) пункта определяется величина минимальной емкости поезда $q'_{c\,min}$, соответствующая равенству коэффициентов $k_{тр}$ и $k_{пр}$. При увеличении емкости поезда выше $q'_{c\,min}$ неравенство (6) всегда соблюдается.

Автоматические системы обеспечения безопасности движения поездов основаны на секционировании транспортной сети при контроле прохождения

поездов, осуществляемом с помощью датчиков. При секционировании транспортной сети в местах погрузочных или разгрузочных работ необходимо обеспечить ритмичность движения поездов на прилежащей вспомогательной транспортной ветви. Расстояние между смежными путевыми датчиками, устанавливаемыми на транспортной сети, определяется из выражения

$$\Delta l_c = 2(l_т + l_п) + l_г , \qquad (7)$$

где $l_т$ – длина тормозного пути поезда, определяемая на основании существующей методики, м; $l_г$ – гарантированное расстояние, обеспечивающее безостановочность движения поездов, м; $l_п$ – длина поезда,

$$l_п = 1{,}1 r_в q_c , \qquad (8)$$

где $r_в$ – конструктивная постоянная вагонетки,

$$r_в = l_в q_в^{-1} , \qquad (9)$$

$l_в$ – длина вагонетки, м; $q_в$ – емкость вагонетки, м^3.

Гарантированное расстояние, определяемое технологией производства погрузочных (разгрузочных) работ при условии совмещения операций погрузки (разгрузки) и диспетчерского разрешения на отправку поезда равно

$$l_г' = \begin{cases} (T_р + T_{пр} + T_{орг} + T_д')V_м & \text{при } \xi > \xi_{min}; \\ (T_р + T_{орг} + T_д')V_м & \text{при } \xi = \xi_{min}, \end{cases} \qquad (10)$$

где $T_р$ – время погрузки горной массы,

$$T_р = 3{,}6 \cdot 10^3 q_c k_э^{-1} a_{пр}^{-1} , \qquad (11)$$

$T_{орг}$ – время на подготовку поезда к отправке с пункта погрузки (разгрузки), принимаемое равным в соответствии с существующими нормами проектирования, с; $T_д'$ – время диспетчерского разрешения на отправку поезда, равное существующим нормативным данным, с; $V_м$ – скорость движения поезда в зоне маневровых работ, мс$^{-1}$.

С целью повышения надежности процесса погрузки (разгрузки) целесообразно операцию диспетчерского разрешения на отправку поезда осуществлять на последующей секции безопасности. В этом случае в выражении (10) $T_д' = 0$, а гарантированное расстояние этой секции

$$l_г'' = T_д'' V_м , \qquad (12)$$

где $T_д''$ – время операции диспетчерского разрешения на начало движения поезда после погрузки (разгрузки), осуществляемое на смежной секции безопасности.

При проектировании систем обеспечения безопасности движения поездов и определении параметров системы диспетчерского управления предпочтительным является разделение операций погрузки и диспетчерского управления.

Это позволяет увеличить время $T_д^{''}$ в сравнении с $T_д^{'}$, что повышает надежность безостановочного движения поездов по откаточному горизонту и выбрать менее быстродействующую и более дешевую аппаратуру диспетчерского управления. Однако для реализации данного предложения необходимо наличие достаточно развитой транспортной сети, предусматривающей возможность создания секции диспетчерского запроса.

Из-за неравномерности загрузки вагонеток и отличия скоростных характеристик электровозов скорости движения поездов отличаются друг от друга. С учетом этого конечное расстояние между поездами при их подходе к пунктам назначения определяется из выражения

$$\Delta l_к = \Delta l_н - \Delta V_0 L V_ч V_м^{-1}, \qquad (13)$$

где $\Delta l_н$ – начальное расстояние между поездами

$$\Delta l_н = 3{,}6 \cdot 10^3 q_c k_э^{-1} Q_{тр}^{-1} V_м \xi_р, \qquad (14)$$

ΔV_0 – относительная величина рассогласования скоростей поездов,

$$\Delta V_0 = \Delta V V_ч^{-1}, \qquad (15)$$

ΔV – абсолютное значение рассогласования скоростей поездов, $мс^{-1}$; L – средневзвешенная длина откатки от начального до конечного пунктов, м; $V_ч$ – среднеходовое значение скоростей поездов, $мс^{-1}$.

