

## ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ ВАГОНОВ-ХОППЕРОВ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ ДЛЯ САМОРАЗГРУЗКИ

Губачева Л.О., Леонова С.А.

## EVALUATION OF ECONOMIC EFFICIENCY OF USE OF MODERNIZED HOPPER CARS WITH ELECTRICAL EQUIPMENT FOR SELF-DISCHARGE

Gubacheva L.A., Leonova S.A.

*Представлены результаты исследования современных модернизированных вагонов-хопперов в добывающей промышленности. Рассмотрена задача снижения расхода энергии и материальных затрат на выгрузку массовых сыпучих грузов. Показана экономическая эффективность использования вагонов-хопперов с электрическим оборудованием для разгрузки в сравнении с вагонами-самосвалами (думпкарами).*

**Ключевые слова:** вагон-хоппер, вагон-самосвал, оборудование для разгрузки, тяговый расчет, экономическая эффективность.

**Постановка задачи.** Карьерный транспорт - это комплекс средств перемещения горной массы (породы и полезного ископаемого) от забоев к пунктам разгрузки. Он является связующим звеном в общем технологическом процессе и одним из наиболее трудоемких и дорогих. Расходы на транспортировку и связанные с ним вспомогательные работы составляют 45-50%, а в отдельных случаях 65-70% общих расходов на добычу полезного ископаемого.

Основное распространение на открытых разработках получили саморазгружающиеся вагоны. Они используются для перевозки вскрышных пород, так как необходимое частое перемещение пунктов разгрузки породы на отвалах затрудняет применение громоздких стационарных разгрузочных устройств.

Думпкары (вагоны-самосвалы) являются основным типом вагонов на открытых горных разработках. Распространение в карьерах они получили благодаря своей конструкции, которая позволяет наиболее быстро производить механизированную погрузку и разгрузку горной массы. Думпкары относятся к полувагонам с бортами высотой 900—1300 мм, имеют высокий

центр тяжести, что иногда приводит к опрокидыванию вагона в процессе выгрузки.

Состоят думпкары из тех же основных частей, что и вагоны других типов. Основное отличие конструкции определяется тем, что думпкары являются саморазгружающимися вагонами, с опрокидыванием кузова на сторону посредством специального разгрузочного механизма. Думпкары с пневматической разгрузкой [1] оборудуются воздушной магистралью, запасным резервуаром и опрокидными цилиндрами. Схема пневматической разгрузки позволяет производить поочередную разгрузку отдельных думпкаров, а также разгрузку всего состава одновременно, однако она приводит к значительному утяжелению тары и большому расходу воздуха, большим затратам энергии.

Таким образом, важной задачей является снижение расхода энергии и материальных затрат на выгрузку массовых сыпучих грузов в добывающей промышленности.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Известен целый ряд работ [2, 3], посвященных анализу эффективности функционирования усовершенствованных вагонов-хопперов с односторонней саморазгрузкой как альтернативу металлоемким думпкаркам.

В работах рассматриваются следующие задачи [2, 3]:

1. Задача минимизации времени выгрузочных операций;
2. Задача обеспечения равных статических нагрузок от колесных пар вагона на рельсы;
3. Задача обеспечения устойчивости вагона в процессе погрузки-выгрузки;
4. Задача снижения энергетических затрат в процессе выгрузки вагона-хоппера, которая выполнена в рамках научного направления

кафедры: «Организация высокопроизводительного энергосберегающего комплекса транспортного обслуживания предприятий промышленной и городской инфраструктуры».

