

УДК 622.625.24

*В. Ф. Ганкевич, канд. техн. наук, А. А. Титов, канд. техн. наук,  
Л. А. Якубович, В. Я. Киба*

## **О ПОВЫШЕНИИ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КОЛЕС ЛОКОМОТИВНОГО ТРАНСПОРТА**

Предложено изготовление ступиц колес локомотивного транспорта из серого чугуна с напрессовыванием бандажа из стали 35ГЛ нахолодно на центр колеса до упора с фиксацией от осевого перемещения при помощи специального кольца, на заклепках, что позволяет при износе обода и реборды производить его замену. Рекомендовано подпружинивание осей колесных пар.

*Ключевые слова:* колесо, ступица, бандаж, легирование, износ, чугун, термоупрочнение.

**Постановка проблемы.** Технический прогресс в горной промышленности определяется значительным увеличением выпуска существующих горных машин и комплексов, освоением новых высокопроизводительных машин. Большое внимание при этом должно уделяться повышению их качества и надежности. Повышение надежности – одна из важнейших задач современности, связана с непрерывным ростом интенсификации, повышением производительности оборудования и увеличением воздействующих на него нагрузок.

При разработке конструкций современного горнодобывающего оборудования ставится задача обеспечения их работоспособности в различных горнотехнических и погоднo-климатических условиях эксплуатации. Подобные экстремальные условия требуют изменения взгляда на эксплуатационную надежность этого типа оборудования. Для большинства типов горных машин моральная долговечность превышает 10 лет, а их физическая долговечность измеряется несколькими годами.

Высокопроизводительная работа горных предприятий во многом определяется совершенством работы всех механизмов и, в частности, транспортных средств, среди которых значительное место занимает оборудование на колесном ходу – рудничные электровозы и шахтные вагоны.

Основным видом транспорта на шахтах является электровозная откатка. Одним из наиболее прогрессивных направлений развития локомотивного транспорта является переход на эксплуатацию большегрузных вагонов. Это обеспечит повышение производительности труда, сократит время на погрузочно-разгрузочные операции, уменьшит расход энергии на откатку, потребует меньших затрат на монтажные, эксплуатационные и ремонтные работы.

Для рационального использования сечения горных выработок при проектировании необходимо, чтобы размеры вагонеток (высота и ширина) стремились к размерам локомотивов, учитывая при этом размеры стволов и клетей, высоту погрузки породопогрузочных машин.

В трудовых затратах, связанных с добычей руды, на долю электровозной откатки приходится до 22%. Однако этот вид транспорта работает в тяжелых условиях из-за динамических нагрузок, влажности, наличия абразивов, неровности рельсового пути и т. д. Вследствие этого колесные пары быстро выходят из строя, и срок службы колес составляет 4–6 месяцев [1]. Замена изношенных деталей обуславливает значительные затраты материальных средств и рабочего времени, а также простои рудничного транспорта.

Поэтому увеличение износостойкости и долговечности ходовой части шахтных вагонов является актуальным вопросом.

Одной из основных причин малого срока службы колес вагонов является ошибочный подход разработчиков к выбору технических решений конструкции колеса и всей ходовой части. В горнорудном производстве наблюдается интенсивный износ колесных пар шахтных вагонов, в основном не только из-за преждевременного разрушения подшипникового узла, но и из-за непродолжительного срока службы колес и бандажей.

Исходя из анализа износа колес вагонов на рудниках Кривбасса, следует, что срок службы полускатов десятитонных вагонов значительно ниже малоемкостных вагонов. Так, срок службы колес вагонов ВГ-4 (емкостью  $2 м^3$ , грузоподъемностью  $5 т$ ) доходит до 1–2 лет, а вагонов ЗВО-10 (емкостью кузова  $4 м^3$ , грузоподъемностью  $10 т$ ) 2–6 месяцев, после чего колеса отправляются на восстановление или на переплавку, в зависимости от величины износа. Восстановление 18–20 мм изношенных колес рудничных вагонов позволяет в значительной мере сократить нерациональные расходы материальных ресурсов на эксплуатацию рудничного транспорта.

