

ОБ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРАХ ДУМПКАРОВ ДЛЯ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ

М. Е. ГОНИК

Разрешение проблемы транспортирования больших объемов горной массы на открытых горных разработках в значительной степени зависит от увеличения производительности и удешевления эксплуатации рельсового транспорта. Важная роль при этом должна быть отведена вопросам совершенствования конструкций вагонов, на долю которых приходится 65% расхода металла и до 40% затрат на обслуживание, ремонт и амортизацию по отношению к общим расходам по подвижному составу.

Как показывает анализ эксплуатации транспортного оборудования на карьерах, существующее положение с оснащением открытых горных работ думпками нельзя считать удовлетворительным: а) мала номенклатура выпускаемых думпков; б) низка прочность основных узлов вагона вообще и особенно при применении на погрузке экскаваторов с большой емкостью ковша; в) высоки значения коэффициента тары и длины вагона; г) значительны затраты на эксплуатацию вагонного парка. Поэтому для открытых горных работ необходимо сконструировать и изготовить новые типы думпков.

Приводим некоторые результаты исследования выбора рационального ряда думпков и их оптимальных параметров, которые могут быть использованы в качестве исходных данных при проектировании новых типов думпков для карьеров, разрабатывающих скальные породы. Учитывая, что условия эксплуатации вагонов на открытых горных работах резко отличаются от условий магистральных железных дорог, основное внимание уделяем определению параметров вагонов в зависимости от горнотехнических факторов.

Минимальная грузоподъемность вагона для обеспечения производительной работы экскаватора должна быть в 4—6 раз больше веса материала в его ковше, а максимальная грузоподъемность должна увязываться с намечаемым грузооборотом карьера. При соблюдении этих условий нижний предел грузоподъемности думпков должен быть от 40—50 т для экскаваторов ЭКГ-4 и до 60—80 т для ЭКГ-8, высший же предел может достигать 200—250 т, учитывая минимальное число вагонов в поезде равное 3. Таким образом,

$$q_{д \max} = 200 \div 250 = \frac{2Pn}{1+k} \text{ т}, \quad (1)$$

где $q_{д \max}$ — наибольшая грузоподъемность думпка, т;

$2P$ — нагрузка на ось, т;

n — число осей;

k — коэффициент тары.

Однако окончательно устанавливать верхний предел грузоподъемности думпкаров только с учетом грузооборота нельзя, так как значение k при прочих равных условиях зависит от требуемой прочности вагонов и его линейных параметров, а величины n и $2P$ для карьерных условий ограничены: первая — наличием кривых малого радиуса на передвижных путях, вторая — необходимостью применения такой конструкции путей, которая не затрудняла бы их перекладку, и возможностью эксплуатации новых типов вагонов на существующих карьерах без значительной реконструкции путей.

Величина коэффициента тары для думпкаров разной грузоподъемности подсчитывалась согласно рекомендациям М. В. Винокурова [3].

Наибольшее число осей по условиям вписывания подвижного состава в кривые радиусом 80—100 м, установленное по практическим данным [5] и расчету, может быть принято равным 8.

Величина допустимой нагрузки на ось $2P$ применительно к передвижным путям с толщиной балластного слоя 15—20 см определена графо-аналитическим методом из условия конструкции передвижных путей. Для смешанных грунтов (давление $\sigma_{\text{доп}} = 1,5 \text{ кг/см}^2$) $2P$ лежит в пределах 32—34 т при наличии 4 осей у вагона и $2P \leq 27 \text{ т}$ при 6 и 8 осях. Для 6- и 8-осных думпкаров с осевыми нагрузками 32—34 т при смешанных грунтах следовало бы увеличить толщину балластного слоя до 30—40 см, так как база у них меньше. Для преимущественно скальных пород ($\sigma_{\text{доп}} = 2,4 \text{ кг/см}^2$) $2P \leq 35 \text{ т}$ при вагонах с 4, 6 либо 8 осями. По прочности верхнего строения пути при такой нагрузке могут применяться рельсы легкого типа Р43 с износом до 9 мм.

