

# ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ БЕСКОНТАКТНЫМИ ЭЛЕКТРОВОЗАМИ

Чашко М.В., Демченко Г.В.

Донецкий государственный технический университет

ivp@elf.dgtu.donetsk.ua

The article is devoted to questions of definition of an economic feasibility of area of application of mine electric locomotives with the induction power supplies (without electrical contact - pulses of a magnetic flow) in view of set freight traffic and lengths of transportation, at which the given electric locomotives are more economic, than storage. The given material can be used at designing miner electric locomotives.

Работа посвящена транспортным машинам, энергоснабжение которых электрической энергией производится без электрического контакта – импульсами магнитного потока.

Устройство энергоснабжения (рис.1) содержит тяговую линию из изолированного проводника (кабеля), размещенную вдоль трассы движения, и энергоприемник на движущемся объекте (витки провода с магнитопроводом или без него). При работе устройства ток проходит по тяговой линии, создавая вокруг нее магнитный

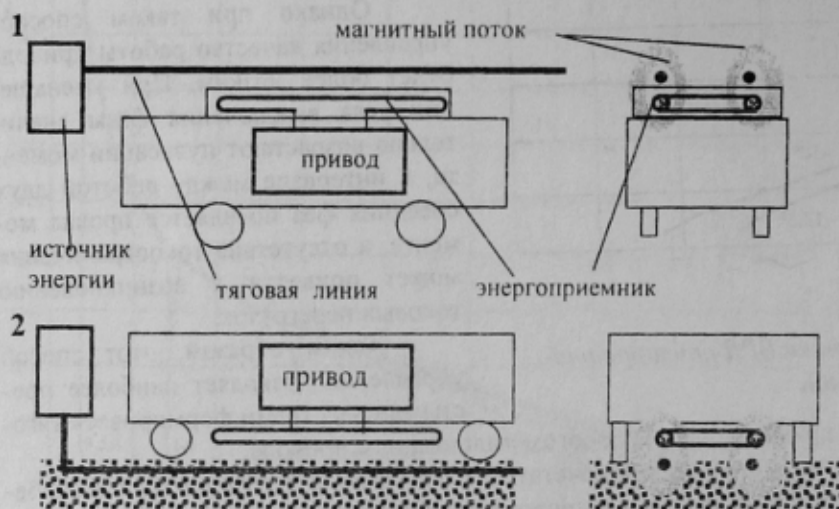


Рисунок 1 - Схема индукционного электропитания

1 – с подвешенной тяговой линией, 2 – с линией в полотне дороги

остальной длине линии поток энергии равномерен. Это позволило уменьшить потери энергии, обусловленные неравномерностью ее потока, и размеры энергоприемника за счет увеличения плотности потока.

Импульс создается накопителем энергии и ключом (рис. 2). В качестве накопителя применяются индуктивность или емкость. В качестве ключей используются полупроводниковые модули из силовых транзисторов или запираемых тиристоров. Программа замыкания – размыкания ключей обеспечивает создание импульсов тока (магнитного потока) на участке линии, где находится транспортная машина, на других участках ток либо отсутствует, либо постоянный или переменный промышленной частоты. Особенность этих систем – на большей части линии энергия не рассеивается импульсом, а плотность потока энергии, исходящего от линии, максимально возможная.