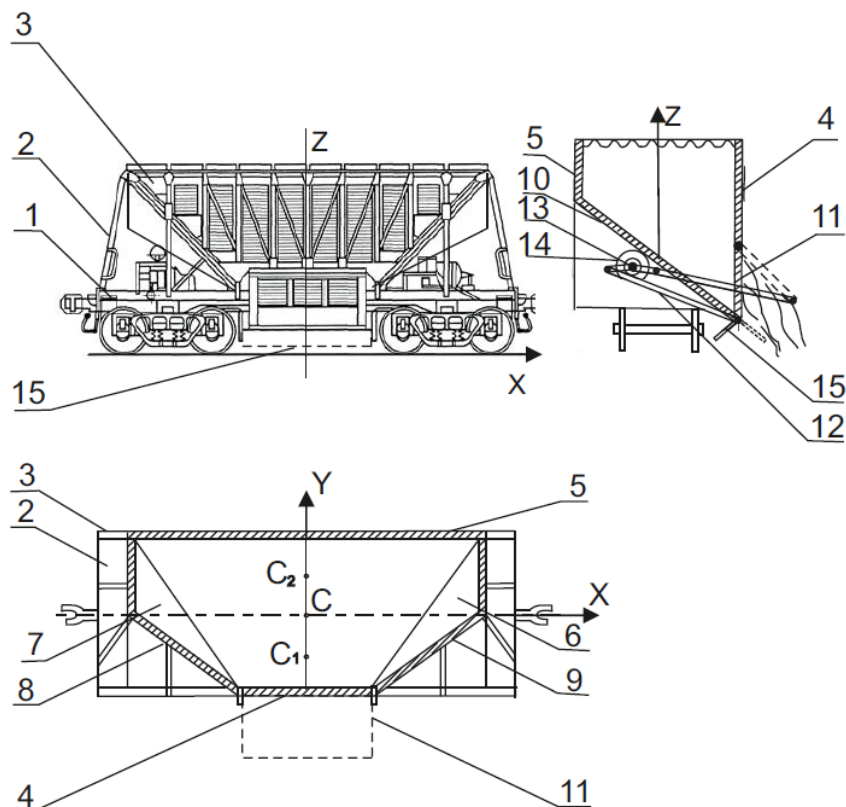
**Цель.** Цель работы состоит в оценке экономической эффективности использования вагонов-хопперов с односторонней саморазгрузкой с электрическим оборудованием для выгрузки.

**Расчеты и материалы исследования.** Как уже отмечалось [2], была предложена электрическая система открытия и фиксации крышки разгрузочного люка вагона-хоппера с

односторонней саморазгрузкой (рис.1). Проводятся также работы по созданию схемы дистанционного управления разгрузкой вагонов-хопперов из кабины машиниста, позволяющей сократить трудоемкость работ при разгрузке, а при необходимости также возможность одновременной разгрузки группы вагонов-хопперов. В вагоне-хоппере выполнены конструктивные изменения оборудования для разгрузки, использован электродвигатель с приводным механизмом и система рычагов, которые уменьшают затраты энергии и улучшают технические качества в процессе разгрузки вагона-хоппера.



а)



б)

Рис.1. Вагон – хоппер с электрической системой выгрузки сыпучего груза:

а) общий вид вагона-хоппера с односторонней саморазгрузкой; б) вагон-хоппер с оборудованием для выгрузки груза.  $C_1$ ,  $C_2$  – центры тяжести груза правой и левой частей кузова,  $C$  – центр тяжести порожнего кузова вагона.

Вагон-хоппер для перевозки сыпучих грузов содержит раму 1, каркас 2, цельнометаллический кузов 3, состоящий из двух боковых вертикальных стенок 4 и 5, торцевых стенок 6 и 7, переходных стенок 8 и 9, часть боковой стенки 5 преобразована в наклонный пол 10 кузова 3, верхняя часть сечения кузова 3 имеет в плане вид соединенных большими основаниями вдоль продольной оси прямоугольника и трапеции с боковыми переходными стенками 8, 9 и малым основанием на стороне разгрузочной боковой стенки 4. Оборудование для разгрузки состоит из наклоненного к низу разгрузочного люка с крышкой 11, прикрепленного в шарнирах к боковой стенке 4, системы рычагов 12, прикрепленных с одной стороны к крышке 11 разгрузочного люка, а с другой стороны - к приводному механизму 13 с электродвигателем 14, а также дополнительного борта 15, прикрепленного к низу боковой стенки 4 [4, 5, 6].

При подаче электрической энергии электродвигатель через приводной механизм приводит в действие систему рычагов, в результате чего происходит открытие и закрытие крышки люка в нескольких положениях. Электрический двигатель имеет специальную конструкцию, которая обеспечивает определенное количество оборотов, фиксированное и надежное расположение крышки разгрузочного люка в нужном положении при дозировании сыпучего груза. Благодаря дополнительному борту, который откидывается перед разгрузкой вагона-хоппера, сыпучий груз высыпается на значительное расстояние от железнодорожного пути. Штриховыми линиями отмечено положение крышки и дополнительного борта при саморазгрузке вагона-хоппера.

При неполном открытии разгрузочного люка в процессе движения вагона-хоппера со скоростью 2-5 км/ч происходит одностороннее дозирование сыпучего груза (например, формирование плоского породного отвала террасами).

