

**ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЗКОКОЛЕЙНЫХ ТЯГОВЫХ АГРЕГАТОВ**

**Источник:** Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Науковий журнал. Номер 10, частина 1, 2010

**Ключевые слова:** шахтний узкоколейный транспорт, автомобильный транспорт, аккумуляторный электровоз, тяговый агрегат, себестоимость перевозок.

**Постановка проблемы.** Одной из актуальных проблем горнодобывающей промышленности является снижение себестоимости угля, в которой до 80% расходов составляют затраты на покупные энергосистемы, в частности на электроэнергию и моторное топливо.

Известно, что 50 лет назад принято решение о запрете складирования пустой породы на территории шахт в терриконах транспортированием опрокидными вагонетками по узкой рельсовой колее с помощью тяговых лебёдок. Была предложена новая технология вывоза породы на большие расстояния дизельными самосвалами типа КРАЗ и формирование отвалов бульдозерами. Однако за период с 2006 года по 2008 год резко выросла цена 1л дизельного топлива с 2,7 грн до 6-7,0 грн. В результате становится невыгодным вывоз породы по существующей технологии.

**Анализ исследований и публикаций.** Мировой экономический кризис, начавшийся в 2008 году, чрезвычайно обострил как проблемы энергосбережения в горной промышленности, в том числе и на транспорте, так и пути снижения себестоимости добываемого угля. В табл. 1 представлены плановые калькуляции расходов в удельной себестоимости перевозки грузов на горно-обогатительном комбинате автомобильным транспортом и в табл. 2 - промышленным железнодорожным транспортом (тепловозной тягой в ценах до 2003 года) [1].

Таблица 1

**Калькуляция себестоимости грузовых перевозок автомобильным транспортом  
на горно-обогатительном комбинате**

№ п/п	Статьи расходов	Расходы на	
		10 ткм	
		коп.	%
1	Основная и дополнительная заработная плата водителей с начислениями	17,3	15
2	Топливо (горючее) для автомобилей	14,0	11,2
3	Смазочные и прочие эксплуатационные материалы	2,4	2,1
4	Техническое обслуживание и текущий ремонт подвижного состава	15,9	13,8
5	Восстановление износа и ремонт автомобильных шин	26,8	23
6	Амортизация подвижного состава	31,0	27
7	Накладные расходы	8,0	6,9
	<b>Себестоимость перевозочной работы, коп. (на 10 ткм)</b>	<b>115,4</b>	<b>100%</b>

Таблица 2

**Калькуляция себестоимости грузовых перевозок промышленным железнодорожным транспортом (тепловозная тяга)**

№ п/п	Статьи расходов	Расходы на	
		10 ткм	
		коп.	%
1	Основная, дополнительная заработная плата с начислениями и отчислениями на заработную плату	18,96	46,3
2	Топливо	3,23	7,9
3	Электроэнергия	0,04	0,98
4	Эксплуатационные ремонты и техническое обслуживание	0,3	2,3
5	Амортизация	10,96	37,4
6	Накладные расходы	6,86	16,7

При анализе расходов следует иметь в виду, что в статью 1 табл. 2 вошли расходы на локомотивное хозяйство (50%), на службу пути (18%), на службы движения и грузовой работы (12%) и т.д.

Сравнения показателей табл. 1 и табл. 2 показывают, что даже при тепловозной тяге на промышленном транспорте себестоимость перевозочной работы в 2,83 раза ниже себестоимости грузовых перевозок автомобильным транспортом.

Несмотря на преимущества дизельного подвижного состава, необходимо рассмотреть вопросы использования альтернативных источников энергоносителей с целью снижения затрат на их покупку. Поэтому рассмотрим грузовые перевозки промышленным железнодорожным транспортом на электрической тяге с точки зрения их себестоимости.

