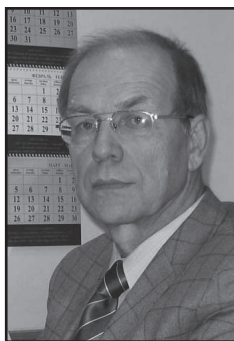


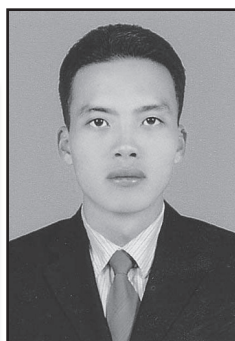


Износы в пятниковых узлах цистерн



Николай ВОРОНИН
Nickolay N. VORONIN

Николай ВОРОНИН (мл.)
Nickolay N. VORONIN (Jr)



Зин Эй Мин
Zin Aye Min

*Воронин Николай Николаевич — доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).
Воронин Николай Николаевич (мл.) — кандидат технических наук, доцент МИИТ.
Зин Эй Мин — аспирант МИИТ (Мьянма).*

Численный анализ узлов трения вагонных конструкций в условиях эксплуатации, особенности трибологических свойств разного вида цистерн. Для анализа износов в пятниковых узлах с использованием полученных уравнений была разработана программа с учетом не только распределения контактного давления, но и нагрузок в местах сопряжения. Полученные результаты показали, что износы зависят от пробега вагона, радиусов кривых рельсового пути и типа вагонной конструкции, прежде всего ее базы. В пятниковых узлах тележек 8-осной цистерны износ меньше, зато в узлах между ее котлом и соединительными балками — наибольший. Интенсивный износ характерен и для кривых малого радиуса. Всем этим случаям в статье дается свое объяснение.

Ключевые слова: железная дорога, подвижной состав, цистерна, трибология, пятниковые узлы, износ, численный анализ.

В большинстве сложных машиностроительных конструкций, в том числе и железнодорожной технике, используются узлы трения, к которым предъявляются высокие требования по прочности, надежности и работоспособности. Для этих узлов необходимы исчерпывающие сведения об износостойкости металлов, входящих в пару трения, наличии смазки, действующих нагрузках и т. п.

Элементам подвижного состава железнодорожного транспорта уделяется особое внимание, поскольку они обеспечивают безопасность пассажиров и сохранность перевозимых грузов. Некоторые узлы трения вагонных конструкций имеют сложные условия эксплуатации — наличие абразива, отсутствие смазки и своеобразный спектр воспринимаемых нагрузок, что приводит к интенсивному износу контактирующих поверхностей.

1.

Одним из наиболее ответственных узлов в конструкциях вагонов является шкворневой, обеспечивающий связь кузова с тележкой и осуществляющий передачу усилий между ними. К элементам этого узла относятся пятник, подпятник и шкворень [1].

Таблица 1

Технические характеристики цистерн общего назначения

Показатели	Четырехосная	Восьмиосная
	для светлых грузов, 15-1428	для светлых гру- зов, 15-1500
Грузоподъемность, т	60	125
Масса тары, т	24,66	51
Полный объем котла, м³	73,1	161,6
База цистерны, м	7,8	13,92
Длина по осям сцепления автосцепок, м	12,02	21,25
Длина по концевым балкам рамы, м	10,80	20,12
Максимальная ширина кузова, м	3,09	3,196
Наружная длина котла, м	10,77	20,65
Внутренний диаметр котла, м	3,0	3,2
Высота цистерны от уровня головок рельсов, м	4,625	5,26
Коэффициент тары	0,386	0,41
Удельный объем котла, м³/т	1,195	1,25
Нагрузка от колесной пары на рельс, кН	207,4	215,8
Погонная нагрузка, кН/м	69.1	81,23
Конструкционная скорость движения, км/ч	120	120
Габарит по ГОСТ 9238–83	02-ВМ	1-Т

