

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ ДИСКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОЛЕСА НА ЕГО РАДИАЛЬНУЮ И ОСЕВУЮ ЖЕСТКОСТИ

Исследовано влияние формы диска железнодорожного колеса на его радиальную и осевую жесткости. С помощью метода конечных элементов рассчитаны жесткости колес с широко распространенными в мире дисками и различными их вариациями. Согласно результатам исследования рекомендованы перспективные модели колес для дальнейшей разработки упругих дисков.

Досліджено вплив форми диску залізничного колеса на його радіальну та осьову жорсткості. За допомогою методу кінцевих елементів розраховано жорсткості коліс з широко розповсюдженими в світі дисками та різноманітними їх варіаціями. Згідно результатів дослідження рекомендовані перспективні моделі коліс для подальшої розробки пружних дисків.

The influence of the form of a disk of a railway wheel on its radial and axial rigidity is investigated. Rigidity of wheels with disks that are in general use around the world and with their variations is calculated using the finite-element method. From the research results perspective models of wheels are recommended to develop elastic disks.

На повышение скоростей движения поездов значительным образом влияет надежность работы колесной пары, существенным элементом которой является колесо. В настоящее время в мире используются колеса с несколькими типами дисков. Это колеса с прямыми, тарельчатыми, гофрированными и S-образными дисками. Разработка и использование более сложных с точки зрения изготовления форм дисков обусловлена рядом факторов. Так, с целью уменьшения динамических напряжений в колесе, возникающих в эксплуатации вследствие неровностей на его поверхности катания, а также неровностей пути, диск колеса должен обладать минимально возможной радиальной жесткостью [1]. Однако с уменьшением радиальной жесткости уменьшается и осевая (поперечная) жесткость диска, что негативно сказывается на динамике вагона в целом. В связи с этим ставится задача исследовать влияние геометрии диска на его жесткость в радиальном и осевом направлениях, для разработки железнодорожного колеса для железных дорог колеи 1520 мм с улучшенными эксплуатационными показателями.

Полное решение такой задачи предусматривает ряд исследований: по выбору перспективной формы диска, исследованию влияния выбранной формы диска на динамические показатели вагона, расчет колеса на прочность при действии различных динамических нагрузок, расчеты на долговечность.

В данной работе приведены результаты первого из перечисленных выше исследований, а именно выбор перспективной формы диска. Для решения этой задачи исследовались различные варианты перечисленных выше типов диска. Вначале, с помощью системы компьютерного 3D моделирования строились компьютерные модели базовых типов. Затем на их основе строились различные вариации базовых типов. Ниже приведены изображения сечений исследуемых дисков. Вначале брался базовый тип диска: тарельчатый (рис. 1а) – дальнейшее обозначение T_n^1 , гофрированный (рис. 2а) – Γ_n^1 , S-образный (рис. 3а) – S_n^1 , геометрические размеры которого соответствуют чертежным размерам. Затем геометрические размеры диска изменялись таким образом, чтобы выпуклость кривой, образующей форму диска, увеличивалась. Таким образом созданы по два варианта модели (рис. 1б, 1с – дальнейшее обозначение T_n^2 и T_n^3 , рис. 2б, 2с – дальнейшее обозначение Γ_n^2 и Γ_n^3 , рис. 3б, 3с – дальнейшее обозначение S_n^2 и S_n^3) каждого типа, в которых увеличивается выпуклость диска по отношению к

базовому типу. Затем на основе базового типа создавалась модель диска, «обратная» базовому (рис. 1d – дальнейшее обозначение T_o^1 , рис. 2d – Γ_o^1 , рис. 3d – S_o^1). Она отличается направлением выпуклости диска. Далее на основе обратной модели построены еще по две вариации дисков (рис. 1e, 1f – дальнейшее обозначение T_o^2 и T_o^3 , рис. 2e, 2f – дальнейшее обозначение Γ_o^2 и Γ_o^3 , рис. 3e, 3f – дальнейшее обозначение S_o^2 и S_o^3), выпуклость которых также увеличивается по отношению к базовой.