Для обеспечения надежной и долговечной конструкции думпкаров необходимо, помимо общих требований расчета, принятого в практике вагоностроения, тщательно учитывать динамические нагрузки на рамы думпкара, возникающие при погрузке их экскаваторами.

По условиям экскаваторной погрузки наиболее характерными с точки зрения расчета на прочность рам думпкара являются два случая: а) погрузка среднекусового материала, что соответствует экскавации как рыхлых, так и скальных грунтов; б) погрузка глыб при работе преимущественно на скальных грунтах. В обоих случаях при определении величины наибольших напряжений в рамах думпкара должны быть учтены напряжения отдельно от равномерно распределенной статической нагрузки и от сосредоточенной динамической нагрузки.

Таким образом, наибольшее напряжение

$$\sigma_0 = \sigma_{\text{ст}} + \sigma_{\text{дин}} \text{ кг/см}^2, \quad (2)$$

где $\sigma_{\text{ст}}$ и $\sigma_{\text{дин}}$ — напряжения от статической и динамической нагрузок, кг/см^2 .

Статическая нагрузка обусловлена весом соответствующих узлов вагона и погруженного объема горной массы, а динамическая возникает в момент разгрузки грунта из ковша.

При разгрузке среднекусового материала величина статической нагрузки возрастает по мере наполнения вагона до величины (последний ковш еще не разгружен)

$$P'_{\text{ст}} = G_{\text{вр}} + G_{\text{хб}} + 1000(V_{\text{д}} - q_{\text{к}}) \gamma \text{ кг}, \quad (3)$$

где $G_{\text{вр}}$ и $G_{\text{хб}}$ — вес верхней рамы и хребтовой балки (нижней рамы), кг ;

γ — насыпной вес транспортируемого материала с учетом коэффициента разрыхления в вагоне, т/м^3 ;

$V_{\text{д}}$ — полезная емкость кузова думпкара, м^3 ;

$q_{\text{к}}$ — емкость ковша экскаватора, м^3 .

Если высоту разгрузки выразить через величину емкости ковша

$$h = (1,5 - 1,6) \sqrt{q_k} \text{ м}, \quad (4)$$

а размеры ковша принять по Н. Г. Домбровскому [1], то расчетная динамическая нагрузка

$$P'_{\text{дин}} \cong 2000 q_k \gamma \text{ кг}. \quad (5)$$

При разгрузке глыбы расчетные усилия также определяются по наиболее неблагоприятному случаю: глыба падает по центру вагона с наибольшей высоты и при этом боковые части думпкара полагаем уже загруженными. В данном случае статическая нагрузка

$$P'_{\text{ст}} = G_{\text{вр}} + G_{\text{хб}} + 200 V_{\text{д}} \gamma \text{ кг}; \quad (6)$$

Динамическая (ударная) нагрузка по расчетной схеме Калининградского завода

$$P'_{\text{дин}} = G(1 + 2) \sqrt{\frac{2 G_{\text{хб}} h}{c(2G + G_{\text{вр}})(2G + G_{\text{вр}} + 2G_{\text{хб}})}} \text{ кг}, \quad (7)$$

где G — вес глыбы, кг;

c — гибкость хребтовой балки, м/кгс.

Если размеры глыбы принять по условию свободного зачерпывания ее ковшем согласно Е. Ф. Шешко [2], то

$$G = (200 - 250) q_k \gamma_0 \text{ кг}, \quad (8)$$

где γ_0 — объемный вес грунта в плотном теле, т/м³.

Расчеты напряжений в хребтовой балке вагонов применительно к двум типам экскаваторов ЭКГ-4 и ЭКГ-8 (рис. 1) показывают, что величина основных напряжений в хребтовой балке при ударной нагрузке значительно выше, чем при движении груженого думпкара, поэтому для изготовления рам необходимо применять легированную (в крайнем случае низколегированную) сталь.