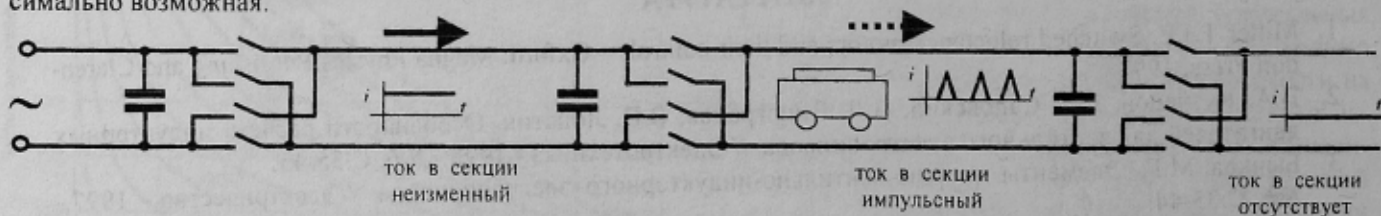


Рисунок 2 - Схема индукционного электропитания импульса

Экономическая оценка индукционного электропитания необходима ввиду важности экономических критериев. Применение индукционных электровозов в случайных условиях может привести к убыткам, поэтому необходимо установить, когда оно прибыльно. В настоящее время существуют экономические расчеты для транспорта с индукционным электропитанием на частоте 5 кГц [1, 2], но они не могут быть применены ввиду существенных отличий исследуемой системы, а именно: отсутствия преобразователей частоты и камер для них; другой совокупности цен и зарплат; других методик расчета.

Задача данной работы – определить экономически целесообразную область применения – совокупность

грузопотоков и длин транспортирования, при которых электровозы с индукционным электропитанием более экономичны, чем аккумуляторные.

Для решения задачи определялась граница областей целесообразного применения как совокупность точек в координатах грузопоток - длина транспортирования - сцепной вес, в которых затраты на приобретение и на эксплуатацию электровозов в течение срока службы одинаковы для электровозов с индукционным и аккумуляторным питанием. Критерием целесообразности индукционного электропитания принята выгода его применения для потребителя - Минуглепрома Украины. Расчеты выполнены по методике ДонУГИ, утвержденной Минуглепромом Украины [3].

Уравнение границы областей целесообразного применения определяется зависимостью

$$K_a + T_a I_a = K_u + T_u I_u \quad (1)$$

где  $K_a, K_u$  - затраты на приобретение электровозов с, соответственно, аккумуляторным и индукционным электропитанием;  $I_a, I_u$  - издержки при эксплуатации аккумуляторных и индукционных электровозов;  $T_a, T_u$  - срок службы электровозов, принят 5 лет по моральному старению  $T_a = T_u$ .

$$K_a = N_a C_3 K_{тр}, \quad K_u = N_u C_3 K_{тр} \quad (2)$$

где  $N_a, N_u$  - количества электровозов, соответственно, аккумуляторных и индукционных;  $C_3$  - цена электровоза;  $K_{тр}$  - коэффициент транспортных расходов.

Количества электровозов рассчитаны как необходимые для обеспечения транспортной работы (тонно-километров в сутки):

$$N_a = AL/q_a, \quad N_u = AL/q_u \quad (3)$$

где  $A$  - грузопоток, т/сутки;  $L$  - длина транспортирования, км;  $q_a, q_u$  - производительности электровозов аккумуляторного и индукционного, ткм/сутки.

Издержки при эксплуатации для аккумуляторных электровозов

$$I_a = N_a n_{см} Z_{маш} n_r T + A c_3 \quad (4)$$

где  $n_{см}$  - число рабочих смен, принято 4;  $Z_{маш}$  - зарплата машиниста электровоза;  $n_r$  - число рабочих дней в году, принято 300;  $c_3$  - затраты энергии на транспортирование 1 т угля.

Расходы на материалы для аккумуляторных электровозов приняты незначимыми.

Для индукционных электровозов

$$I_u = N_u n_{см} Z_{маш} n_r + 2,1 L C_K + A c_3 \quad (5)$$

где  $C_K$  - цена кабеля

Подстановкой формул (2) ÷ (5) в (1) определяется условие эффективности электровозов с индукционным питанием [4]:

$$A (q_a^{-1} - q_u^{-1}) (C_3 K_{тр} + T n_{см} Z_{маш} n_r) \geq 2,1 C_K T \quad (6)$$

Знак неравенства определяет область целесообразного применения, знак равенства - границу этой области.

