

**В.М.Кузьмичёв, О.Н.Перков**

## **АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАБОТЫ КОЛЁСНЫХ ЦЕНТРОВ ДЛЯ ЛОКОМОТИВОВ**

*Институт черной металлургии им. З.И.Некрасова НАН Украины*

Выполнен анализ современных условий эксплуатации и требований, предъявляемых к локомотивным центрам. Показано, что для обеспечения надёжности центров локомотивных колёс определяющими являются не только характеристики его конструктивной прочности, но и параметры усталостной прочности металла, обеспечивающие живучесть колеса.

**Ключевые слова:** центры локомотивных колес, нагрузки в процессе работы, надёжность.

**Состояние вопроса.** Современное состояние экономики Украины вызывает необходимость в дальнейшем развитии железнодорожного транспорта с целью удовлетворения потребностей народного хозяйства и населения в перевозках, повышении эффективности его работы. Важным направлением в решении этих задач является модернизация тягового состава, повышение надёжности и долговечности деталей его наиболее нагруженных и наиболее ответственных узлов. В условиях роста грузонапряжённости железных дорог и повышения скоростей движения поездов большое значение приобретает обеспечение прочности и долговечности колёс локомотивов, увеличение гарантийного срока их службы.

Исходя из таких задач, потребуются эффективные конструкции элементов колёсных пар и новые марки стали для них, в том числе и хладостойкие, для работы в условиях низких температур. Отечественный и зарубежный опыт показывает, что, наряду с другими, это направление научно-технических разработок обеспечит надёжную и высокоэффективную работу железнодорожного транспорта в усложнившихся условиях эксплуатации.

**Современные условия эксплуатации и требования, предъявляемые к локомотивным центрам.** На железных дорогах Украины под локомотивами эксплуатируются составные колёса, состоящие из колёсного центра и насаженного на него бандажа. Диаметр колёс большинства тепловозов 1050 мм, диаметр колёс электровозов 1250 мм, диаметр колёсных центров соответственно 900 и 1070 мм.

Колёсный центр, как соединительное звено между осью и бандажом колеса, представляет собой конструктивный элемент, от поведения которого в большой степени зависит надёжность рельсового движения. Ему приходится работать в сложных условиях действия высоких циклических нагрузок, пиковых фактических напряжений, возникающих при ударно-импульсном характере нагрузок в момент соударения колеса с

рельсом при высоких скоростях движения, отрицательных температурах окружающей среды, в условиях применения тяжёлых типов рельсов и железобетонных шпал.

**Отличие нагрузок, действующих на колесный центр локомотива от нагрузок, действующих на вагонное колесо.** Следует отметить, что в процессе эксплуатации центр локомотивного колеса подвергается целому ряду специфических нагрузок, часть из которых не присуща вагонным колёсам. Основные нагрузки следующие:

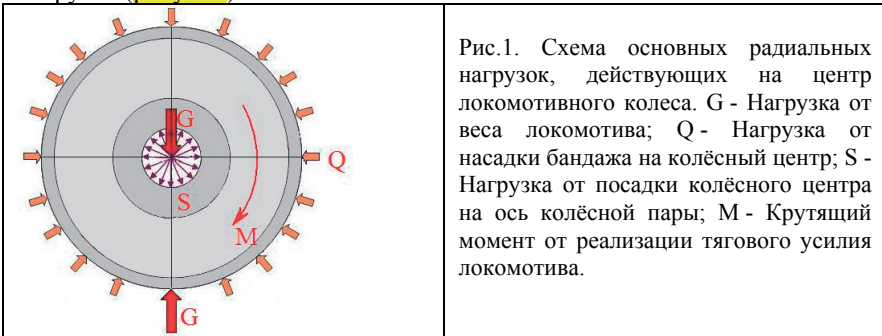
- Вертикальная нагрузка от веса локомотива, передаваемая на ось колёсной пары через рессоры, демпфирующие динамические нагрузки (подрессоренная масса);
- Вертикальная нагрузка от веса подрессоренных масс локомотива (колесной пары, буксовых узлов и части массы тягового электродвигателя или осевого редуктора), передаваемая непосредственно на ось колёсной пары и динамически воздействующая непосредственно на колесо и рельс;
- Динамические нагрузки, вызванные ускорениями подрессоренных масс кузова и тележки, а также от подрессоренных масс колесной пары, буксовых узлов и части массы тягового электродвигателя;
- Боковые нагрузки на гребень, возникающие при направлении движения колеса в рельсовой колее и при обеспечении вписывания локомотива в кривые при поворотах, передающиеся на диск центра через прессовую посадку бандажа;
- Удары от стыков, неровностей пути и направляющих сил, возникающих при движении локомотива.
- Нагрузки, возникающие при насадке центра на ось колёсной пары;
- Нагрузки, возникающие при насадке шестерни привода на ступицу колёсного центра;
- Нагрузки, возникающие при насадке бандажа на колёсный центр;
- Крутящий момент, нагружающий колесный центр при реализации локомотивом тягового усилия или при торможении;
- Нагрузки на диск, возникающие при передаче тягового усилия локомотива непосредственно на диск центра;
- Дополнительные боковые нагрузки, действующие на колесо в движении: центробежные силы при прохождении поворотов, ветровая нагрузка на локомотив и т.д.
- Существенное влияние на напряжённо-деформированное состояние колёсного центра оказывают и значительные колебания нагрузки, вызванной насадкой бандажа при разогреве колеса в результате длительного торможения. Бандаж разогревается до таких температур, что