По нормативам потребления мощности предприятиями угольной промышленности не более 2200кВт действуют нормативы тарифов на потребление электрической энергии. Так, по расчетам авторов, при стоимости 1 кВт ч механической работы, выполняемой тепловозом, затраты для ее совершения составляют 3грн.20, тогда - при электрической тяге в дневное время затраты составят 0,54 грн. на кВтч, в ночное время - 0.15 грн. на кВтч. Таким образом, в сравнении с автомобильным транспортом себестоимость перевозок снижается при электротяге более чем в 3 раза

Основные направления развития узкоколейного шахтного локомотивного транспорта изложены авторами [2]. В них отмечено, что под землей и на поверхности эксплуатируется примерно 3400 аккумуляторных и контактных электровозов 20 типов, более 155700 грузовых и пассажирских вагонеток 23 наименования, причём для нормального функционирования ежегодно требуют замены 400 шахтных электровозов и 1300 дорогостоящих тяговых батарей. Большая номенклатура подвижного состава требует изменения условий его работы и повышения безопасности эксплуатации. Поэтому возникает необходимость оборудования всех электровозов дополнительными средствами торможения, в частности колодочными тормозами с пневматическим приводом. Общеизвестна также практика использования дизелевоза, конструкция которого разработана в своё время институтом «Донгипроуглемаш». Он имеет сцепной вес 8,9 т, малую мощность 40л.с. (однорядный четырёхтактный взрывобезопасный дизель с механической коробкой передач) и силу тяги 1340 кгс при скорости 13,4 км/ч для колеи 900мм с диаметром колёс 680 мм и колёсной базой 1250 мм.

Существенным недостатком узкоколейных электровозов и дизелевозов является очень малый допустимый уклон 5% рельсового пути, что исключает их использование на более крутых уклонах на поверхности шахты.

На открытых горных разработках железнодорожные пути имеют большие подъёмы. Чтобы повысить вес поезда, широко применяют так называемые тяговые агрегаты. Они представляют собой двух- или трёхсекционные локомотивы, каждый из которых состоит из электровоза управления и одного или двух вагонов-самосвалов (думпкаров), оборудованных такими тяговыми электродвигателями, как и электровоз управления. Это позволяет увеличить сцепной вес в два или три раза и соответственно включить в состав большее количество груженых вагонов. Тяговые агрегаты могут быть оборудованы источниками автономного питания тяговых электродвигателей в виде дизель-генераторной установки на электровозе управления или в специальной секции [3]. Большая работа была проведена ЦНИИ МПС России по созданию новых мощных газогенераторных тепловозов ТЭ-1 с газодизелем ДГ-50 мощностью 1000 л.с, газогенераторная установка которых работала на антраците [4].

**Целью настоящей работы** является обоснование перспектив для создания эффективных узкоколейных тяговых агрегатов нового поколения на базе имеющихся аккумуляторных узкоколейных электровозов, работающих на допустимых уклонах 5% - 60%) рельсового пути и использование в качестве энергоносителей твёрдого топлива, добываемого на шахте.

**Материалы и результаты исследования.** Анализ хозяйственной деятельности угольной шахты показывает, что внедрение энергосберегающих технологий в существующем производстве может уменьшить затраты энергоносителей на 5-10% [5]. В связи с этим целесообразно создание тягового агрегата, имеющего высокие тяговые качества на базе модернизированного [6] аккумуляторного электровоза ГАМ8Д.

Особенностью такого тягового агрегата является то, что в одной секции электровоза сохраняется аккумуляторная батарея, а на второй секции вместо аккумуляторного ящика установлен самосвальный кузов грузоподъёмностью до 3000кг. Кроме того, тяговый агрегат оборудован дополнительно воздушным компрессором с резервуарами, пневматическими колодочными тормозами, а также пневмоцилиндрами бокового опрокидывания кузова для разгрузки [7].

Недостаточные сцепные и тяговые качества обычного аккумуляторного электровоза определяются очень короткой колёсной базой 1200 мм при высоте сцепки с вагонетками 300мм над уровнем головок рельсов. В результате, при строгании с места на подъёме, разгрузка передней ведущей колёсной пары достигает 25% от статической нагрузки.