В общем виде пятник представляет собой массивную плиту (фланец), на которой расположен цилиндр (яблоко). Яблоко пятника осуществляет передачу усилий между кузовом вагона и надрессорной балкой тележки через подпятник. В зависимости от типа вагона конструкции пятниковых узлов отличаются друг от друга прежде всего геометрическими размерами. Так, например, у 8-осных вагонов диаметр пятникового узла равен 400 мм, а его соединительная балка опирается на тележки с пятниковыми узлами по 300 мм – такими же, как у 4-осных вагонов. Пятник изготавливается из сталей марок 15Л и 20Л. Подпятник – из сталей марок 15Л, 20Л, Ст3, 20ГЛ, 20Г1ФЛ.

Цистерны предназначены для перевозки жидких, газообразных, затвердевающих и порошкообразных грузов. Они различаются по роду перевозимого, конструкции рамы, осности и калибровочному типу. Грузы размещаются в котле, имеющем специфическую форму кузова.

Самыми распространенными считают универсальные цистерны, которые подразделяются по своему назначению – для перевозки светлых (бензин, керосин, лигроин и т. п.) и темных (нефть, минеральные масла и т. п.) наливных грузов.

В зависимости от устройства несущих элементов цистерны разделяются на кон-

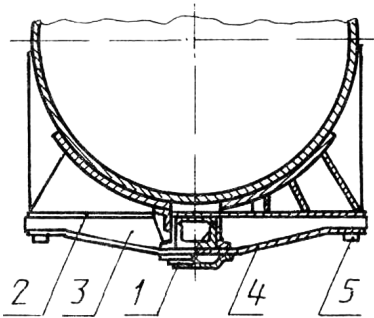


Рис. 1. Опора котла 8-осной цистерны.
1 – пятник; 2 – верхний лист; 3 – диафрагма;
4 – нижний лист; 5 – скользуны.

струкции, в которых все основные нагрузки воспринимаются рамой котла или самим котлом (безрамные цистерны). Кроме того, они различаются по осности, грузоподъемности, объему котла, устройству, материалу и способу изготовления [2].

Основные технические характеристики четырехосной и восьмиосной универсальных цистерн общего назначения приведены в таблице 1.

Восьмиосные цистерны изготавливаются безрамной конструкции и котел в них является несущим элементом, воспринимающим все действующие на вагон нагрузки как от веса груза и внутреннего давления, так и передаваемые через автосцепку продольные силы при движении в поезде и маневровых работах, а также вертикаль-



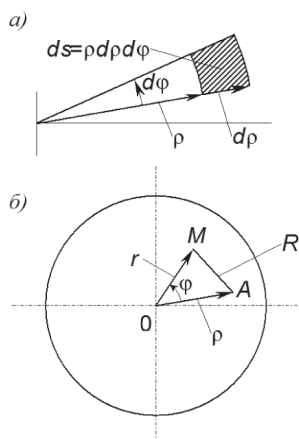


Рис. 2. Геометрическая связь произвольной точки площадки контакта с точкой приложения силы.

ные и боковые динамические силы через пятник, возникающие из-за неровностей рельсового пути.

Котел представляет собой цилиндрическую емкость сварной конструкции, состоящую из обечаек и эллиптических днищ, подкрепленную шпангоутами для повышения несущей способности и жесткости цилиндрической оболочки [3].

Восьмиосные цистерны оборудуются четырехосными тележками, которые состоят из пары двухосных тележек и мощной штампосварной соединительной балки массой около 2,5 т сложной конфигурации, изготовленной из низколегированной стали 09Г2Д.

Пятник опоры котла 1 связан с центральным подпятником соединительной балки четырехосной тележки (рис. 1) [3].

2.

Повышенный износ наблюдается обычно у опорной и цилиндрической поверхностей, особенно значительный у пятниковых узлов 8-осных цистерн. Как показали данные экспериментального обследования, у 8-осных цистерн после пробега 400 тыс. км износ цилиндрической поверхности подпятников составляет более 11 мм [4].