Как известно, в настоящее время для наращивания изношенных поверхностей могут использоваться методы электродуговой и газовой наплавки, вибродуговой наплавки и электролитические методы восстановления.

Поскольку величина линейного износа контактной поверхности бандажей рудничных электровозов по глубине лежит в пределах от 10 до 45 мм, при средних значениях для восстановления изношенных бандажей требуется высокопроизводительный метод. Вес изношенного металла одного бандажа составляет 12–18 кг, а если учесть припуск на обработку и потери металла при наплавке, его величина будет еще больше.

Из всех существующих методов наплавки, при указанных параметрах, наиболее рациональным является электродуговой под слоем флюса. Однако, восстановление бандажей в очень редких случаях

производится эффективными методами. В отдельных случаях восстановление бандажей осуществляется электродуговой наплавкой с грубыми нарушениями технологического процесса. Процесс восстановления одного полуската (двух бандажей) при этом занимает две и более смены.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Согласно исследований [4, 5] рекомендовано колеса и бандажи для железнодорожного транспорта изготавливать из стали марки «Т» (0,63% C ; 0,72% Mn, 0,094% V ) с поверхностной твердостью рабочей поверхности колеса  $350HB$  на глубину допустимой величины износа и изменением структуры от феррито-перлитного состояния до высокодисперсного перлита с игольчатым ферритом и бейнитом, что приводит к повышению стойкости к образованию контактно-усталостных выкрашиваний, более чем на 100%. При этом достигается сохранение на высоком уровне характеристик пластичности и ударной вязкости.

Перенесение результатов исследований и разработок в области железнодорожного транспорта на шахтный невозможно из-за разных условий эксплуатации, скоростей, величины нагрузок и состояния рельсового пути.

**Выделение нерешенных ранее частей проблемы.** Колеса электровозов и вагонов шахтного транспорта отливаются в земляные формы без жесткого контроля химического состава стали, времени и температурного режима отжига. Как правило, закалке поверхность катания колеса не подвергается. Ряд конструкций вагонеток не предусматривает подрессоривание кузова, из-за чего нагрузки распределяются неравномерно между колесами, что повышает их износ. На большегрузных вагонах амортизаторы, применяемые в настоящее время, малоэффективны. Срок службы колес зависит, в значительной мере, от работоспособности подшипниковых узлов, которая определяется главным образом точностью и чистой обработкой посадочных мест под подшипники. Это влияет и на сопротивление движению локомотивного транспорта, приводит к дополнительным расходам электроэнергии и преждевременному их разрушению.

**Изложение основного материала.** Для обеспечения равномерного распределения нагрузки между колесами целесообразно подрессоривание кузова вагонетки [2]. Конструкция подрессоривания состоит из колесной пары, балансира, пружины и опорной части кузова вагонетки. Балансир ходовой части находится в направляющих кузова вагонетки в вертикальных пазах, воспринимающих боковые или поперечные нагрузки кузова вагонетки. В этой конструкции, при максимальной нагрузке на колесную пару  $64000H$  и неплоскостности опорной поверхности четырех колес и профиля рельсов на  $50\text{ мм}$ , подрессоривание обеспечивает эффективное распределение нагрузки между колесами.

Колеса рудных вагонов отливаются в земляные формы или в кокили.

При отливке в земляную форму, большие припуски на механическую обработку, низкий срок службы и высокий брак литья (до 5–6%) заставили искать новую технологию их отливки. Сушка земляных форм осуществляется газовыми факелами, а не экологически чистыми и более экономными инфракрасными излучателями ЗС-3 и др.

Применение кокилей для отливки колес не обеспечивает достаточной чистоты рабочей части колеса, поверхность катания получается шероховатой, требующей механической обработки. Срок службы кокилей низкий, до 30–35 заливок.