По прочности хребтовой балки погонную нагрузку вагона можно увеличить. Например, для рам, рассчитанных на падение глыбы весом 3 т с высоты до 3 м, погонная нагрузка может быть увеличена с 5,1 до 9,5 т/м полезного груза на 1 пог. м длины кузова. Это может явиться одним из резервов по снижению коэффициента тары думпкаров.

Кроме создания надлежащей прочности рам думпкара, заводам-изготовителям необходимо коренным образом улучшить качество сварочных соединений деталей вагона (из-за которых вагоны часто простаивают). Трудоемкость же сварочно-восстановительных работ составляет примерно 40—50% от всего объема ремонта. Применение в некоторых узлах заклепочных соединений вместо сварочных, на что зачастую вынуждены идти работники карьеров, должно рассматриваться как временный выход из положения и не может быть рекомендовано для изготовления новых думпкаров, так как утяжеляет и удорожает их.

При определении линейных параметров думпкаров необходимо учитывать, что экскаваторная погрузка вагонов производится неравномерно. Поэтому теоретически возможная емкость думпкара V'_d , определяемая с учетом объемного веса транспортируемого грунта, полностью не используется

$$V_d = k_3 V'_d \text{ м}^3, \quad (9)$$

где V_d — полезная емкость думпкара, м³;

k_3 — коэффициент загрузки, принимаемый согласно произведенным наблюдениям, 0,9.

Для думпкаров небольшой грузоподъемности приходится определять ширину кузова при минимально возможной длине вагона, обусловленной числом осей и свалочных цилиндров, а для большегрузных думпкаров, наоборот, длину кузова при максимально возможной ширине вагона

$$B_1 = \frac{q_d - V_{ш}}{0,85 L_{куз. \min}} + 0,1 \text{ м}; \quad (10)$$

$$L_{куз} = \frac{q_d - V_{ш}}{0,85 (B_1 \max - 0,1)}, \quad (11)$$

где B_1 — внутренняя ширина кузова по верхним кромкам бортов, м;

$L_{куз}$ — внутренняя длина кузова, м;

q_d — грузоподъемность думпкара, т;

$V_{ш}$ — объем шапки (переполнения), $м^3$.

Для удобства вычисления объема переполнения построен график $V_{ш} = f(B_1, L_{куз})$ (рис. 2).

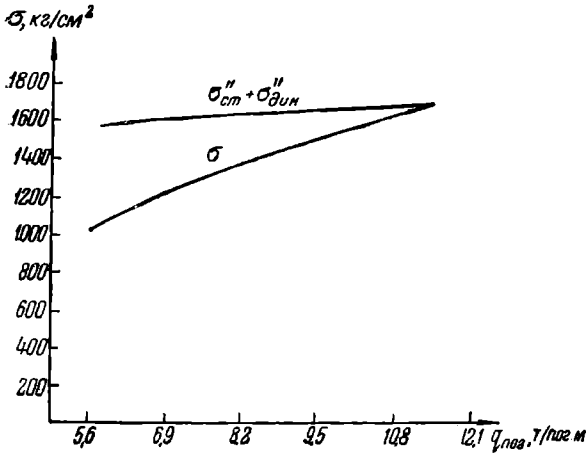


Рис. 1. Основные напряжения в хребтовой балке вагона: σ — при движении; $\sigma''_{ст} + \sigma''_{дин}$ — при погрузке

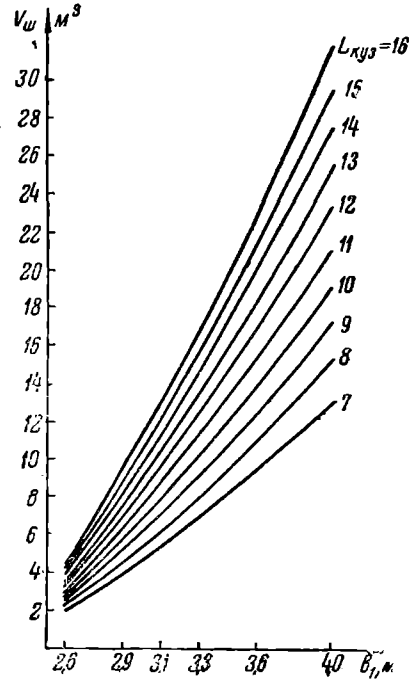


Рис. 2. График для определения объема шапки $V_{ш}$ в зависимости от ширины B_1 и длины кузова $L_{куз} \cdot V_{ш} = f(B_1, L_{куз})$