За счёт введения межсекционной вертикальной тяги [7] колёсная база сопряжённого двухсекционного электровоза увеличивается до 4500 мм. Это обеспечивает при тех же условиях разгрузку первой колёсной пары только на 8%. Следовательно, максимальная сила тяги при строгании с места увеличится в  $0,92/0,75=1,22$  раза, что необходимо для ведения состава груженых вагонеток на подъёме [8].

На рис. 1 представлена упрощённая схема движения тягового агрегата с гружёными вагонетками на подъёме к месту формирования породного отвала по новой транспортной технологии. Расчет сил сопротивления производится по методике расчета электровозной откатки вагонеток в горной промышленности [9].

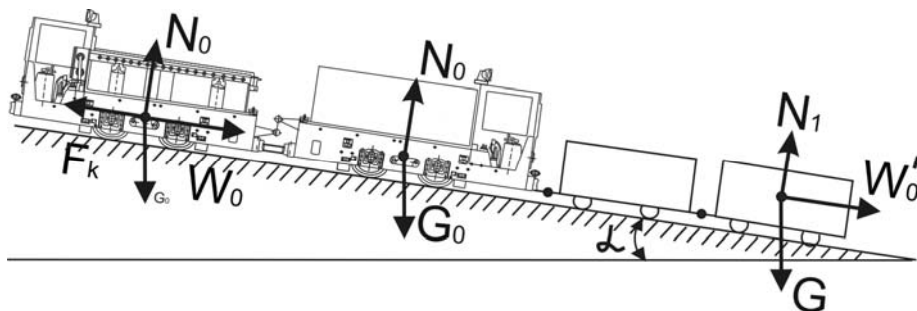


Рис.1. Схема движения тягового агрегата с гружёными вагонетками:

$G_0$  – вес тягового агрегата;  $G$  – вес состава вагонеток;  $F_k$  – касательная сила тяги;  $W_0$  – сила сопротивления движению тягового агрегата;  $W''_0$  – сила сопротивления вагонеток;  $N_0$  – нормальное давление от рельсов на тяговый агрегат;  $N_1$  – нормальное давление от рельсов на вагонетки;  $\alpha$  – угол подъёма

При откатке вагонеток по уклону сила их сопротивления  $W''_0$  определяется уравнением :

$$W''_0 = Z(G_n + G_0)(\sin \alpha + k \cos \alpha),$$

где  $Z$  – количество вагонеток;  
 $G_0$  – собственный вес вагонетки, кг;  
 $G_n$  – груз нетто в вагонетке, кг;  
 $\alpha = i$  – угол подъёма;  
 $k = 0,007$  – коэффициент сопротивления движению одиночной вагонетки.

Сила сопротивления движению тягового агрегата  $W'_0$  определяется:

$$W'_0 = P(w'_0 + i)$$

где  $P$  – сцепной вес, т,  
 $i$  – крутизна направляющего подъема,  
 $w'_0$  – удельное сопротивление движению, кг/т.

Удельное сопротивление движению определяется уравнением:

$$w'_0 = 1,9 + 0,01 \cdot V + 0,0003 \cdot V^2,$$

где  $V$  – скорость движения тягового агрегата.

Максимально допустимый вес груженого поезда (весовая норма) определяется силой тяги электровоза по сцеплению и проверяется по нагреву тяговых электродвигателей и торможению на заданном участке пути.

По условиям сцепления при пуске груженого состава на направляющем (преобладающем) подъёме весовая норма определяется выражением:

$$G = P + Q_{гр} = 1000 \psi P / (w''_{гр} + i + 110 j_0), \text{ т;}$$

где  $P$  – сцепной вес электровоза, т,  
 $Q_{гр} = Z(G_n + G_0)$ , весовая норма поезда, т;  
 $\psi$  – коэффициент сцепления колёс электровоза с рельсами (при пуске с подсыпкой песка  $\psi = 0,24$ ; при движении с подсыпкой –  $\psi = 0,17$ ; при движении без подсыпки –  $\psi = 0,12$ );  
 $w''_{гр} = 0,008$  – удельное пусковое сопротивление движению вагонетки, кг/т;  
 $j_0$  – пусковое ускорение поезда.