Целесообразно применять полукокиль. Формовка колес осуществляется на встряхивающих машинах с опрокидным столом, только по ободу и реборде устанавливается металлическое кольцо. Металлическое кольцо полукокиля выполняется из стали 15Л или 20Л с увеличенной на 50 мм высотой, что позволяет при выгорании восстанавливать необходимые размеры кольца путем подварки и механической обработки. При применении полукокиля исключается брак от трещин. Разностенность обода и диска в земляных формах приводит к одновременному осыванию и образованию внутренних напряжений, что устраняется при использовании полукокиля.

Для устранения шероховатостей на поверхности обода и реборды и, как следствие, избежания механической обработки, рекомендовано применение обмазки кокиля следующего состава: на 1 л уайт-спирита или керосина дать 350–400 г твердой смолы и 200–250 г черного или серебристого графита.

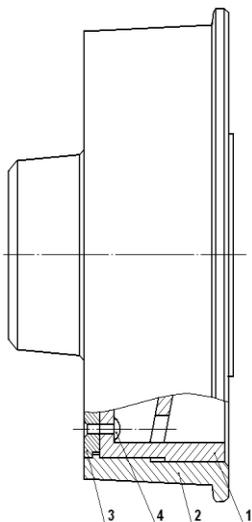
Покраска производится дважды после каждой заливки. Средний срок службы полукокилей составляет 42 залива. Размеры полукокиля позволяют производить пятикратное их восстановление. Отливка колес в кокиль и полукокиль уменьшит процент брака и увеличит коэффициент использования полезной площади литейных цехов.

Одним из вариантов повышения надежности и снижения эксплуатационных затрат работы колеса рудничного вагона может быть изготовление ступицы колеса из серого чугуна с напрессовыванием бандажа, например, из стали 35ГЛ, отлитой центробежным способом. Предлагаемая сталь обеспечивает допустимые контактные напряжения –  $520 \text{ мН} / \text{м}^2$ .

При этом бандаж гарантировано не будет иметь пор, раковин, других дефектов и сталь приобретет механические свойства, близкие к полученным методом проката. Насадка бандажа на ступицу колеса осуществляется методом горячего прессования [3].

На рис. 1 представлена конструкция бандажированного колеса. Конструкция бандажа предусматривает его замену в процессе износа. Крепление бандажа осуществляется нахолодно запрессовкой на центр колеса до упора с фиксацией от осевого перемещения при помощи специального кольца, на заклепках, которые расклепываются в холодном состоянии.

Изготовление заготовки бандажа возможно из полосы стали 35 ГЛ со сваркой встык на стыковсварочной машине, чем достигается его равнопрочность. Заготовка в дальнейшем подвергается горячей штамповке, с формированием реборды и затем рабочая поверхность колеса подвергается закалке токами высокой частоты до твердости  $350HB$  на глубину поверхности катания и реборды до  $10\text{мм}$ , что соответствует максимальной величине износа.



1 – обод колеса; 2 – бандаж; 3 – кольцо; 4 – заклепка

Рис. 1 – Конструкция бандажированного колеса

Согласно данным исследований [3] сделан вывод о том, что стали, легированные марганцем, значительно дешевле сталей, легированных хромом, ванадием или титаном. Колеса, изготовленные из стали легированной марганцем, имеют такие же свойства, как и колеса, изготовленные из сталей, легированных титаном и ванадием, а стоимость их значительно ниже. Кроме химического состава стали предложена для получения высоких прочностных и пластических свойств, термическая обработка колес.

Проведено совершенствование подшипникового узла.

Для достижения соосности посадочных отверстий под подшипники разработчики ликвидировали опорные торцы в ступице колеса. Этим была обеспечена их расточка с одной установки. Вместо опорных торцов растачивают прямоугольный паз под разрезные кольца.

Однако, установить в этот паз жестко или с натягом разрезные кольца не представляется возможным и их приваривают к ступице с противоположной стороны опорного торца, или запрессовывают.

Недопустимое отклонение по перпендикулярности опорных торцов относительно общей оси посадочных отверстий под наружные кольца

подшипников, возникающее при установке разрезных колец, не контролируется из-за отсутствия специального измерительного приспособления.