посадочный натяг приближается к полному снятию, а при остывании бандажа натяг восстанавливается;

- Из-за длительного срока службы колёсного центра в металле нарастают усталостные явления.

При качении колеса локомотива по рельсу основной действующей нагрузкой является вес локомотива, причем, если вес собственно локомотива отделён от оси колёсной пары рессорами, которые демпфируют динамическую составляющую нагрузки, то вес тележки колёсной пары является необрессоренной массой и колёса контактируют непосредственно с рельсом, причём эта нагрузка имеет динамический характер. Так, для тепловоза 2ТЭ10В (6 осей, полная масса 129,3 т.) статическая нагрузка, приходящаяся на 1 колёсную пару 21,5 т., полная подрессоренная масса – 104,1 т, неподрессоренная масса, действующая на одну колесную пару 4,2 т.

Весовые статические и динамические нагрузки на колёсный центр от подрессоренных масс зависят от веса колёсной пары. Для обеспечения безопасности эксплуатации железнодорожного экипажа и сохранности колеса и рельсового пути, вес неподрессоренных элементов локомотива должен быть минимальным. В настоящее время, при использовании железной дорогой стандартных катаных осей и бандажей узким местом является литой центр локомотивного колеса, массу которого потенциально можно снизить путём перехода на цельнокатаные колёса или на катаные центры, естественно, с учётом действующих на колесо нагрузок (рисунок).



На контактную площадку бандажа колеса передаются вертикальные силы до 150 кН (15 тс), продольные силы сцепления до 45 кН (4,5 тс) и поперечные до 30 кН (3,0 тс) на поверхности катания и до 80 кН (8 тс) на гребень. [1] Существенно нагружают колёсный центр боковые силы. Напряжения в центрах от боковых нагрузок значительно выше, чем от вертикальных сил. Исследования, выполненные во ВНИТИ (Коломна), показали, что в наиболее нагруженной зоне диска колеса тепловоза напряжения от боковой нагрузки – 8 т в 3,5 раза выше напряжений от вертикальной силы – 20 т/ось, т.е. от каждой тонны боковой нагрузки

максимальные напряжения составляют  $180 \text{ кГ/см}^2$ , а от вертикальной примерно –  $40 \text{ кГ/см}^2$  [2]. Наиболее нагруженной частью центра является его диск, особенно в приступичной части. Суммарные напряжения в диске центра являются переменными, изменяющимися по асимметричным циклам и в своих максимумах соизмеримыми с пределом текучести материала.[2]

При формировании колёсной пары колёсный центр напрессовывают на ось при помощи гидравлического пресса или тепловым способом. Для обеспечения необходимой плотности посадки натяг должен быть  $(0,9 - 1,5) \cdot 10^{-3}$  диаметра сопрягаемых деталей. Усилие запрессовки составляет  $40 - 60 \text{ тс}$  на каждые  $100 \text{ мм}$  диаметра подступичной части оси. При тепловом способе посадки натяг между центром и осью должен составлять  $(0,85 - 1,4) \cdot 10^{-3}$  диаметра сопрягаемых деталей. Посадка с таким натягом обеспечивается тем, что для посадки на ось ступицу центра нагревают до температуры  $240-260^\circ\text{C}$  [3]. Для посадки бандажа на колёсный центр и шестерни привода на удлинённую часть ступицы центра используют только тепловой способ. Бандаж на электрическом или газовом горне нагревают до температуры  $250-300^\circ\text{C}$ , что обеспечивает получение необходимого натяга  $1,2 - 1,6 \text{ мм}$  на каждые  $1000 \text{ мм}$  диаметра посадочной поверхности. [3]