Расчет напряженно-деформированного состояния, возникающего в пятниковом узле от нормативных нагрузок [5], свидетельствует, что действующие на узел напряжения не превосходят допустимых, которые значительно ниже предела текучести материалов контактирующих поверхно-

стей. В связи с этим в дальнейших решениях по трению и износу пятникового узла для определения контактных давлений в рассматриваемой паре трибосопряжения можно принять нагружение металла в зонах контакта в условиях упругого деформирования.

С целью определения контактного давления на опорной поверхности пятникового узла рассмотрим условия упругого взаимодействия между пятником и подпятником [6]. Упругие смещения u_j в направлении оси OZ для точек поверхности j -й детали сопряжения при учете выражений могут быть записаны в виде уравнения. Возьмем элементарную площадку контакта (рис. 2) на опорной поверхности пятникового узла, на которой нормально к поверхности действует некоторая сила $p(t, \rho) ds$. В полярных координатах (ρ, φ) величина элементарной площадки выражается зависимостью:

$$ds = \rho d\rho d\varphi, \quad (1)$$

где ρ — радиус-вектор, проведенный из начала координат к рассматриваемой площадке.

Действие силы $p(t, \rho) ds$ вызывает упругие перемещения не только в точке ее приложения, но и других точках поверхности контакта. В произвольной точке M , расположенной на конце радиус-вектора r , проведенного из начала координат в точку M , удаленную на расстояние R от места приложения силы (точка A), возникает упругое перемещение по оси OZ , которое можно определить по выражению:

$$du_j = \mathcal{G}_j p(t, \rho) ds / R, \quad (2)$$

где $R = \sqrt{r^2 + \rho^2 - 2r\rho \cos \varphi}$; $\mathcal{G}_j = \frac{1 - \nu_j^2}{E_j}$; φ —

угол между радиусами r и ρ ; E_j, ν_j — модуль упругости и коэффициент Пуассона контактирующих материалов.

Общее упругое перемещение u_j в рассматриваемой точке поверхности от действия контактной нагрузки получается интегрированием по поверхности контакта:

$$u_j(t, r) = \mathcal{G}_j \int_0^{2\pi} \int_a^b \frac{p(t, \rho) \rho d\rho d\varphi}{\sqrt{r^2 + \rho^2 - 2r\rho \cos \varphi}}, \quad (3)$$

где a, b — значения внутреннего и наружного радиусов кольцевой зоны трения.

Учитывая выражение

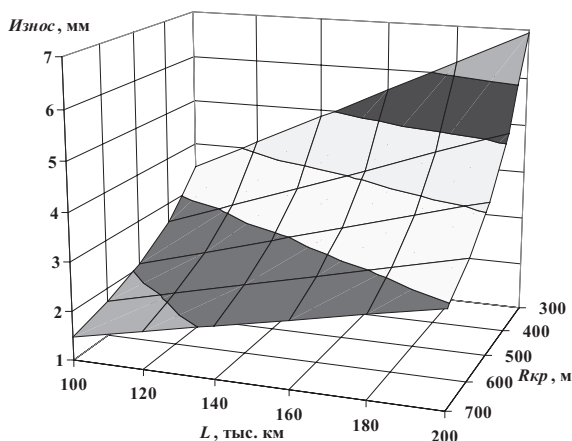


Рис. 3. Изменение износа в пятниковых узлах 8-осной цистерны в зависимости от среднего радиуса кривых и пробега.

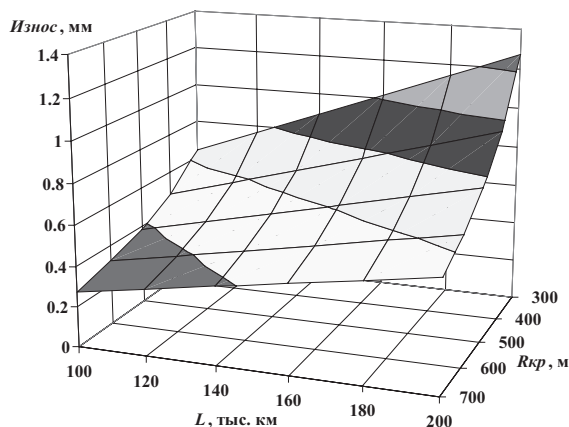


Рис. 4. Изменение износа в пятниковых узлах тележек 8-осной цистерны в зависимости от среднего радиуса кривых и пробега.