Производительность аккумуляторного электровоза суточная определяется при условии, что электровоз каждую смену работает со свежезаряженной аккумуляторной батареей, энергию которой он полностью расходует на перемещение поезда. В процессе работы масса поезда половину рейса состоит из массы груза (горной массы) и массы порожнего поезда (локомотив и вагонетки), а половину рейса - только из массы порожнего поезда.

Транспортная работа, которую может выполнить электровоз от одной аккумуляторной батареи, ткм,

$$GL = W_A \eta / w \quad (7)$$

где  $W_A$  - энергоемкость батареи, Дж;  $\eta$  - КПД батареи,  $\eta = 0,3$ ;  $w$  - сопротивление движению поезда, Н/кг.

$$W_A = 3,6 \cdot 10^3 QU \quad (8)$$

где  $Q$  - емкость батареи, А·ч,  $U$  - среднее напряжение батареи, В.

Тогда транспортная работа, которую аккумулятор может обеспечить за одну смену, ткм,

$$GL = 3,6 \cdot 10^3 QU \eta / w, \quad \text{а за сутки} \quad GL_{сут} = 3GL_{см} \quad (9)$$

Принято  $Q = 550$  А·ч,  $w = 0,1$  Н/кг, тогда производительность электровоза, обусловленная источником энергии  $q_{АЭ} = 18U(3 \cdot 3,6 \cdot 10^3 \cdot 550 \cdot 0,3 \cdot U/0,1)$ .

Индукционный электровоз может выполнить транспортную работу

$$GL_{И} = W_{И} / w, \quad W_{И} = 3,6 \cdot 10^3 U I t \quad (11)$$

где  $W_{И}$  - энергия, переданная на электровоз из тяговой линии за время работы, Дж,  $U$  - напряжение на приводе,  $I$  - длительный ток привода, А;  $t$  - продолжительность работы электровоза, час.

Принято  $t = 18$ ,  $w = 0,1$ , тогда

$$q_{ИЭ} = 0,65 U I \quad (12)$$

Производительности  $q_{АЭ}$  и  $q_{ИЭ}$  определены из энергетических соотношений, они не учитывают содержание перевозимого груза, а экономические зависимости нужно иметь в функции грузопотока угля. За рейс электровоз в одну сторону перевозит уголь и массу поезда, включающую массу порожних вагонеток и самого электровоза, в другую сторону - только массу поезда. То есть, независимо от источника питания, производительность электровоза по полезному ископаемому меньше производительности, определенной из энергетических соотношений.

$$q_{АЭ} = q_A(1 + 2 G_{мех}/G_{гуд}), \quad q_{ИЭ} = q_{И}(1 + 2 G_{мех}/G_{гуд}) \quad (13)$$

где  $q_A, q_H$  - производительность электровозов, соответственно, аккумуляторного и индукционного, (т) горной массы в сутки.

Из технических характеристик, приведенных в справочнике [4], принято  $G_{поезда} / G_{уголя} = 0,5$ , так что

$$q_{AЭ} = 2q_A, q_{HЭ} = 2q_H, \quad (14)$$

а граница областей эффективного применения электровозов определяется подстановкой формул (11), (13), (14) в формулу (7) с учетом того, что  $G_{свт} = A$ .

$$A(1 - 28/I)(Ц_{ЭКТР} + Tn_{СМ} Z_{МАШ} n_I) / U = 76Ц_{КТ}; \quad (15)$$

После подстановки численных значений уравнение границы приобретает вид  $A = 2U / (1 - 28/I)$ . Соответственно, индукционные электровозы выгодно применять при грузопотоке

$$A > 2U / (1 - 28/I) \quad (16)$$

При грузопотоках больших или равных  $A$  применение электровозов с индукционным питанием приводит к меньшим суммарным затратам потребителя - за счет уменьшения необходимого количества электровозов благодаря повышению их производительности при индукционном питании.