В результате получены для исследования 18 вариантов дисков с разными формами, разной величиной и направлением выпуклости, которые можно сгруппировать по следующим критериям: T_n^{1-3} – три варианта моделей колес с тарельчатым «прямым» (имеется ввиду соответствующим конструкторским чертежам) направлением диска; T_o^{1-3} – три варианта моделей колес с тарельчатым «обратным» (имеется ввиду обратное прямому направлению выпуклости) направлением диска; Γ_n^{1-3} – три варианта моделей колес с гофрированным «прямым» направлением диска; Γ_o^{1-3} – три варианта моделей колес с гофрированным «обратным» направлением диска; S_n^{1-3} – три варианта моделей колес с S-образным «прямым» направлением диска; S_o^{1-3} – три варианта моделей колес с S-образным «обратным» направлением диска.

Каждый вариант проверялся на прочность статическим расчетом с помощью компьютерной системы конечно-элементного анализа [2], [3]. Главным критерием при проверке моделей исследуемых дисков является коэффициент запаса прочности [2]. В настоящее время допускаемая осевая нагрузка составляет 23,5 т. Планируется увеличение нагрузки на ось до 25 т. Исследуемые модели дисков проверялись исходя из неперевышения коэффициента запаса прочности равного двум (по пределу текучести) при осевой нагрузке 25 т и динамической добавке 12,5 т [3]. Для проведения расчета создана конечно-элементная модель колеса, к которой применены условия, моделирующие неподвижное закрепление по внутренней поверхности ступицы. Вертикальные и боковые силы прикладываются к площадкам на поверхности катания и на гребне колеса. Вертикальная сила равна 18,75 т, боковая – 11,25 т (согласно [4]). Расчетная схема модели показана на рис. 4. С помощью расчета напряженно-деформированного состояния колеса определялись области диска, в которых коэффициент запаса прочности менее двух. Эти области усиливались утолщением диска, области с коэффициентом запаса прочности более 2,5 ослаблялись путем уменьшения толщины диска.

