

минимальными затратами времени восстановить работоспособность платы (блока). В перспективе целесообразно создание автоматизированных и автоматических диагностических комплексов, взаимодействующих с ЭВМ, которые будут по разработанной программе оказывать необходимые тестовые воздействия на проверяемый блок, узел, плату, чтобы затем, после анализа реакции объекта контроля на эти воздействия, можно было локализовать неисправность.

Получено 20.04.2001

УДК 629.11.012.55

И.Г.МИРЕНСКИЙ, д-р техн. наук, **О.Ф.БАБИЧЕВА**
Харьковская государственная академия городского хозяйства

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ НА НАДЕЖНОСТЬ КОЛЕС ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Рассматриваются факторы, влияющие на ресурс колес безрельсового транспорта.

Пневматическая шина – один из важнейших элементов колес практически всех безрельсовых транспортных средств. Зарубежная практика показала, что в эксплуатации одновременно находятся более 4 млрд. шин, а мировой выпуск шин превысил 800 млн. в год [1]. Пневматическая шина является дорогостоящей и ответственной деталью современного колесного транспорта. От ее технического состояния во многом зависят такие основные характеристики подвижного состава (ПС), как экономичность, управляемость, безопасность и др.

Надежность колес прямо зависит от ресурса пневматических шин, который определяется целым рядом факторов технического характера и внешнего воздействия.

Давление воздуха в шине. Анализ технического уровня эксплуатации шин показал, что только около 20% шин грузовых автомобилей, автобусов и троллейбусов эксплуатируются с нормальным давлением воздуха [1]. При этом предельные отклонения давления достигают 50% от нормативной величины.

Повышение против нормы давления воздуха вызывает неравномерный и увеличенный износ протектора покрышки, а также перенапряжение нитей корда, вследствие чего наступает разрыв каркаса, снижается комфортабельность езды и долговечность деталей подвесок и мостов. В свою очередь, пониженное внутреннее давление в шине приводит к изменению ее профиля, неравномерному распределению его в плоскости контакта шины с опорной поверхностью, повышению напряжений в материале, дополнительному теплообразованию и ин-

тенсивному износу как каркаса, так и беговых дорожек протектора. Оно увеличивает также боковую силу из-за изменения эластичности шины, что ускоряет ее износ. Интенсивно разрушаются протекторы сдвоенных шин ведущих колес вследствие увеличенного выделения тепла при взаимном трении. Шины с таким дефектом не всегда подлежат восстановлению. Снижение давления ведет к увеличению петли гистерезиса материала шины, а в конечном итоге – к повышенному расходу электроэнергии, уменьшает силу трения между шиной и колесным диском, что приводит ее к относительному перемещению (поворачиванию) по отношению к диску в момент реализации тяговой или тормозной силы. В результате повреждается камера в месте крепления вентиля с мгновенным отказом и выходом троллейбуса из движения [2].

На основании теоретических и экспериментальных исследований предложены аналитические выражения, способствующие расчетному определению величины давления в пневматических шинах. Так, в работе [3] для этих целей предложена следующая формула:

$$P = \frac{C_2 \cdot Q \cdot f}{f^2 - C_1 \cdot Q}, \quad (1)$$

где Q – нагрузка на колесо; f – прогиб шины в месте контакта с дорогой; C_1, C_2 – постоянные коэффициенты, которые определяются опытным путем.

Внешние силы. В процессе работы колесо нагружается внешними силами, моментами и внутренним давлением в шине. На колесо со стороны дороги действуют нормальная, продольная и боковая реакции. Если нормальная реакция может достигать любой величины, определяемой приложенной к колесу нагрузкой, то продольная и боковая реакции ограничиваются сцеплением его с дорогой. При качении колеса величина и направление действия указанных сил и моментов могут изменяться в широких пределах [4].

Передние колеса имеют несколько меньшую нагруженность нормальными и боковыми силами, чем задние. На дорогах с асфальтобетонным покрытием в хорошем состоянии колебание нагрузки составляет в среднем $\pm 11\%$ статической, а максимальные отклонения достигают 42%. На шоссе с булыжным покрытием, разбитых дорогах со щебенчатым покрытием, сухих колеиных дорогах колебание нормальной нагрузки по сравнению со статической составляет в среднем $\pm 25 \div 30\%$, а максимальные отклонения достигают 135-170%. При снижении скорости движения с 60 до 15 км/ч указанные отклонения

уменьшаются на дороге с асфальтобетонным покрытием примерно на 30%, а с булыжным – вдвое.