$$h_j(t, M) = \int_0^t \left[\frac{p(t', M)}{i_{0j}} \right]^{m_j} \lambda_j(t') V(t', M) dt'$$

и принимая, что все точки на поверхности трения деталей находятся в контакте ($\lambda \equiv 1$), величины износа опорных поверхностей деталей трибосопряжения пятникового узла определяются равенством

$$h_j(t, r) = \int_0^t \left[\frac{p(t, r)}{i_{0j}} \right]^{m_j} V(t, r) dt. \quad (4)$$

С учетом величины износов деталей в паре трения уравнения недеформированных изношенных поверхностей могут быть представлены в виде:

$$z_j(t, r) = z_j(0, r) - h_j(t, r); \quad h_j(0, r) = 0. \quad (5)$$

Тогда условие контакта в рассматриваемой паре трения:

$$u_{z1}(t, r) + u_{z2}(t, r) = \delta(t) - z_1(t, r) - z_2(t, r), \quad (6)$$

где $\delta(t)$ — сближение деталей, определяемое по сближению точек деталей, для которых упругие смещения u_j пренебрежимо малы.

Подставляя в равенство (6) выражения (3–5), получаем нелинейное интегральное уравнение, чтобы определить контактное давление $p(r, t)$.

3.

Для проведения численного анализа износов в пятниковых узлах вагонов с использованием полученных уравнений была разработана программа, которая учитывает не только распределение контактного давления, но и величину износа в сопряжении пятникового узла [7]. В качестве исходных данных в ней присутствуют основные параметры вагона, механические характеристики материалов пятника и подпятника, а также параметры горизонтального профиля пути, величина пробега, загруженность вагона и ряд других.

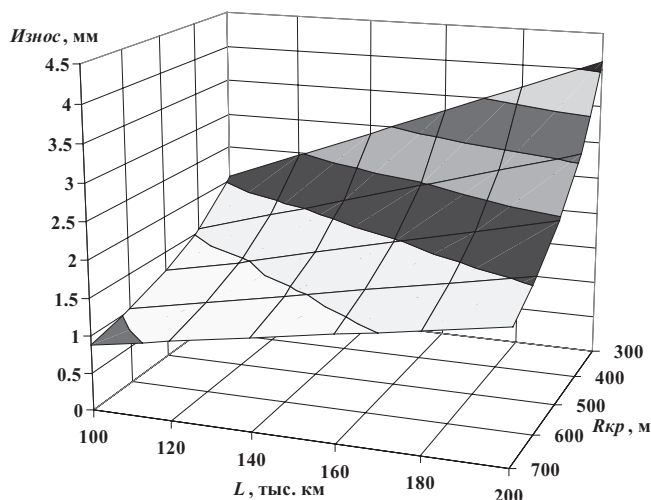
В анализе износов фигурируют два типа цистерн, основные характеристики которых [8] приведены в таблице 2.



Характеристики цистерн

№ п/п	Тип цистерны	Модель	База, мм	Грузоподъемность, т	Тара, т
1	4-осная для бензина и светлых нефтепродуктов	15–1428	7800	60	24,66
2	8-осная для светлых нефтепродуктов	15–1500	13920	125	51

Рис. 5. Изменение износа в пятниковых узлах 4-осной цистерны в зависимости от среднего радиуса кривых и пробега.



По ходу численных экспериментов была дополнена и улучшена ранее разработанная программа, моделирующая процессы износа плоских поверхностей пятникового узла [7]. Поскольку в конструкции 8-осной цистерны одновременно используются различные пятниковые узлы, то моделировались отдельно процессы, происходящие в пятниковом узле, связующем котёл и соединительную балку, и в узле — между соединительной балкой и 4-осной тележкой. При проведении расчётов учитывалось, что цистерны в одну сторону идут гружёные, а в обратном направлении — порожняком.