Для сравнения целесообразности применения одной из двух конструкций и решения поставленной задачи, в качестве экономического критерия выберем *энергозатраты на выполнение разгрузки вагона - самосвала (думпкара) и вагона - хоппера.*

Сравнение энергозатрат базового варианта (вагона - самосвала) и модернизированного (вагона - хоппера) будем производить по одному из основных критериев - затратам дизельного топлива на разгрузку единицы подвижного состава.

Для расчета затрат дизельного топлива на разгрузку одного вагона базового и модернизированного вариантов рассмотрим работу и конструкцию вагона самосвала (думпкара) (рис. 2) и вагона-хоппера (рис. 3).

На рис. 2 представлена расчетная схема базового варианта.

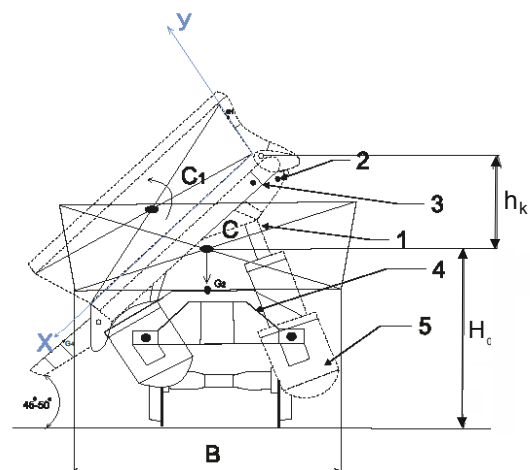


Рис. 2. Расчетная схема вагона-самосвала (думпкара):  
 $B$  – ширина кузова вагона-самосвала;  $H_c$  – высота центра тяжести в транспортном положении;  $h_k$  – высота поднятия груза при опрокидывании думпкара.

При наклоне кузова в правую сторону кузов наклоняется относительно валика 4, положение оси которого по отношению к нижней раме остается неизменным. В результате этого положения рычагов 2 и 1 правого борта по отношению к нижней раме также не изменяется. Рычаги 2 и 1 левого борта отклоняются вместе с валиком 4 кронштейнами, расположенными на левой, которая поднимается, стороне кузова. Поскольку ролик 3 рычага 2 левого борта поднимается вместе с кронштейном борта, их взаиморасположение не изменяется и левый борт остается закрытым. В то же время кронштейн правого борта, вместе с правой стороной кузова, опускается по отношению к нижней раме. Кронштейн правого борта начинает скользить по ролику 3, борт отклоняется и постепенно становится в положение, предусмотренное для него при разгрузке. Думпкар с пневматической разгрузкой оборудован воздушной магистралью, запасным резервуаром и опрокидными цилиндрами 5.

Для расчета принимается грузоподъемность вагона думпкара  $G_r = 60$  т, масса кузова  $G_k = 15$  т. Центр тяжести кузова вагона с грузом в транспортном положении находится в геометрическом центре кузова и находится на расстоянии 0,55 м от пола кузова вагона. Центр тяжести кузова вагона при выгрузке определяется в зависимости от веса всех составных частей кузова вагона и веса груза. В процессе разгрузки

кузов изменяет угол наклона на  $\alpha = 35^{\circ}-45^{\circ}$ .

Высота поднятия груза  $h_k = 1,02$  м.

Затраты дизельного топлива на разгрузку одного вагона - самосвала с грузом за один раз (не порционно) определим из условия

энергетического баланса на привод компрессора для сжатия воздуха по уравнению:

$$q_{PB} = \frac{Q_1}{Q^*} = \frac{|A_{GK}|}{\eta * Q^*} = \frac{|-(G + G_r) * h_k|}{\eta * Q^*} = 0,713(\text{кг})$$

где  $Q_1$  - потребность в энергии топлива, которое впрыскивается в цилиндры дизель-генератора, Дж;

$Q^*$  - теплотворная способность топлива, Дж/кг;

$A_{GK}$  - работа по поднятию груза на высоту  $h_k$ , Дж;

$G$  – вес кузова вагона самосвала (15000 кг);

$G_r$  - вес груза загруженного в вагон (60000 кг),

$\eta$  - коэффициент полезного действия установки для опрокидывания.

На рис. 3 представлена расчетная схема модернизированного варианта.