По предложенной методике применительно к двум типам погрузочных экскаваторов с емкостью ковша 3—4 и 6—8 $м^3$ могут быть определены основные параметры думпкаров: грузоподъемность, линейные размеры, вес и коэффициент тары. Рассчитанные применительно к обычным конструкциям думпкаров, они представлены в виде графиков в зависимости от основного показателя — нагрузки на ось (рис. 3). Как показывает анализ графика, с увеличением нагрузки на ось улучшаются основные технико-экономические показатели думпкаров — увеличивается грузоподъемность, уменьшается коэффициент тары, сокращается длина вагона.

Коэффициент тары и длина вагона снижаются особенно при увеличении погонной нагрузки.

Длина шести- и восьмиосных думпкаров получается весьма большой, поэтому 150-тонные думпкары по условиям вписывания не могут быть построены по максимальной ширине при габарите 2-В, что ухудшает их показатели коэффициента тары и длины.

Применительно к большегрузным думпкарам конструкция типа «откидной борт» имеет большой недостаток, так как вследствие ограниченной высоты борта, не дает возможности повысить величину полезной погонной нагрузки выше $q_{\text{пог}} = 6,5-8 \text{ т/м}$.

Некоторые образцы американских думпкаров, которые также предназначены для транспортировки скальных пород от одноковшевых экскаваторов, при этой же грузоподъемности имеют более низкие коэффициенты тары, чем приведенные на рис. 3. Так, 90-тонный думпкар

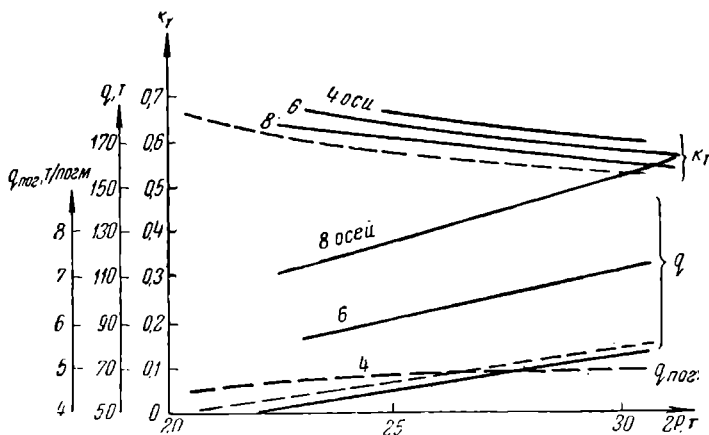


Рис. 3. Основные параметры думпкаров обычной конструкции в зависимости от нагрузки на ось 2P:

q — грузоподъемность; $q_{\text{пог}}$ — погонная нагрузка; k — коэффициент тары. Пунктиром обозначены кривые параметров 4-осных вагонов для ЭКГ-4, а сплошными линиями — для ЭКГ-3

с емкостью кузова 30 м^3 имеет коэффициент тары 0,43, а 65-тонный думпкар с емкостью кузова 23 м^3 — 0,46 [4].

Однако, как видно, из параметров этих думпкаров, низкий коэффициент тары получен в основном не за счет применения легированной стали или каких-либо конструктивных особенностей, а за счет потребной малой емкости кузова вагонов, которые предназначены для перевозки очень тяжелых пород. Если бы, например, в этих думпкарах перевозились скальные породы с объемным весом $1,85-2 \text{ т/м}^3$ (большинство угольных и рудных карьеров СССР), то фактическая грузоподъемность их составила бы 60—65 и 47—50 т и соответственно коэффициент тары 0,6—0,65.