Полученные результаты показали, что износы зависят от величины пробега, радиусов кривых пути и типа вагона — прежде всего от его базы. Из приведенных данных видно, что при увеличении пробега и радиуса кривых пути наблюдается повышение износов.

В пятниковых узлах тележек 8-осной цистерны износ наименьший, что в первую очередь связано с малой базой (3200 мм), определяемой размерами соединительной балки, хотя нагружены они несколько выше, чем в 4-осной цистерне. Наибольшие износы в пятниковых узлах 8-осной ци-

стерны между её котлом и соединительными балками. Это связано с тем, что такая цистерна имеет очень большую базу и массу брутто.

В кривых малых радиусов происходит более интенсивный износ поверхностей пятникового узла, ибо поворот пятника относительно подпятника происходит на больший угол φ (см. рис. 2).

Из рис. 3–5 видно, что износ при одних и тех же условиях эксплуатации и постоянной нагрузке линейно увеличивается в зависимости от пробега, а движение в кривых меняет износ по нелинейной зависимости. Это подтверждается и другими работами [в част.: 4, 9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагоны: конструкция, теория и расчет/Под ред. Л. А. Шадура. — М.: Транспорт, 1980. — 416 с.
2. Лукин В. В., Анисимов П. С., Федосеев Ю. П. Вагоны: Общий курс: Учебник для вузов ж.-д. транспорта/Под ред. В. В. Лукина — М.: Маршрут, 2004. — 424 с.
3. Специализированные цистерны для перевозки опасных грузов: Справочное пособие. — М.: МПС РФ, Изд-во стандартов, 1993.
4. Аксёнов Ю. Н., Богачёв А. Ю., Павлов Н. В., Голышев А. И. Анализ характеристик износа пятниковых зон надрессорных и соединительных балок// Вестник ВНИИЖТ. — 2000. — № 3. — С. 40–45.
5. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). — М., 1996.

6. Воронин Н. Н. Алгоритм расчетной оценки износа пятникового узла вагона//Повышение динамических качеств подвижного состава и поезда в условиях Сибирского региона: Межвуз. сб. науч. трудов. — Омск: ОмГУПС, 1998.

7. Воронин Н. Н., Павлов В. Г. Эфрос Д. Г. Компьютерное моделирование процессов износа плоских поверхностей пятникового

узла (Методические указания). — М.: МИИТ, 1998.

8. Грузовые вагоны колеи 1520 мм железных дорог СССР: (альбом-справочник). — М.: Транспорт, 1989.

9. Воронин Н. Н., Воронин Н. Н., Филиппов В. Н. Влияние загруженности и типа вагона на износ пятникового узла//Транспорт: наука, техника, управление. — 2000. — № 4.

TEAR AND WEAR OF CENTER PLATE UNITS OF RAIL TANKS

Voronin, Nikolay N. — D.Sc. (Tech), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Voronin, Nikolay N. (Jr) — Ph.D. (Tech), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Zin Aye Min — Ph.D. student of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Myanmar.

Structural elements of the rolling stock are of great importance for the safety of passengers and freightage, especially it concerns friction units, because some of them are operated under rude conditions. The presence of abrasives, absence of lubricant, specific spectrum of absorbed load provoke severe wear of contact surface.

The pivot unit ensures connection of the body with the bogie, executes the transmission of force between them and is responsible therefore for the safety of a whole wagon. The pivot unit consists of a center plate, end-trust bearing and pivot itself [1].

The comparative study of four – and eight-axle tank wagon features makes emphasis on numerical analysis of friction assemblies and on tribology particularities of different rail tanks. The equations and equation-based software have been developed in order to analyze wear in center plates units considering not only distribution of contact pressure but also load rates in connection areas.