Таким образом, внешние нагрузки, действующие на колесо со стороны дороги, можно представить тремя взаимно перпендикулярными силами: вертикальной, тангенциальной и боковой [2].

Теплообразование в шинах. При качении шина нагревается вследствие выделения тепла при деформации резинового массива. Это ухудшает физико-механические свойства резины и снижает работоспособность шины. Поэтому для грузовых шин, работающих при скоростях до 40 км/ч, правильность выбора геометрических параметров проверяется не только расчетом давления, но и оценкой тепловой напряженности.

Теплообразование ($^{\circ}\text{C}$) в массиве шины определяется по следующей упрощенной формуле [5]:

$$T = 80K \frac{QV}{Eb} + t_{\text{в}}, \quad (2)$$

где T – температура нагретой шины; K – коэффициент, учитывающий влияние геометрических размеров шины; Q – статическая нагрузка на шину; V – скорость движения; E – модуль упругости резины; b – ширина беговой дорожки шины; $t_{\text{в}}$ – температура окружающего воздуха.

Нагрев шины при работе происходит в результате трения в материалах шины, между частицами воздуха в камере и трения в контакте. Механическое и молекулярное трение между структурными элементами преобразует механическую энергию в тепловую. Потери энергии на трение между частицами воздуха в камере не влияют на температуру шины [1].

Температура оказывает большое влияние на сопротивление качению и на срок службы шины. Повышение ее приводит к уменьшению прочности резины и корда. Так, при увеличении температуры от нуля до 100°C прочность капронового корда снижается примерно на 20%, а резины и адгезии – примерно в 2 раза. Значительное снижение прочности указанных материалов наблюдается при температуре выше критической. Как известно, максимальные температуры в радиальных грузовых шинах с металлокордным каркасом значительно (на $10-20^{\circ}\text{C}$) ниже, чем в аналогичных изделиях с каркасом из текстильного корда. Основную роль здесь играет высокая теплопроводность металлокорда, благодаря которой создается интенсивный меридиональный поток тепла от наиболее нагруженной зоны краев брекера к тонкой боковой стенке. Теплового повреждения шины обычно не замечают до тех пор,

юка разрушение не заходит настолько далеко, что шина выбывает из эксплуатации. Поэтому выбору оптимальной температуры, обеспечивающей малое сопротивление движению колеса и высокий ресурс шины, необходимо уделять серьезное внимание. Из сказанного следует, что для пневматической шины имеется определенная температура, при которой создаются наиболее благоприятные условия для сопротивления движению и наработки шины. Такой является температура шины, равная 70-75 °С при температуре окружающей среды 20 °С. Температуру до 100 °С можно считать допустимой, от 100 до 121 °С – критической, а выше 121 °С – опасной для шины.

Армирующий элемент. Основными материалами, из которых изготавливается шина, являются корд и резина. Свойства корда определяются свойствами резинокордного композита. Характеристики последнего рассчитывают по показателям его составляющих – корда и резины [2]. В производстве шин особое место занимает металлокорд, который служит для изготовления брекера радиальных шин, металлокордных бортовых лент, дополнительных крыльев, а также каркаса. Он представляет собой витое изделие, состоящее из стальных латунированных проволок диаметром 0,15-0,32 мм. Проволоку латунируют для создания необходимой прочности связи металлического корда с резиной. Сначала металлический корд преимущественно применялся в брекере грузовых радиальных шин. В последние годы его используют в каркасе грузовых и крупногабаритных шин, что улучшает их качество и повышает производительность труда. Шины с металлическим кордом благодаря его высокой прочности работают даже при полном износе рисунка протектора. К недостаткам металлического корда относятся малая эластичность, низкая влагостойкость, высокая плотность (7,8 г/см³), низкая усталостная выносливость, склонность к ржавлению и дороговизна [3], высокая пластичность материала, что приводит к увеличению массы шины и создает трудности при обрезинивании и раскрое корда.

Металлокорд по сравнению с кордом из органических волокон промышленного производства обладает более высокой прочностью при разрыве и устойчивостью к действию температур, а также малой растяжимостью при высоком модуле растяжения, обеспечивающем хорошую износостойкость протектора. Высокая прочность и низкие удлинения металлокорда при рабочих нагрузках обеспечивают необходимую жесткость шин радиальной конструкции и вследствие этого их повышенную износостойкость. Применение в брекере радиальных грузовых шин различных типов корда показало, что металлокорд по сравнению с известными применяемыми в промышленных масштабах

типами высокомодульного корда обеспечивает наиболее высокую ходимость шин.