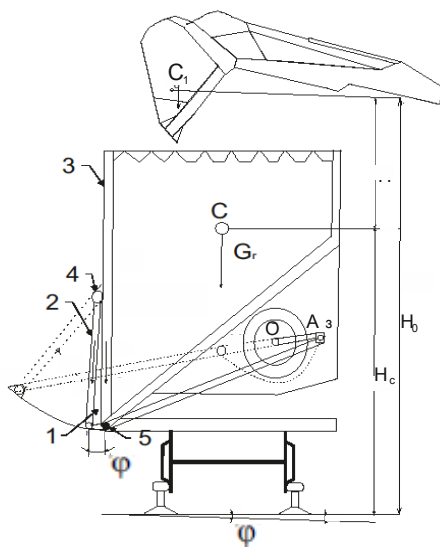


Рис. 3. Расчетная схема вагона - хоппера:

1 – люк; 2 - крышка люка; 3 - боковая стенка; 4 - шарнир; 5 - механизм открытия крышки люка, С - центр тяжести груза в кузове вагона,  $C_1$  - центр тяжести груза в ковше экскаватора,  $G_r$  – вес груза в кузове вагона,  $H_c$  – высота центра тяжести груза в кузове вагона,  $H_b$  – высота центра тяжести груза в ковше экскаватора.

Вагон - хоппер оборудован наклонным полом, то есть при загрузке ковшевым экскаватором, экскаватор делает всю работу по подъему и опусканию груза. Груз при автоматическом открытии крышки люка под действием силы тяжести высыпается из вагона.

Электродвигатель, который установлен на вагоне, работает только в режиме дозирования и полного закрытия крышки люка, потому что груз сам давит на крышку, электродвигателю необходимо только отключить стопор, как груз сам начнет высыпаться.

На вагон-хоппер установлен электродвигатель мощностью 1кВт в час.

Угол, на который крышка люка не закрывается из-за возвышения наружного рельса над внутренним равен  $\phi = 2,9^0$ .

Затраты дизельного топлива на привод электрогенератора устройства открытия и закрытия крышки люка на разгрузку одного вагона - хоппера за один раз составят:

$$q_{PB} = \frac{A_3 * q_1}{\eta_{мех} * \eta_{эл}} = 0,0828\text{кг}$$

где  $\eta_{мех}$  - коэффициент полезного действия дизеля при работе электрогенератора на электрическом приводе мотора – компрессора;

$\eta_{эл}$  - коэффициент полезного действия электрической передачи и мотора привода компрессора;

$q_1$  - расходы дизельного топлива на выполнение работы по преодолению веса крышки в 1 кг, кг/Дж;

$A_3$  - работа на закрывание крышки люка вагона-хоппера электродвигателем определяется с учетом веса крышки и требуемого усилия, Дж.

Полученные расчетные данные по двум вариантам, позволили произвести сравнительный анализ затрат топлива на разгрузку одного и группы вагонов. Результаты показаны на рис.4, где видны экономические преимущества модернизированного варианта вагона-хоппера.

### Выводы.

1. В работе выполнено исследование модернизированных вагонов-хопперов с электрическим оборудованием для разгрузки. Выполнены экономические расчеты и выполнена оценка эффективности использования модернизированных вагонов-хопперов с односторонней саморазгрузкой.

2. Полученные расчетные данные по двум вариантам позволили показать экономические преимущества модернизированного варианта вагона-хоппера с разгрузкой без большого количества сжатого воздуха.

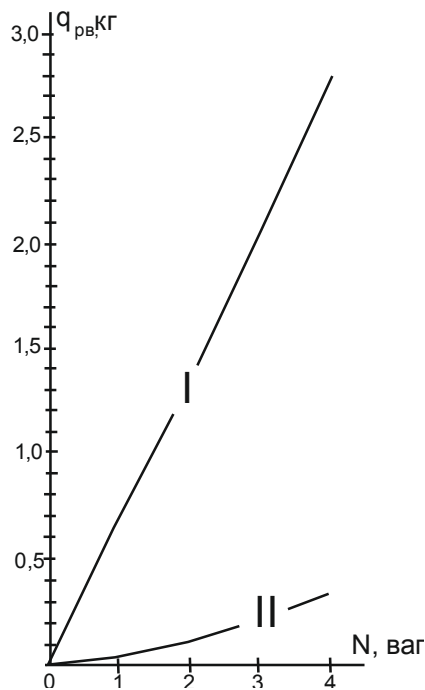


Рис.4 Затраты топлива на разгрузку вагонов, кг  
 I - вагонами - самосвалами (думпкарами);  
 II - вагонами-хопперами.