Предложена конструкция колеса с максимально раздвинутым расположением подшипников и выполненными непосредственно в ступице колеса торцовыми опорными поверхностями.

Разнос подшипников целесообразен для уменьшения радиальных нагрузок от пары сил, возникающей от действия головки рельса на ребро колеса. Кроме того, это позволит повысить точность их установки за счет снижения угла перекоса при тех же заданных отклонениях по соосности отверстий и по перпендикулярности торцов к общей оси отверстий.

Для обеспечения высокой надежности конических роликоподшипников необходимо их установить с точностью по седьмому качеству при соответствующей чистоте обработки.

Технологией изготовления, при этом, на конечной операции, предусматривается алмазная двухсторонняя расточка с одновременной подрезкой торцов, применяемая для аналогичных условий, например, в автомобильной промышленности.

Алмазная тонкая расточка отверстий применима тогда, когда в конструкции и технологии предусмотрены базовые поверхности для установки колеса на станок, а также тогда, когда рассчитываемые отверстия предварительно развернуты с целью обеспечения одинакового припуска на обработку у каждой детали. С этой же целью необходимо предварительно обеспечить соответствующую соосность отверстий.

В отличие от существующих конструкций фиксация подшипников корончатой гайкой и шплинтом, который во время эксплуатации часто срезается, в разработанной конструкции предусмотрена шпоночная шайба, надежно обеспечивающая момент трения, возникающий при проскальзывании внутреннего кольца роликоподшипника. Применение шлицевой гайки и стопорной шайбы, при этом, надежно фиксирует регулировочный зазор в подшипниках.

Для предотвращения возможности деформации обода конус диска колеса смещен к центру.

Более надежной является защита подшипников от внешней среды, с одной стороны штампованной крышкой с резиновым кольцом и зафиксированной пружинным кольцом, а с другой стороны кольцом с жировыми канавками.

Также интерес представляет решение вопроса о величине износа взаимодействующих поверхностей колеса и рельса с позиции классической теории Герца. Величина износа трущейся пары колесо-рельс зависит от работы сил трения, напряжений в месте контакта и величины пути относительных поперечных перемещений.

Выражение для величины износа можно записать в виде [6]

$$U = f \cdot k^y \cdot P_{\max}^{\lambda} \cdot \omega \cdot W^z,$$

где  $f$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние прочих факторов;  $k$  – коэффициент трения;  $P_{max}$  – максимальное давление в месте контакта;  $\omega$  – количество поперечных перемещений поверхности катания колеса относительно головки рельса;  $W$  - функция радиуса колеса и упругих свойств колеса;  $\lambda$ ,  $y$ ,  $z$  – коэффициенты.

Для определения коэффициентов  $\lambda$ ,  $y$  и  $z$  необходимо провести по два рабочих и по одному контрольному эксперименту при вариации значений нормальных давлений, коэффициента трения и радиуса колеса. Значения коэффициентов  $\lambda_i$ ,  $y_i$  и  $z_i$  при вариации только одного параметра определяются из выражений:

$$\lambda_i = \frac{2 \cdot \lg(U_1/U_2)}{\lg(P_1/P_2)};$$

$$y_i = \frac{\lg(U_1/U_2)}{\lg(k_1/k_2)};$$

$$z_i = \frac{\lg(U_1/U_2)}{\lg(W_2/W_1)} - \frac{\lambda_1}{2}.$$

Величины  $\lambda_1$ ,  $y_1$  и  $z_1$  проверяются при сравнении с данными контрольных экспериментов. По найденным таким методом величинам  $\lambda$ ,  $y$ ,  $z$ , согласно последнему выражению, можно прогнозировать величину износа поверхности катания колес.