Исходя из вышеизложенного вытекает, что с увеличением крутизны подъема будет уменьшаться как общий вес поезда, так и вес

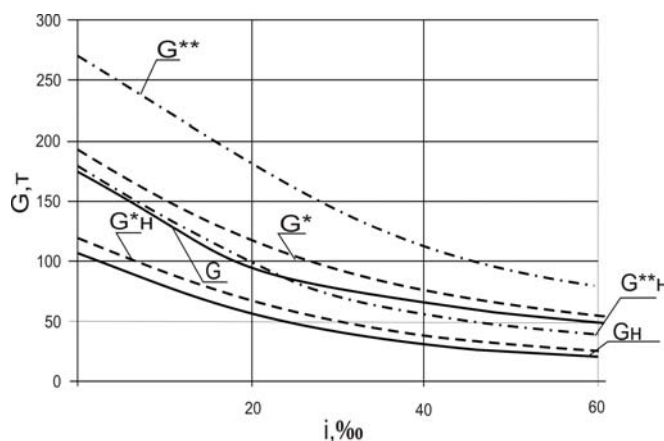


Рис.2. Зависимости предельного веса поезда и веса груза от крутизны направляющего подъёма  $i$ :

$G$  и  $G_n$  – 1 вариант,  $G^*$  и  $G_n^*$  – 2 вариант;  
 $G^{**}$  и  $G_n^{**}$  – 3 вариант.

перевозимого груза нетто. В предельном случае может наступить момент, когда на определенном подъеме локомотив фактически теряет свою перевозочную способность.

Для сравнения различных вариантов подвижного состава по перевозочной способности рассматривались: обычный электровоз типа 2АМ8Д – 1 вариант; тяговый агрегат из двух секций - 2 вариант, и тяговый агрегат из трех секций – 3 вариант.

Особый научный интерес представляют исследования перевозочной способности поездов в составе узкоколейных электровозов и вагонеток. В данной работе эти исследования проводились в зависимости от крутизны руководящего подъема  $i$  в пределах 0 - 60%. На рис. 2 представлена зависимость величины веса поездов брутто  $G$  и груза нетто  $G_n$  от величины преобладающего подъема.

Сравнение перевозочной способности по трем вариантам будем оценивать по коэффициенту эффективности транспортного средства в целом -  $K_s = G/G_n$  и коэффициенту эффективности применения локомотива на перевозочной работе -  $K_n = G_n/2G_0$  при трех значениях крутизны руководящего подъема  $i = 0\%$ ,  $i = 20\%$ ,  $i = 40\%$  и  $i = 60\%$ . Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 3

Значение коэффициентов  $K_s$  и  $K_n$

№ варианта	$K_s$				$K_n$			
	$i = 0\%$	$i = 20\%$	$i = 40\%$	$i = 60\%$	$i = 0\%$	$i = 20\%$	$i = 40\%$	$i = 60\%$
вариант 1	0,607	0,519	0,478	0,408	6,8	3,375	2,0	1,25
вариант 2	0,625	0,542	0,514	0,472	9,18	4,92	2,92	1,92
вариант 3	0,66	0,524	0,482	0,46	9,9	5,33	3,0	2,0

Сравнивая полученные данные табл. 1, заключаем, что если на горизонтальной площадке аккумуляторный электровоз может транспортировать груз, равный 6,8 собственного веса, на подъеме 20% – 3,375 собственного веса, то на максимальном подъеме 60% – только 1,25 собственного веса (1 вариант). В случае использования двухсекционного тягового агрегата на базе аккумуляторного электровоза происходит изменение в лучшую сторону (2 вариант). И, наконец, больший эффект будет достигнут в случае тягового агрегата, состоящего из трех секций - на подъеме 20% – 5,33 собственного веса, то на максимальном подъеме 60% – уже 2,0 собственного веса (3 вариант).

Разумеется, эффективность внедрения новой транспортной технологии перевозки породы в отвал (вариант 3) подразумевает учёт строительства рельсовой ветки от места разгрузки, а также провозную способность.