Условие обеспечения безостановочного движения при секционировании транспортной сети в зоне погрузочных или разгрузочных работ имеет вид

$$\Delta l_c \leq \Delta l_к. \qquad (16)$$

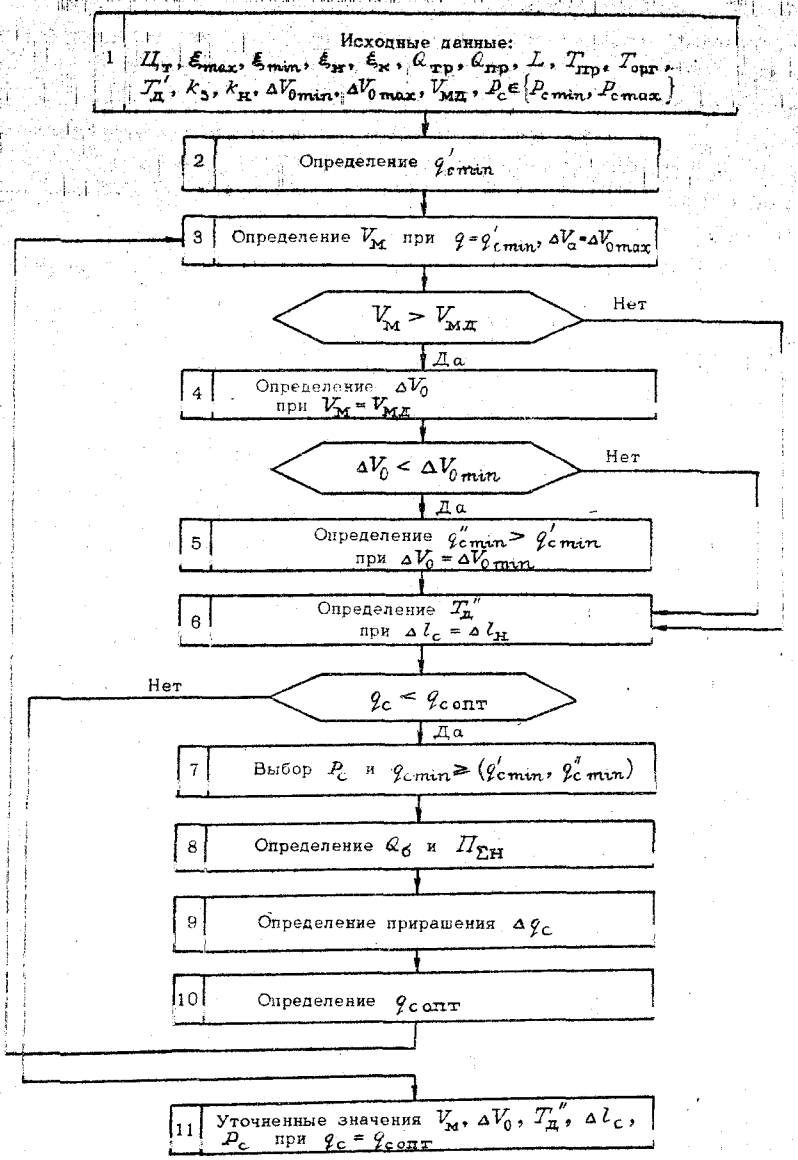
На основании выражений (7)-(16) представляется возможным определить параметры движения поездов $V_м$, ΔV_0 и емкость поезда при условии их поочередного ограничения и $\Delta l_c = \Delta l_к$. С увеличением емкости поезда q_c, величины скорости $V_м$ и уменьшением ΔV_0 условие (16) всегда выполнимо, что необходимо учитывать в расчете.