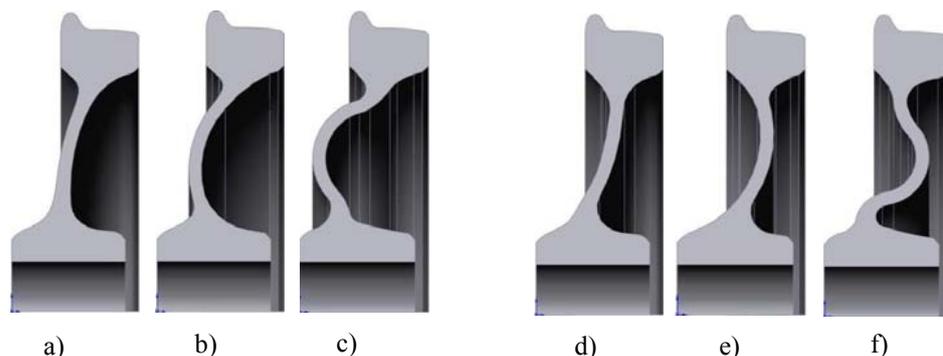


Рис. 1

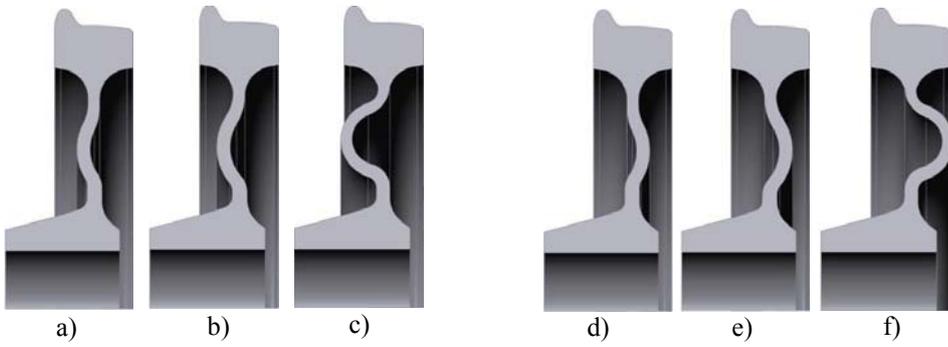


Рис. 2

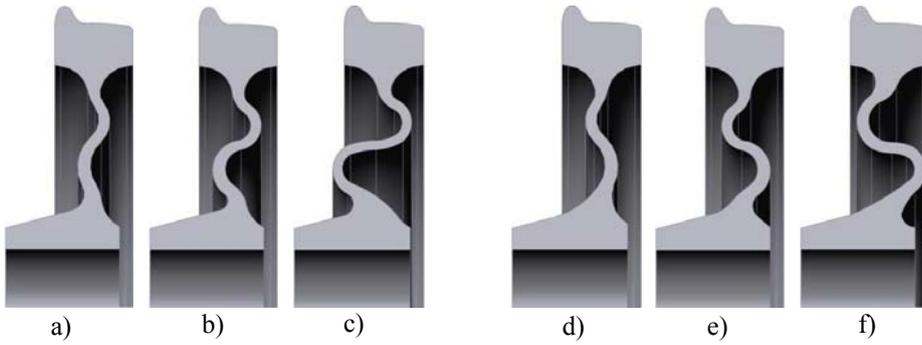


Рис. 3

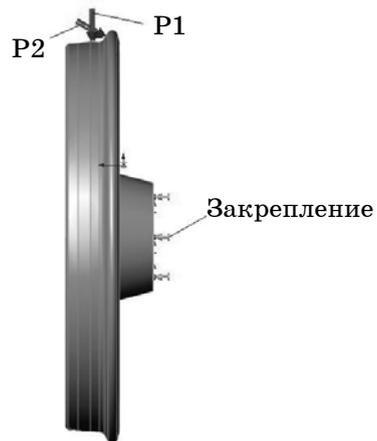


Рис. 4

После того как были созданы все варианты базовых типов дисков, производился расчет жесткости диска в осевом и радиальном направлениях. Для этого использовалась та же конечно-элементная модель колеса, что и при статическом расчете колеса на прочность. Вертикальная и боковая силы прикладывались при этом по отдельности и вычислялись перемещения точек приложения силы в соответствующем направлении. По найденным значениям перемещений и заданным силам определялись значения жесткостей колес в радиальном и осевом направлениях.

Рассмотрим влияние на жесткость колеса изменения выпуклости диска в разных группах.