Tear and wear rates in friction units of 8-axle rail tank are lower as compared to 4-axle tank wagon. It is explained by smaller basis (3200 mm), determined by smaller dimensions of cross beam, despite of comparatively larger load rates. The larger tear and wear zones in friction assemblies of 8-axle tank wagon are located between the copper of the tank and the cross beams, as the cistern has a significant basis and a gross weight.

The tear and wear process also intensifies when a tank wagon moves in narrow curves and thus affects the surface of center plate unit, the φ angle of the turn of the center plate relative to end-trust bearing being larger.

The results of the research have shown that the tear and wear rates depend on mileage, radius of track curves and on wagon structure, particularly on its basis. Particularly, and this conclusion is confirmed by other researches, under the similar operation and freight load conditions tear and wear rates increase following linear dependency on total mileage but nonlinear dependency on the mileage run in the track curves.

Key words: railway, rolling stock, tank wagon, tribology, center plate unit, tear and wear, numerical analysis.

REFERENCES

1. Wagons: engineering design, theory and calculations [*Vagony: konstruktziya, teoriya i raschet*]. Ed. by Schedra, L.A. Moscow, Transport publ., 1980. 416 p.

2. Lukin, V.V., Anisimov, P.S., Fedoseev, Yu.P. Wagons: General course [*Vagony: obshchiy kurs*]. Moscow, Marshrut publ., 2004. 424 p.

3. Specialized tank wagons for transportation of hazardous freight. Reference book [*Spetsializirovannye tsistemy dlia perevozki opasnykh gruzov: spravochnoe posobie*]. Moscow, Ministry of railways, Standard publ., 1993.

4. Aksionov, Yu.N., Bogachiov, A.Yu., Pavlov, N.V., Golyshev, A.I. The study on description of tear and wear of center plate zones of bolster and cross rails [*Analiz harakteristik iznosa pyatnikovykh zon nadressornykh i soedinitelnykh balok*]. Moscow, Vestnik VNIIZHT, No.3, 2000, pp.40-45.

5. Codes of design of the non-self-propelled cars of 1520 mm MPS railways [*Normy dlia raschyota i proektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnykh)*]. Moscow, 1996.

6. Voronin, N.N. Algorithm of computed evaluation of tear and wear of center plate unit of a wagon. In: Increasing of dynamic features of the rolling stock and

trains in Siberian region. Interuniversity collection of research papers [*Algoritm raschetnoy otsenki iznosa pyatnikovogo uzla vagona. In: Povyshenie dinamicheskikh kachestv podvizhnogo sostava i poezda v usloviyakh Sibirskogo regiona: Mezhevuzovskiy sbornik nauchnykh trudov*]. Omsk, Omsk State University of Railway Engineering publ., 1998.

7. Voronin, N.N., Pavlov, V.G., Efros, D.G. Computed simulation of the processes of tear and wear of flat surfaces of the center plate units. Workbook [*Kompiuternoye modelirovanie protsessov iznosa ploskikh poverhnostey pyatnikovogo uzla (metodicheskiye ukazaniya)*]. Moscow, Moscow State University of Railway Engineering publ., 1998.

8. Freight cars of the 1520 mm USSR railways. Illustrated reference book [*Gruzovye vagonny kolei 1520 mm zheleznykh dorog SSSR*]. Moscow, Transport publ., 1989.

9. Voronin, N.N., Voronin, N.N. (Jr), Philippov, V.N. Load and category of car influence on tear and wear of center plate tear and wear [*Vliyaniye zagruzhenosti i tipa vagona na iznos pyatnikovogo uzla*]. Transport: nauka, tehnika, upravlenie [Transport: science, engineering and management journal], 2000, No 4.

Координаты авторов (contact information): Воронин Н. Н. (Voronin, N. N.) – profvnn@mail.ru, Воронин Н. Н. (мл.) (Voronin, N. N. Jr) – vnn2@mail.ru, Зин Эй Мин (Zin Aye Min) – zinmin@mail.ru

Статья поступила в редакцию / received 17.09.2012

Принята к публикации / accepted 16.11.2012