#### Литература

- 1) Парунакян В.Э., Ясученя В.В., 1960.: Опыт эксплуатации моторизованных думпкаров на Коркинском угольном карьере.// Изв. вузов. Горный журнал. – № 11. – С. 157–162.
- 2) Губачева Л.О., Андреев О.О., Леонова С.О., 2012.: Вагон-хоппер с односторонней саморазгрузкой. Вестник ВНУ им. В. Даля. Научный журнал №4(175),с.69-74.
- 3) Larisa Gubacheva, Alexander Andreev, Svetlana Leonova.: The use of upgraded hopper cars in the mining industry. TEKA Commission of Motorization and energetics in Agriculture. Vol.12, № 4, pp.71-75.
- 4) Положительное решение по заявке на выдачу патента U201303557 от 26.06.13 «Вагон-хоппер для перевозки сыпучих грузов», Губачева Л.А., Андреев А.А., Леонова С.А., Кутняхов С.В.
- 5) Положительное решение по заявке на выдачу патента U201303556 от 20.06.13 «Вагон-хоппер», Губачева Л.А., Андреев А.А., Леонова С.А., Мокроусов С.Д., Щербаков В.П.
- 6) Патент Украины на полезную модель №75199 от 26.11.12, Бюл. №22 «Вагон-хоппер для перевозки сыпучих грузов» Губачева Л.А., Андреев А.А., Леонова С.А.

#### References

1. Parunakjan V.Je., Jajuchenja V.V., 1960.: Опыт эксплуатации моторизованных думпкаров на Коркинском угольном карьере.// Izv. vuzov. Gornyj zhurnal. – № 11. – С. 157–162.
2. Gubacheva L.O., Andreev O.O., Leonova S.O., 2012.: Vagon-hopper s odnostoronnej samorazgruzkoj.

Vestnik VNU im. V. Dalja. Nauchnyj zhurnal №4(175),s.69-74.

3. Larisa Gubacheva, Alexander Andreev, Svetlana Leonova.: The use of upgraded hopper cars in the mining industry. TEKA Commission of Motorization and energetics in Agriculture. Vol.12, № 4, pp.71-75.

4. Polozhitel'noe reshenie po zajavke na vydachu patenta U201303557 ot 26.06.13 «Vagon-hopper dlja perevozki syuchih gruzov», Gubacheva L.A., Andreev A.A., Leonova S.A., Kutnjahov S.V.

5. Polozhitel'noe reshenie po zajavke na vydachu patenta U201303556 ot 20.06.13 «Vagon-hopper», Gubacheva L.A., Andreev A.A., Leonova S.A., Mokrousov S.D., Shherbakov V.P.

6. Patent Ukrainy na poleznuju model' №75199 ot 26.11.12, Bjul. №22 «Vagon-hopper dlja perevozki syuchih gruzov» Gubacheva L.A., Andreev A.A., Leonova S.A.

#### Губачева Л.О., Леонова С.О. Оцінка економічної ефективності використання модернізованих вагонів-хоперів з електричним устаткуванням для саморозвантаження.

Представлено результати дослідження сучасних модернізованих вагонів-хоперів у видобувній промисловості. Розглянуто задачу зменшення витрат енергії і матеріальних витрат на розвантаження масових сиучих вантажів. Показано економічну ефективність використання вагонів-хоперів з електричним устаткуванням для розвантаження у порівнянні з вагонами-самоскидами (думпкарами).

**Ключові слова:** вагон-хопер, вагон-самоскид, обладнання для розвантаження, тяговий розрахунок, економічна ефективність.

#### Gubacheva L.O., Leonova S.A. Evaluation of economic efficiency of use of modernized hopper cars with electrical equipment for self-discharge

The results of the study of modernized hopper cars in the mining industry are presented. The problem of reducing the consumption of energy and material costs for unloading the mass bulk cargo is investigated. The economic efficiency of use of the hopper cars with electrical equipment for unloading is shown in the comparison with car-trucks (dump cars).

**Keywords:** hopper car, the car-truck, unloading equipment, traction calculation, economic efficiency.

**Голубенко А.Л.** - д.т.н., професор, ректор ВНУ им. В. Даля.

**Губачева Л.А.** – д.т.н., професор, зав. кафедрой компьютерных технологий на промышленном и городском транспорте, ВНУ им. В. Даля, г. Луганськ, Украина, e-mail: gubacheva\_snu@bk.ru

**Леонова С.А.** – аспирант, ст. преп. кафедры компьютерных технологий на промышленном и городском транспорте, ВНУ им. В. Даля, г. Луганськ, Украина, e-mail: Svetlana.8709@mail.ru

**Мокроусов С.Д.** - генеральный директор, (ПрАТ «НВЦ «ТРАНСМАШ», Луганськ).