Графически область эффективного применения индукционного электропитания представлена на рис.3 в координатах грузопоток - сцепной вес - длина транспортирования. Индукционное электропитание эффективно, когда снижение затрат на приобретение электровозов и зарплату машинистов, обусловленное индукционным электропитанием, больше, чем расходы на приобретение кабеля для тяговой линии. Из формул (6), (16) видно, что эффективность применения не зависит от длины транспортирования. Это объясняется тем, что с увеличением длины транспортирования увеличиваются расходы на кабель, но пропорционально уменьшается (по сравнению с аккумуляторным питанием) количество электровозов, необходимое для обеспечения заданной транспортной работы. Соответственно уменьшаются расходы на их приобретение и зарплату машинистов.

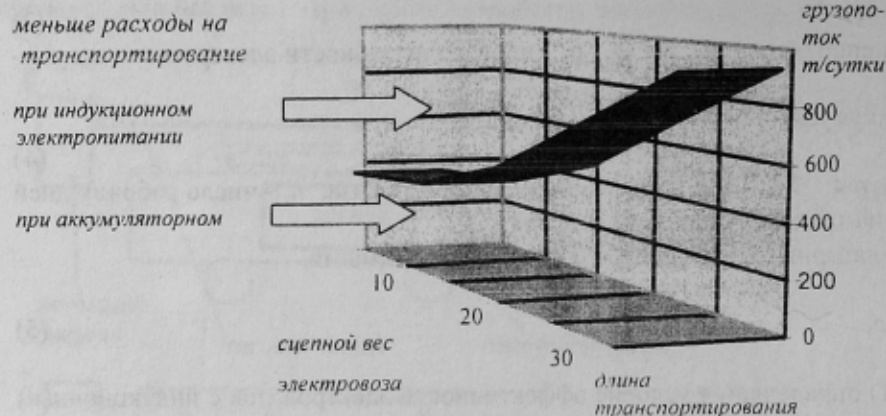


Рисунок 3 - Области эффективного применения бесконтактного энергоснабжения

где уже существует парк аккумуляторных электровозов и индукционное питание вводится взамен аккумуляторного путем установки на электровозах энергоприёмников и прокладки тяговой линии. Для проектируемых шахт область применения шире за счет сокращения объема выработок для электровозного гаража (отсутствуют зарядные устройства аккумуляторов). Так как это сокращение пропорционально количеству электровозов, уравнение границы области эффективного применения имеет тот же вид, но эффективность наступает при меньшем количестве электровозов.

Из приведенного выше следует: электровозы с индукционным питанием имеют широкую область экономического применения в настоящее время и в перспективе. В настоящем экономически эффективно применять их в условиях, где грузопоток обслуживают 3 и более электровоза. Экономический эффект может быть получен, если заменить или дополнить аккумуляторные батареи энергоприёмниками индукционного электропитания. Экономический эффект тем больше, чем меньше сцепной вес электровозов. В будущем, когда индукционное электропитание будет вводиться на стадии проектирования или строительства шахты или горизонта, эффективность его повысится на 30% за счет отсутствия зарядных камер для аккумуляторных батарей. Соответственно расширится и область эффективного применения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Розенфельд В. Е., Староскольский Н. А. Высокочастотный бесконтактный электрический транспорт - М.: Транспорт, 1975. - 208 с.
2. Транспорт с индуктивной передачей энергии для угольных шахт / Пивняк Г.Г., Ремизов И.П., Сараткиянц А.А. и др. Под редакцией профессора Г. Пивняка - М.: Недра, 1990. - 245с.
3. Методические рекомендации по формированию цен на новую научно-техническую продукцию. ДонУГИ, 1993.
4. Подземный транспорт шахт и рудников. Справочник / Под общей редакцией Г.Я.Пейсаховича, И.П.Ремизова.- М.: Недра, 1985. - 565 с.
5. Технология, организация и экономика подземного транспорта / Под общей ред. проф. В.А. Пономаренко - М.: Недра, 1977. - 221с.