Исследования, проведенные во ВНИТИ (К), показали, что монтажные напряжения в диске, вызванные напрессовкой бандажа, достаточно велики. Например, вблизи ступицы центра на радиусе  $210 \text{ мм}$  на внутренней стороне диска в меридиональном направлении напряжения превышали предел текучести материала и составляли около –  $3150 \text{ кГ/см}^2$  [2]. Такие, не присущие вагонному колесу нагрузки, как усилия, созданные при насадке бандажа на центр и центра на ось, значительно осложняют напряжённое состояние колёсного центра локомотива по сравнению с условиями работы вагонного колеса (таблица).

Таблица. Основные нагрузки, действующие на локомотивный центр, приведены в табл. [4]

| №  | Нагружающий фактор   | Напряжения МПа в направлении |                      |
|----|--|------------------------------|----------------------|
|    |  | Меридиональном, $\sigma_x$   | Окружном, $\sigma_a$ |
| 1. | Запрессовка оси с натягом $0,2 \text{ мм}$ .               | 60                           | 95                   |
| 2. | Насадка бандажа с натягом $1,4 \text{ мм}$ .               | 210                          | 90                   |
| 3. | Вертикальная нагрузка $230 \text{ кН}$ на ось.             | - 123                        | - 49                 |
| 4. | Боковая нагрузка $100 \text{ кН}$ при $\alpha = 0^\circ$ . | -                            | -                    |
| 5. | То же при $\alpha = 180^\circ$ .                           | 42                           | 17                   |
| 6. | Суммарные напряжения при $\alpha = 0^\circ$ .              | 147                          | 136                  |
| 7. | То же при $\alpha = 180^\circ$ .                           | 312                          | 202                  |
| 8. | Средние (постоянные) напряжения цикла.                     | 230                          | 169                  |
| 9. | Амплитуды цикла.   | 82,5                         | 33                   |

Здесь  $\alpha$  - угол поворота, отсчитанный от радиуса, проходящего через точку контакта колеса с рельсом.

Таким образом, суммарные эквивалентные напряжения в прицепной зоне диска центра с внутренней стороны ( $\sigma_{\text{экр}}$ ) при нагрузках, указанных в табл., выраженные через постоянную ( $\sigma_m$ ) и переменную ( $\sigma_a$ ) составляющие, имеют вид

$$\sigma_{\text{экр}} = \sigma_m \pm \sigma_a = 230 \pm 82,5 \text{ Мпа.} \quad [4]$$

Одной из важнейших функций локомотивного колеса является реализации тягового усилия локомотива, в результате чего колесный центр нагружается (особенно при трогании локомотива с места) крутящим моментом, достигающим  $1,3 - 1,5 \cdot 10^5 \text{ Н м}$ .

Следует отметить, что за последние годы произошли изменения в материальной части железных дорог, которые привели к значительному повышению динамических нагрузок в контакте колесо-рельс, а, следовательно, и усложнили напряжённое состояние колеса и его центра. Массовое использование бетонных шпал и рельсов тяжёлых типов (вместо Р50 используют Р75 с твёрдостью 450НВ) привело к тому, что жёсткость рельсового пути значительно увеличилась, и динамические нагрузки на колёса от неподдресоренных масс локомотива выросли.

С целью повышения объёмов перевозок, за последние 30-35 лет железная дорога неоднократно повышала допускаемые нагрузки на ось вагонов и локомотивов. Некоторые современные мощные локомотивы, эксплуатируемые на дорогах Украины и СНГ, имеют нагрузку на ось 245 кН (2ТЭ126, ТЭП75). Перспективные планы развития железных дорог во всём мире предусматривают повышение нагрузки на ось для локомотивов в ближайшее время до 270-300 кН.