Для получения более экономичных вагонов рассмотрены возможности постройки думпкаров с откидным бортом и увеличенной погонной нагрузкой, что позволит снизить коэффициент тары и длину вагона. При сравнении разных вариантов конструкций наиболее целесообразной оказалась постройка думпкаров по специальному, более просторному габариту по ширине. Конструкция думпкара тогда получается наиболее простой и надежной в эксплуатации. При ширине кузова 4 м отношение ее к ширине колеи примерно такое же как у эксплуатирующихся думпкаров узкой колеи 900—1 000 мм.

Широкие вагоны обеспечат более удобную погрузку и, несомненно, увеличат производительность экскаваторов, особенно с верхней погрузкой. При транспортировке таких вагонов от завода-изготовителя до карьера по железнодорожным путям МПС борта и выступающие части торцевых стенок снимаются.

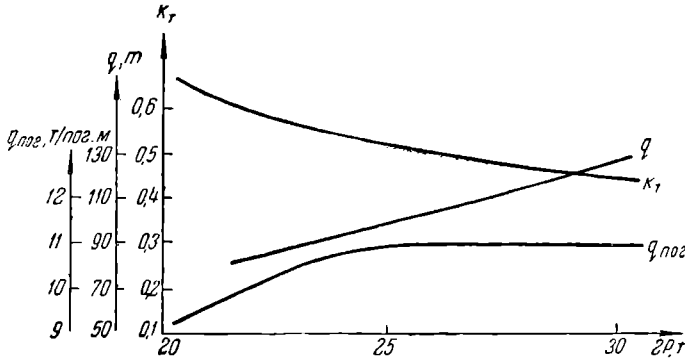


Рис. 4. Основные параметры 6-осных думпкаров при ширине кузова 4000 мм

Основные параметры шестиосных думпкаров предлагаемой конструкции приведены в виде графиков на рис. 4.

Окончательный выбор параметров новых думпкаров производится технико-экономическим сравнением двух—трех вариантов вагонов с разными техническими характеристиками (грузоподъемность, коэффициент

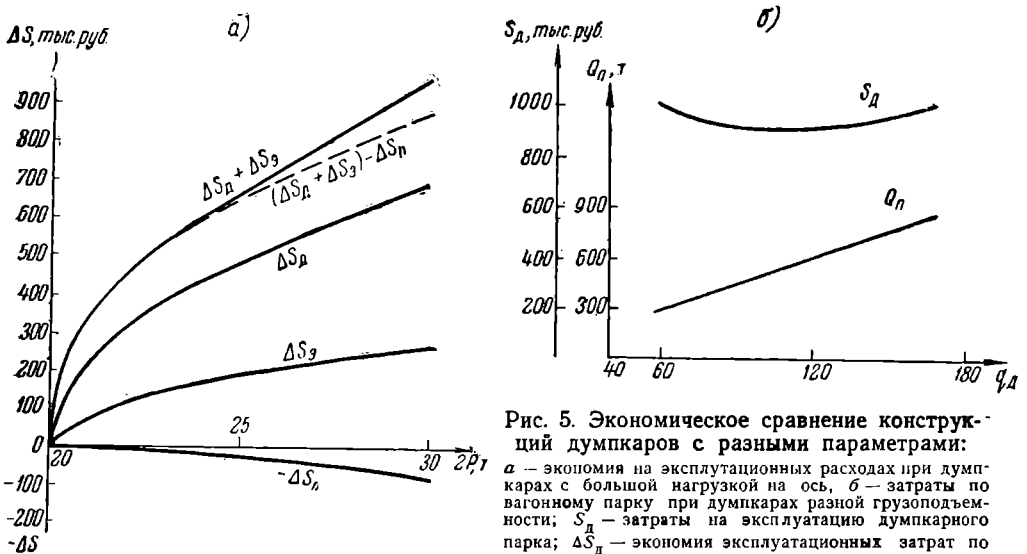


Рис. 5. Экономическое сравнение конструкций думпкаров с разными параметрами:

a — экономия на эксплуатационных расходах при думпкарах с большой нагрузкой на ось, *b* — затраты по вагонному парку при думпкарах разной грузоподъемности; $S_д$ — затраты на эксплуатацию думпкарного парка; $\Delta S_д$ — экономия эксплуатационных затрат по вагонам; $\Delta S_э$ — то же на электроэнергию; $\Delta S_п$ — увеличение расходов на содержание путей; $Q_п$ — грузоподъемность поезда. Годовая производительность карьера 18 млн. т; длина откатки 6 км