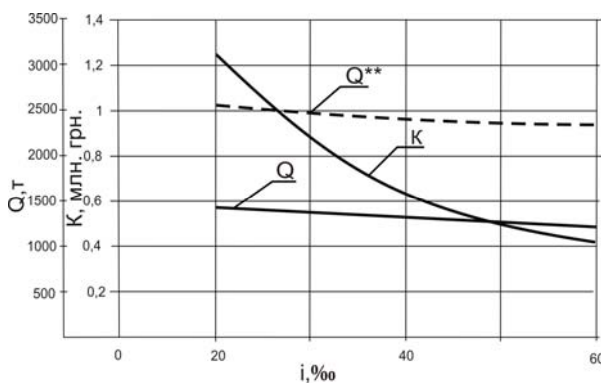


Рис. 3. Зависимость капиталовложений  $K$  и провозной способности  $Q$  вывоза породы в отвал от крутизны руководящего подъема  $i$ :  $Q$  – 1 вариант,  $Q^{**}$  - 3 вариант

Зависимость необходимых капиталовложений  $K$  в строительство рельсового пути и зависимость провозной способности  $Q$  вывоза породы в отвал от крутизны  $i$  руководящего подъема приведена на рис. 3. Приведенные зависимости наглядно показывают преимущество новой технологии вывоза породы в отвал (3 вариант).

Для прогнозирования срока окупаемости затрат на строительство рельсового пути необходимо рассмотреть удельные затраты  $P_p$  на перевозку одной тонны породы в отвал. Зависимость удельных затрат  $P_p$  от крутизны руководящего подъема  $i$  приведена на рис. 4.

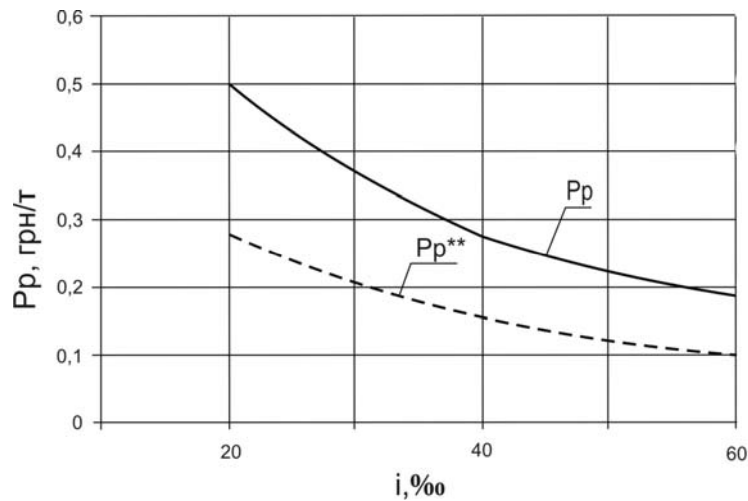


Рис. 4. Зависимость удельных затрат  $P_p$  на строительство рельсового пути для перевозки 1 тонны породы в отвал от крутизны направляющего подъема  $i$ :  $P_p$  – 1 вариант,  $P_p^{**}$  – 3 вариант

Рассматривая зависимости удельных затрат на строительство рельсового пути с применением новой технологии транспортировки породы в отвал предполагается срок окупаемости капиталовложений в течение пяти лет.

Авторами предложена модернизация двухсекционного тягового агрегата [7] и вагонеток [8] для подъема породы к месту формирования отвала по новой транспортной технологии. Как считают авторы, существенным недостатком использования аккумуляторных электровозов является проблематичность работы в зимнее время на поверхности шахты. Поэтому стратегически необходимым является создание альтернативы – тягового агрегата в составе секции управления с электро-газогенераторной установкой и двух секций моторных самосвалов [10].