Скорости движения составов увеличились в 2 – 2,5 раза (до 150–200 км/час), что привело опять же к повышению динамических нагрузок на колеса, как в вертикальном, так и в осевом направлении. Активное использование композитных тормозных колодок, вместе с повышением скоростей движения привело к повышению тепловых нагрузок на колёса, вызванных торможением. В результате роста нагрузок в настоящее время пробег локомотивных бандажей составляет в среднем 300 – 500 тыс.км, в то время, как раньше обычным был пробег 800 - 900 тыс.км. [1]

Для надёжности железнодорожных вагонных колёс определяющими являются характеристики износостойкости и конструктивной прочности. Вагонное колесо, по своей сути, быстроизнашивающаяся деталь; оно быстрее изнашивается в результате проката, чем в металле колеса появляются признаки усталости. В среднем цельнокатаное вагонное колесо за весь срок своей службы проходит, по европейским данным, до 1 млн. км, и, таким образом, подвергается примерно  $3 \times 10^8$  циклов нагружения. По этой причине, такой фактор безопасности, как усталостная прочность, весьма важен для вагонного колеса, но не

является для него определяющим, критическим фактором эксплуатационной надёжности.

В случае с локомотивами ситуация несколько другая. Как было отмечено выше, в большинстве современных локомотивов используются составные, т.н. обандаженные колёса, состоящие из колёсного центра и насаженного на него бандажа. Быстроизнашивающейся деталью является бандаж, после пробега 300 -500 тыс.км бандаж заменяют, а центр используется в течение 30 и более лет, до соответствующего капитального ремонта. За это время колесо проходит 2,5 – 3,0 и более млн. км, и, таким образом, центр подвергается порядка  $1 \cdot 10^9$  циклов нагрузки. В результате достаточно длительной эксплуатации в металле центров локомотивных колёс могут возникнуть усталостные трещины, вследствие чего усталостная прочность и живучесть (скорость зарождения и развития трещины) являются весьма важными характеристиками надёжности локомотивного центра. Ввиду того, что колёсный центр не контактирует с рельсом, износостойкость металлу центра не требуется.

Следует учитывать и то, что железнодорожные колёса (как вагонные, так и локомотивные) эксплуатируются в различных климатических зонах, от тропиков до заполярья, поэтому материал колёс должен сохранять свои служебные характеристики во всем интервале температур от + 60°C до минус 60°C.

**Выводы.** Таким образом, в процессе эксплуатации центр локомотивного колеса, подвергается действию многокомпонентной системы сил, имеющих различную природу: статических, динамических, постоянных, переменных, радиальных, осевых, тангенциальных. В этой системе сил, в отличие от моноблочных вагонных колёс, участвуют значительные силы натяга, образовавшиеся при посадке колёсного центра на ось и бандажа на центр, а также крутящий момент, возникающий при реализации тягового усилия локомотива.

Ввиду длительного срока эксплуатации колёсного центра (30 лет и более), для обеспечения надёжности центров локомотивных колёс определяющими являются не только характеристики его конструктивной прочности, но и параметры усталостной прочности металла, обеспечивающие живучесть колеса.

1. Скалин А.В., Кононов В.Е., Бухтеев В.Ф., Ибрагимов М.А. Экипажная часть тепловозов. Конструкции, долговечность, ремонт. – М.: ООО «Желдориздат», 2008 – 304 с.
2. Никольская Э.Н., Гречишев Е.С. Исследование усталостной прочности литых дисков тепловозных колёс. // Вестник ВНИИЖТ. – 1973. -№2. С 16-20.
3. Инструкция по формированию и содержанию колёсных пар тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм, М.: Транспорт, 2000.

4. Никольская Э.Н., Дмитраш В.А., Арсенькина Т.И., Грек В.И. О напряжённости колёс локомотивов в условиях эксплуатации. // Вестник ВНИИЖТ. – 1985. -№8. С 35-39.

*Статья рекомендована к печати  
докт.техн.наук А. И. Бабаченко*

***В.М.Кузьмичов, О.М.Перков***

**Аналіз умов роботи колісних центрів для локомотивів**

Виконано аналіз сучасних умов експлуатації та вимог, що пред'являються до локомотивних центрів. Показано, що для забезпечення надійності центрів локомотивних коліс визначальними є не тільки характеристики його конструктивної міцності, але й параметри втомної міцності металу, що забезпечують живучість колеса.

**Ключові слова:** центри локомотивних коліс, навантаження, надійність.

***V. M. Kuzmichev, A. N. Perkov***

**An analysis of working conditions for locomotive wheel centers**

The analysis of modern operating conditions and requirements for locomotive centers. It is shown that, to ensure the reliability of locomotive wheels centers are the defining characteristics of its structural strength, as well as the parameters of the fatigue strength of the metal, to ensure the vitality of the wheel.

**Keywords:** centers of locomotive wheels, load in the process of reliability.