тары, нагрузка на ось и др.). При этом следует учесть, что с увеличением осевых нагрузок, часть эксплуатационных расходов на транспорт горной массы уменьшается за счет экономии средств по вагонному хозяйству и частично локомотивному, а другая часть увеличивается в связи с ростом расходов на содержание путей.

Затраты на эксплуатацию подвижного состава и электроэнергию, в зависимости от параметров думпкаров, и расходы на содержание железнодорожных путей, в зависимости от нагрузки на ось, подсчитаны по специально разработанной методике.

На рис. 5, а представлена суммарная экономия при эксплуатации думпкаров с различной нагрузкой на ось с учетом увеличения расходов на железнодорожных пути, а на рис. 5, б — расходы по вагонному парку при думпках разной грузоподъемности.

Соответствующими расчетами установлено следующее.

1. Применение думпкаров с большой нагрузкой на ось, до 30—32 т, при существующих конструкциях железнодорожных путей экономически выгодно, несмотря на некоторое увеличение расходов по содержанию путей.

2. Думпкары, построенные по специальному увеличенному габариту, по сравнению с обычными типами вагонов, при том же числе осей и одинаковой осевой нагрузке на путь имеют значительно лучшие технико-экономические показатели. Их грузоподъемность на 10% больше, а коэффициент тары и длина меньше в 1,3 раза.

3. Применение 6-осных 120-тонных и 8-осных 180-тонных думпкаров вместо 60-тонных, т. е. увеличение грузоподъемности вагонов в 2—3 раза, не дает увеличения эксплуатационных затрат по вагонному парку.

В таблице приведены основные параметры четырех типов думпкаров, рекомендуемых для оснащения карьеров.

Т а б л и ц а

Параметры думпкаров	Думпкары				
	рекомендуемые для		выпускаемые для		
	ЭКГ-4	ЭКГ-8	ЭКГ-4	ЭКГ-8	
Грузоподъемность при объемном весе материала 1,85—2 т/м ³ , т	60—80	110—120	180	50	90
Геометрическая емкость кузова с учетом коэффициента загрузки $K_3 = 0,9$, м ³	29,8—42	53	86	22,6	48
Размеры кузова внутренние, мм:					
ширина	3200	4000	4000	2768	3200
длина	10160	11200	15500	10250	16100
Длина думпкара по сцепкам, мм	12660	13700	18000	12820	19100
Тара, т (ориентировочно, при низколегированной стали)	34,2—39,2	50,5	78,6	31,5	60
Вес брутто, т	94,2—119,2	174,5—184,1	248,6—262	81,5	150
Число осей, шт.	4	6	8	4	6
Нагрузка на ось, т	23,8—29,8	29,1—30,7	31,1—32,8	20,4	25
Коэффициент тары	0,59—0,49	0,45—0,42	0,42—0,39	0,63	0,67
Погонная нагрузка на путь, т/м	7,5—9,7	10,9—11,5	11,2—11,9	6,35	7,85
Эксплуатационные затраты на 1 т грузоподъемности (ориентировочно), руб/ т, год	331,5—267	239,4	214,2	375,5	337,8

Примечание. При легированной стали тара думпкаров уменьшится не менее чем на 10% и соответственно коэффициент тары для большегрузных вагонов снизится минимум до 0,4—0,37.

Для сравнения в таблице приведены данные 50- и 90-тонного думпкаров Калининградского завода. Сопоставление показателей шестиосных вагонов показывает преимущества постройки тяжелых думпкаров с большой осевой и погонной нагрузкой: грузоподъемность увеличивается в 1,3 раза, длина уменьшается в 1,4 раза, а коэффициент тары — в 1,5 раза.