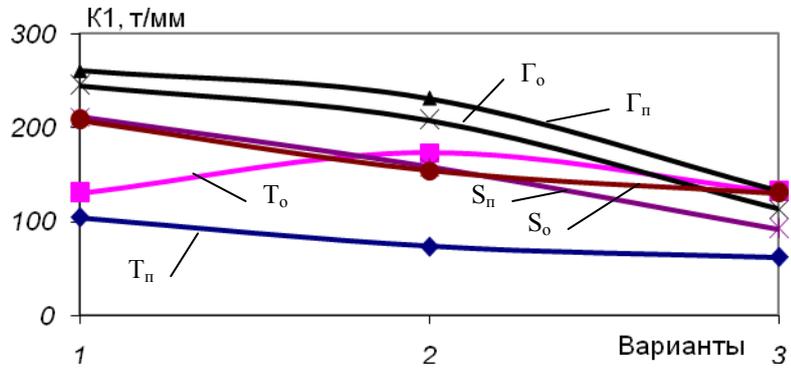


Рис. 5

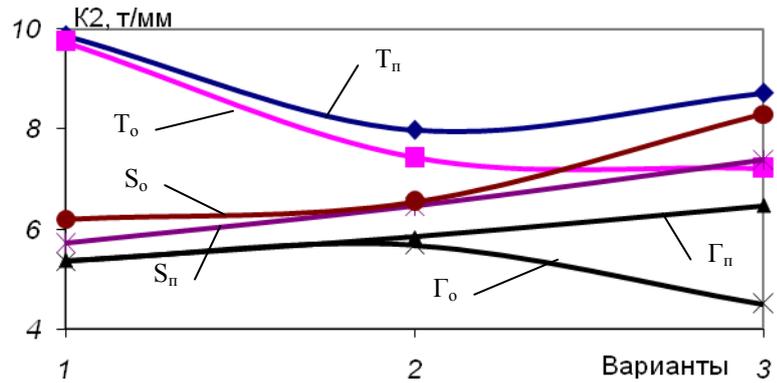


Рис. 6

На рис. 5 и 6 приведены графики изменения жесткости колеса соответственно в радиальном (K1) и осевом (K2) направлениях при увеличении выпуклости диска. По оси ординат указана жесткость диска в соответствующем направлении, по оси абсцисс – номер варианта модели соответствующей группы дисков. Таким образом, каждая линия на представленных рисунках 5 и 6 показывает зависимость жесткости колеса в соответствующем направлении от выпуклости диска для одной из шести описанных выше групп дисков.

В таблице 1 приведены значения радиальной и осевой жесткости для всех исследуемых вариантов дисков.

Таблица 1

№ модели	K1, т/мм	K2, т/мм	№ модели	K1, т/мм	K2, т/мм
T_p^1	104,2	9,9	Γ_o^1	245,1	5,4
T_p^2	73,5	8,0	Γ_o^2	208,3	5,7
T_p^3	62,5	8,7	Γ_o^3	113,6	4,5
T_o^1	130,2	9,7	S_n^1	211,9	5,7
T_o^2	173,6	7,4	S_n^2	158,2	6,5
T_o^3	131,6	7,2	S_n^3	91,9	7,4
Γ_p^1	260,4	5,4	S_o^1	208,3	6,2
Γ_p^2	231,5	5,9	S_o^2	154,3	6,5
Γ_p^3	133,0	6,5	S_o^3	130,2	8,3

В таблице 2 показано изменение жесткостей колес каждой группы при увеличении выпуклости.

Таблица 2

Группа колес	Изменение жесткости при увеличении выпуклости, %			
	Радиальной (K1)		Осевой (K2)	
	1-2	2-3	1-2	2-3
T_{Π}^{1-3}	-30	-15	-19	+9
T_o^{1-3}	+33	-24	-24	-3
Γ_{Π}^{1-3}	-11	-43	+9	+10
Γ_o^{1-3}	-15	-45	+6	-21
S_{Π}^{1-3}	-25	-42	+14	+14
S_o^{1-3}	-26	-16	+5	+28

Из приведенных выше данных следует, что из всех рассмотренных вариантов колес с упругими дисками, наиболее предпочтительными являются колеса с тарельчатой формой диска из группы T_{Π}^{1-3} . У диска базового типа радиальная жесткость диска является относительно небольшой и с увеличением выпуклости снижается до 62,5 т/мм, а осевая жесткость является наибольшей по сравнению с остальными вариантами, у которых радиальная жесткость увеличивается с увеличением числа перегибов профиля диска до двух и далее незначительно снижается. Уменьшение радиальной жесткости у этих вариантов можно добиться за счет увеличения выпуклости, что ведет к утяжелению колеса и увеличению величины напряжений в диске.

Таким образом, дальнейшие исследования колес с упругими дисками целесообразно проводить или для тарельчатых дисков, или же для S-образных дисков из группы S_{Π}^{1-3} , которые при увеличении выпуклости приближаются к тарельчатым.

1. Литвинова Г. Т. Радиальная жесткость вагонного колеса с гофрированным диском / Литвинова Г. Т., Ваняшина Е. Н., Шепак А. С. // Труды Днепропетровского института инженеров транспорта. – 1971. – № 136. – С. 53 – 61.
2. Vantuono W. Расчет колесных пар / Vantuono W. // Железные дороги мира. – 2005. – № 9. – С. 27 – 32.
3. Паюлок И. Л. Разработка критериев работоспособности дисков цельнокатаных колес для грузовых вагонов нового поколения / И. Л. Паюлок, В. Н. Цюренко, А. С. Разумов // Вестник ВНИИЖТ. – 2002. – № 3. – С. 17 – 25.
4. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. РД 24.050.37.95. – Москва : ГосНИИВ, 1995. – 98с.

Институт технической механики
НАН Украины и НКА Украины,
Днепропетровск

Получено 25.05.10,
в окончательном варианте 25.06.10