Как показали экспериментальные исследования, интенсивному износу подвергается и реборда колеса. Процесс трения реборды колеса о головку рельса несколько отличается от взаимодействия поверхности катания колеса с рельсом. Задачу исследований можно свести к взаимодействию двух цилиндров, радиусы которых взаимно перпендикулярны, касаются друг друга в некоторой точке. Радиус цилиндра  $R_1$  (рельса) равен радиусу боковой выкружки колеса. При контакте средней точки реборды колеса с головкой рельса радиус цилиндра  $R_1$ , заменяющего реборду, определяется из выражения

$$R_1 = R_p \cdot \cos \alpha,$$

где  $R_p$  – радиус реборды в точке контакта;  $\alpha$  - угол между образующей конуса реборды и осью колеса.

В нашем случае  $R_2 < R_1$ . Имея выражение для максимального давления в точке контакта цилиндра (реборды колеса и головки рельса)  $R_{max}$  и полуосей  $a$  и  $b$  эллипса фактического контакта реборды колеса и головки рельса [6], по аналогии с исследованием износа поверхности

катания колес и рельса и после соответствующих преобразований получим уравнение износа реборды

$$U = f \cdot k^y \cdot c_p^x \cdot \left[ \frac{(M+N)^2}{(k_1+k_2)^2} \cdot P \right]^{x/3} \cdot \omega \cdot \pi^z \cdot c_a^{2z} \times \left[ \frac{(k_1+k_2) \cdot P}{M+N} \right]^{2z/3} \cdot (1-e^2)^{z/2}.$$

Неизвестные, входящие в это уравнение, определяем аналогично описанному ранее.

**Выводы.** Повышение износостойкости колес локомотивного транспорта достигается применением подрессоривания кузова вагона выбором химического состава материала колес и бандажей, совершенствованием конструкции бандажированного колеса, технологией монтажа в производственных условиях. Рекомендовано отливать бандажи центробежным способом, что позволит достигнуть физико-механических свойств и износостойкость стали близких, к полученным методом проката. Возможно изготовление бандажей горячей штамповкой с формированием реборды и обода из полосовой стали.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. **Ганкевич В. Ф.** Пути повышения долговечности колес шахтных вагонеток / В. Ф. Ганкевич // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1989. – № 1. – С. 44–46.
2. **Титов А. А.** К определению характеристик двухступенчатых амортизаторов рудничных вагонеток / А. А. Титов, В. Ф. Ганкевич, А. Н. Коцупей, Ю. В. Василенко // *Науковий вісник НГУ*. – 2010. – № 5. – С. 89–93.
3. **Ганкевич В. Ф.** Пути повышения надежности и долговечности колес рудных вагонеток / В. Ф. Ганкевич, Л. И. Танхова // *Металлургическая и горнорудная промышленность* 1985. – № 4. – С. 49–50.
4. **Узлов И. Г.** Определение структурного состояния и свойств железнодорожных бандажей и рельсов с целью минимизации их износа в паре взаимодействия / И. Г. Узлов, К. И. Узлов, А. Н. Хулин и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2009. – № 2. – С. 63–66.
5. **Узлов И. Г.** Контактнo-усталостная прочность локомотивных бандажей / И. Г. Узлов, А. Н. Хулин, К. И. Узлов, Ж. А. Дементьева // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2012. – № 3. – С. 54–57.

*В. Ф. Ганкевич, канд. техн. наук, О. О. Титов, канд. техн. наук,  
Л. А. Якубович, В. Я. Киба*

### ПРО ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КОЛЕС ЛОКОМОТИВНОГО ТРАНСПОРТУ

Пропонується виготовлення ступиць колес локомотивного транспорту з сірого чавуну із надресовуванням бандажу зі сталі марки З5ГЛ нахолодно на центр колеса до упору з фіксацією від осьового переміщення за допомогою спеціального кільця, на заклепках, що дозволяє під час зносу ободу та реборди виконувати його заміну.

*Ключові слова:* колесо, ступиця, бандаж, легування, знос, чавун, термозміцнення.