Преимущества тягового агрегата с газогенераторными установкам:

1. Использование в качестве источника энергии не аккумуляторной батареи, а твердого топлива по себестоимости добычи 200 грн за 1 тонну позволит снизить расходы на энергоносители в вывозке породы в отвал в 5-7 раз.
2. Возможность круглогодичного обслуживания узкоколейной сети дорог шахтного двора.
3. Наличие мобильного источника электроэнергии, работающего на твердом топливе собственной добычи в любых условиях, в том числе и для обеспечения работы котельных в случаях отключения от внешней сети.

#### Выводы.

1. В условиях финансового кризиса угледобывающей промышленности целесообразно проводить вывоз горной породы в отвалы узкоколейным рельсовым транспортом.
2. С учетом наличия узкоколейной транспортной инфраструктуры шахт оптимальным может быть принят вариант обслуживания околоствольного шахтного двора, карьеров и перевозки породы поездами из тяговых агрегатов на базе электрогазогенераторов.
3. Эффективным с точки зрения минимизации капиталовложений в строительство дополнительной железнодорожной колеи является профиль пути с кривизной направляющего подъема 50‰.
4. Для снижения эксплуатационных затрат перевозки грузов узкоколейным транспортом необходимо создание и использование трёхсекционных тяговых агрегатов с повышенными тяговыми свойствами, работающих на твердом топливе собственной добычи на шахтах.

#### Литература

1. Нечаев Г.И., Коломиец А.С, Коломиец Ю.А. Экономика грузовых перевозок – Луганск: Изд-во СНУ им. В. Даля, 2003, с. 204.
2. Дебелый В., Дебелый Л., Мельников С. Основные направления развития шахтного локомотивного транспорта // Уголь Украины. – 2006. - №6, С. 30-31.
3. Раков В.А. Локомотивы и мотор-вагонный подвижной состав железной дороги СССР (1966-1975) – М.: Транспорт, 1979. с. 183.
4. Энергетические установки с газовыми поршневыми двигателями / Под ред. д-ра техн. наук проф. Л.К. Коллерова. - Л.: Машиноведение Ленинградское отделение, 1979. – с. 183.
5. Губачева Л.А., Андреев А.А., Шевченко Д.Ю. О перспективах использования газогенераторов в угольной промышленности / Вісник КДПУ ім. М. Остроградського, вип 6(53), 2008, ч. I. С. 67-68.
6. Голубенко О.Л., Губачева Л.О., Андреев О.О. та інші. Електровоз - патент України №44271, В61С 3/00, опубл. 25.09.2009, бюл. №18.
7. Голубенко О.Л., Губачева Л.О., Андреев О.О. Тяговий агрегат - патент України № 48264, В61С 3/00, опубл. 10.03.2010, бюл. №5.

8. Голубенко О.Л., Губачева Л.О., Андреев О.О. Вагонетка - патент України № 48272, В61D 11/00, опубл. 10.03.2010, бюл. №5.

9. Транспорт шахт и карьеров. / Под ред. А.О. Спиваковского.М., Надра, 1971 – с. 560.

10. Голубенко О.Л., Губачева Л.О., Андреев О.О. Тяговый агрегат - патент України № 48580, В61С 3/00, опубл. 25.03.2010, бюл. №6.

*Викладено перспективи розвитку вузькоколіїного транспорту на перевезеннях гірської маси в добувній промисловості з урахуванням зниження собівартості робіт в умовах кризових явищ.*

**Ключові слова:** шахтний вузькоколіїний транспорт, автомобільний транспорт, акумуляторний електровоз, тяговий агрегат, собівартість перевезень.

*The prospects of development of narrow-gauge transport are expounded on transportations of mountain mass in extractive industry taking into account the decline of prime price of works in the conditions of the crisis phenomena.*

**Key words:** mine narrow-gauge transport, motor transport, storage-battery electric locomotive, hauling aggregate, prime price of transportations.

А. Л. Голубенко - д.т.н., проф., ректор Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск, Украина

Л. А. Губачева - д.т.н., проф., зав кафедрой «Промышленный и городской транспорт», Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, г. Луганск, Украина

А. А. Андреев - к.т.н., доцент кафедры «Промышленный и городской транспорт», Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, г. Луганск, Украина