При циклическом транспортном потоке емкость усреднительного устройства

$$Q_б = k_н Ц_т q_c, \qquad (17)$$

где $k_н$ – коэффициент неравномерности загрузки усреднительного устройства, определяемый в соответствии с существующей методикой.

В блоке I блок-схемы представлены исходные данные. Относительные величины отклонения скоростей $\Delta V_{0\,max}$ и $\Delta V_{0\,min}$ приводятся соответственно для существующего привода электровода без системы стабилизации и при наличии системы стабилизации скорости движения поездов, которые определяются их техническими возможностями. Допустимая скорость движения поезда на маневровых участках транспортного пути $V_{мд} = 2{,}7$ $мс^{-1}$. Величины предлагаемого ряда масс рудничных электровозов $P_c \in \{P_{c\,min}, P_{c\,max}\}$ представ-



Блок-схема расчёта оптимальных параметров рудничного автоматизированного электровозного транспорта

лены с учетом возможности их работы по системе многих единиц. Для предлагаемой централизованной системы пуска возможно совмещение в одном поезде нескольких электровозов, даже с различной сцепной массой. Это увеличивает рассматриваемый диапазон масс поездов.

Минимальная емкость поезда $q'_{c\,min}$ вычисляется в блоке 2 по формулам (I)-(6), исходя из условия обеспечения требуемой надежности процесса погрузки (разгрузки) в цикле усреднения показателей качества горной массы. При этом выбирается максимальная величина, определяемая наиболее загруженной транспортной ветвью, имеющей низкий показатель надежности процесса погрузки (разгрузки).

В блоках 3-5 алгоритма производится поэтапное определение и сравнение с допустимыми величинами относительного значения изменения скорости поезда, скорости маневрового режима и при необходимости уточняется масса $q''_{c\,min}$ поезда по формулам (7)-(I6).

Для случая разделения процессов диспетчерского управления и погрузки (разгрузки), осуществляемых на различных секциях безопасности, в блоке 6 алгоритма определяется величина $T''_{д}$ по формулам (7), (8), (I2). При этом в блоках 3-5 $T'_{д} = 0$.

Выбор ближайшего большего типа тягового устройства производится в соответствии с существующими методиками [2] в блоке 7 алгоритма. Там же уточняется емкость поезда $q_{c\,min}$ при полном использовании возможностей тягового устройства.

С учетом выражения (I7) и существующих методов технико-экономических расчетов в блоке 8 алгоритма определяются емкость усреднительного устройства и суммарные начальные приведенные затраты $П_{\Sigma_н}$ на транспортировку и усреднение показателей качества горной массы для поезда с емкостью $q_{c\,min}$.

В блоке 9 алгоритма по методике [3] вычисляется допустимое приращение Δq_c емкости поезда с учетом минимизации суммарных приведенных затрат.

Величина оптимальной емкости поезда (блок I0)

$$q_{c\,опт} = q_{c\,min} + \Delta q_c , \qquad (I8)$$

а также скорректированные параметры движения и диспетчерского управления определяются в блоках 3, 4, 6, 7, I0, II алгоритма.

На основании представленного алгоритма были определены параметры автоматизированного электровозного транспорта гор.I070 м рудника Алтын-Тонкан Алмалыкского горно-металлургического комбината.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 821246 (СССР). Контактная сеть для автоматизированной электровозной откатки / В.Н.Кордаков, О.Б.Лакота, А.С.Пантелеев. Опубл. в Б.И. 1981, № 14.

2. Кордаков В.Н. Тяговый расчет рудничного электровозного транспорта. Деп. в ЦНИИЭИуголь, 1982. № 2461.

3. Кордаков В.Н. Эффективность совершенствования рудничного электровозного транспорта. Деп. в ЦНИИЭИуголь, 1982, № 2419.