V. F. Gankevich, PhD (Tech.), A. A. Titov, PhD (Tech.),  
L. A. Yakubovich, V. J. Kiba

## ABOUT WAYS TO ENHANCE WEAR RESISTANCE OF LOCOMOTIVE TRANSPORT WHEELS

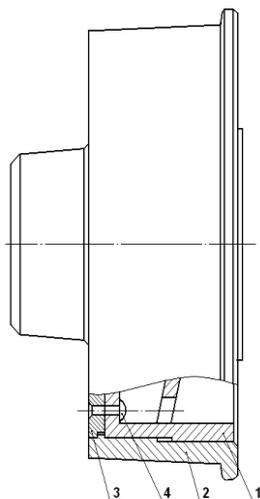
It is offered to produce wheel naves of locomotive transport units from cast iron with pressing of binding of 35GL steel without heating on the wheel core till support facing, with fixing from axial movement by special ring, on rivets, that allows to change a band in case of band and flange excessive wear.

**Keywords:** wheel, nave, binding, alloying, wear, cast iron, hardening.

Enhancement of reliability of rolling stock for electric locomotive transportation, taking into consideration, that it is the basic transport at coal and ore mines, it works in severe conditions (deformed rails, presence of abrasive dust, increased moistness etc.), and it takes more than one fifth part in labour expenses, connected with minerals extraction.

Fulfillment of analysis of design and wheels production technology at Ukrainian plants, choice of steel brand, hardening and conditions of locomotive transport operation has allowed to find out methods to enhance their operation characteristics.

Now, the service time of wheels depends mostly of bearing units quality, which determines by accuracy and purity of bearing seats' mechanical processing. So, it is reasonable to make elastic suspension for car body on wheels in order to provide more uniform load distribution [2]. Suspension consists of wheel pair, balancer, spring and support part of car body. Balancer of running gear is situated in body guides, bearing side or cross loadings on car body. Suspension of this design provides efficient load distribution between wheels, having maximum load on a wheel pair as 64000 *N* and non-planarity of support surfaces of four wheels and rails profile as 50 *mm*.



1 – wheel rim; 2 – bandage; 3 – ring; 4 – rivet

Fig. 1 – Design of bandaged wheels

Enhancing of locomotive transport wheels wear resistance is reached by usage of car body elastic suspension, choice of chemical structure of wheels and bandages, improvement of bandaged wheel design, technology of montage in industrial conditions. It is recommended to cast bandages by centrifugal method, that allows obtain physical-mechanical properties and wear resistance of steel almost equal to rolled metal. It is possible to produce bandages by hot stamping with forming of flange from flat steel.

The wear parameters of “rail-wheel” pair is set in dependence of wheel design and hardening, rail way conditions and the system of wheel pair’s suspension.

## REFERENCES

1. **Gankevich V. F.** Ways to enhance the durability of mining rail-car wheels / V. F. Gankevich // Metallurgy and mining-ore industry. – 1989. – № 1. – P. 44–46.
2. **Titov A. A.** For determination of characteristics of ore rail-car two-stage shock-absorbers / A. A. Titov, V. F. Gankevich, A. N. Kotsupey, J. V. Vasilenko // Scientific bulletin of the NMU. – 2010. – № 5. – P. 89–93.
3. **Gankevich V. F.** Ways to enhance the reliability and durability of ore rail-car wheels / V. F. Gankevich, L. I. Tanhola // Metallurgy and mining-ore industry. – 1985. – № 4. – P. 49–50.
4. **Uzlov I. G.** Determination of structural condition and properties of rail-car bindings and rails for the purpose of their wear minimization in an interaction pair / I. G. Uzlov, K. I. Uzlov, A. N. Hulin e.a. // Metallurgy and mining-ore industry. – 2009. – № 2. – P. 63–66.
5. **Uzlov I. G.** Contact-fatigue strength of locomotive bindings / I. G. Uzlov, A. N. Hulin, K. I. Uzlov, J. A. Dementjeva // Metallurgy and mining-ore industry. – 2012. – № 3. – P. 54–57.

*Государственное высшее учебное заведение  
«Национальный горный университет»,  
Днепропетровск, Украина*

*Поступила в редколлегию 19.06.2013*