Внедрение думпкаров новых типов имеет важные технические преимущества и дает значительный экономический эффект. Например, для условий Центрального асбестового рудоуправления при сменной производительности 15 тыс. м³ горной массы целесообразно внедрение 120- либо 180-тонных думпкаров вместо 50-тонных. Это позволит сократить потребный парк вагонов в 2,5—4 раза, а парк электровозов на 13—20%; уменьшить длину поезда в 1,2 раза, снизить коэффициент тары поезда при уклонах 22—34‰ на 32—37%; увеличить производительность локомотивосостава за счет сокращения времени в 2—3 раза на разгрузку вагонов; сэкономить за год на эксплуатационных затратах по подвижному составу не менее 2—2,2 млн. руб. и, таким образом, снизить себестоимость 1 м³ горной массы на 15—17 коп.

Кроме рассмотренных предложений уменьшение мертвого веса поезда примерно в 1,5—1,8 раза возможно за счет снижения коэффициента тары вагонов путем отказа от установки на них разгрузочных механизмов и облегчения веса хребтовой балки на 60—70%. При этом перевозку пустых пород на отвал предлагается осуществлять в несамосвальных вагонах с опрокидным кузовом. Во время разгрузки породы на отвале кузов вагона наклоняется с помощью специальных передвижных опрокидывателей (рис. 6). Механизм открывания борта осуществляется в принципе таким же, как у думпкаров. Опрокидыватель представляет собой подъемный механизм, смонтированный на платформе с гусеничным либо пневмоколесным ходом. Наиболее подходящим приводом для подъемного механизма является пневматический. Он надежен в работе и имеет мягкую характеристику.

Такие вагоны целесообразно применять на карьерах средней и большой глубины. Способы отвалообразования должны обеспечивать такую приемную емкость разгрузочных пунктов, чтобы передвижка опрокидывателей производилась возможно реже. Коэффициент тары у несамосвальных думпкаров может быть уменьшен до 0,35—0,30. Экономия на транспорте горной массы получается за счет сокращения затрат на электроэнергию, эксплуатацию вагонного и частично электровозного парков. По ориентировочным расчетам она составляет 7—9 коп. на 1 м³ перевозимого груза по сравнению с затратами при большегрузных саморазгружающихся думпкарах обычного типа.

Опытное внедрение несамосвальных вагонов целесообразнее начать с перевозки руды на обогатительные фабрики, так как опрокидывающие устройства там стационарные.

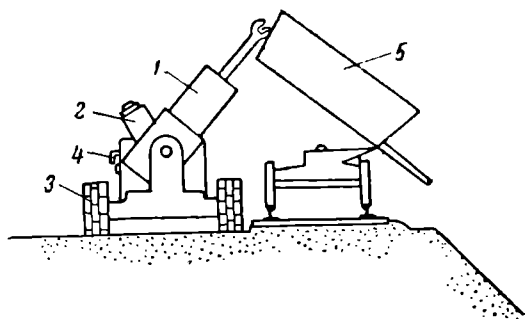


Рис. 6. Схема установки опрокидывателя на отвале:

1 — пневматические домкраты с захватами; 2 — компрессор; 3 — ходовое устройство гусеничное или пневмоколесное; 4 — пульт управления; 5 — вагон с опрокидным кузовом

Использованная литература

1. Домбровский Н. Г., Жуков П. А., Аверин Н. Д. Эскаваторы. Маш-
тиз, 1949.
 2. Шешко Е. Ф. Открытая разработка месторождений полезных ископаемых.
Углетехиздат, 1951.
 3. Вагоны. Под ред. М. В. Винокурова. Трансжелдориздат, 1949.
 4. Техника открытых горных работ за рубежом. Под ред. Н. В. Мельникова. Угле-
техиздат, 1956.
 5. Gärtner E. Braunkohle, Wärme und Energie, 1953, 17/18.
-