Износ протектора. Протектор состоит из рельефного рисунка и подканавочного слоя, который обычно составляет 20-30% от его толщины. Слишком тонкий подканавочный слой ухудшает условия охлаждения шины, приводит к перегреву и расслоению покрывки. Чем толще протектор, тем больше пробег шин до полного истирания и лучше защищается каркас от внешних воздействий. Вместе с тем такое конструктивное решение делает шину тяжелее, приводит к ее перегреву и расслоению, увеличивает момент инерции колеса и его сопротивление качению. Кроме того, протектор вызывает повышенное теплообразование при больших скоростях движения, когда появляются дополнительные деформации протектора в результате значительного увеличения инерционных сил [3].

Наибольший удельный вес выхода из строя шин обусловлен предельным износом рисунка протектора. В соответствии с правилами безопасности движения эксплуатация шин с остаточной глубиной рисунка в зоне наибольшего износа менее 2 мм недопустима из-за резкого снижения сцепления изношенных шин с дорогой. Это увеличивает тормозной путь и нарушает поперечную устойчивость при торможении, а иногда и при пуске.

Интенсивность износа протектора шины [2] зависит от двух групп факторов, связанных:

а) с внешними условиями – нагрузка, тип дорожного покрытия, окружающая температура, режим вождения;

б) с техническим состоянием ПС – внутреннее давление в шинах; углы установки управляемых колес; люфты в подшипниках ступиц, шкворневых соединениях, рулевых тягах; параллельность мостов; техническое состояние тормозных механизмов колес; дисбаланс последних; параметры подвески и др.

Весовая перегрузка. Характерными причинами перегрузки шин являются загрузка транспортного средства сверх грузоподъемности, неравномерное распределение груза в кузове или салоне, снижение внутреннего давления воздуха в одной из шин сдвоенного колеса и др. От нагрузки зависят прогиб, величина и характер распределения напряжений в зоне контакта, а, следовательно, и интенсивность износа протектора. С увеличением нормальной нагрузки интенсивность износа протектора возрастает. С ростом нормальной нагрузки на 20% не только увеличивается площадь контакта грузовой шины с дорогой, но и повышаются на 10% нормальные напряжения в продольной плоскости [3].

Перегрузка каркаса вызывает разрушение боковых стенок шины, появление разрывов, имеющих форму прямой линии. В свою очередь, неравномерное распределение груза приводит к перегрузке шин и ободьев с одной стороны транспортного средства, что на высоких скоростях движения при разрушении шин может привести к аварии.

У перегруженных сдвоенных шин боковые стенки в рабочей части соприкасаются, вследствие чего возникают дополнительное трение и повышенное теплообразование. Это способствует преждевременному износу и выходу шин из строя.

В процессе перегрузок шины деформируются, при этом равнодействующая всех нагрузок, приложенных к сечению бортового кольца со стороны шины, перемещается ближе к наружной кромке. Это ведет к увеличению деформации бортового кольца и способствует его выворачиванию, что может привести к самопроизвольному размонтированию колеса во время движения [2].

Режимы эксплуатации транспортных средств. Правильная эксплуатация ПС и его элементов, в частности, колес и шин, а также систематический уход за ними являются основными условиями увеличения их ресурса. По данным НИИШП и НИИАТ, около половины покрышек преждевременно выходят из строя из-за нарушения правил эксплуатации транспортных средств [2].

При резком торможении выступы рисунка протектора шины проскальзывают на дороге, что приводит к его повышенному износу. В свою очередь, трение протектора покрышки о дорогу при движении полностью заторможенных колес, т.е. юзом резко увеличивает температуру протектора и, как следствие, влечет за собой разрушение.

При движении транспортного средства на повороте за счет возникновения центробежных сил инерции составляющие покрышки колеса (боковые стенки, бортовая часть и протектор) испытывают значительные дополнительные напряжения, которые увеличивают износ протектора.

Скорость движения. Срок службы пневматической шины во многом зависит от равномерности движения транспортного средства. При высокой скорости движения возрастает динамическая нагрузка на шину, т.е. увеличиваются ее трение о дорогу, ударная нагрузка, деформация материала и резко возрастает температура в шине, особенно при повышенной температуре окружающего воздуха [6].

Высокая скорость движения машины может привести не только к увеличению износа протектора, но и к ослаблению связи между слоями резины и материалом корда, а также к отрыванию заплат на отремонтированных участках покрышки камеры.

Дорожно-климатические условия. Среди факторов, влияющих на наработку шин, особое место занимают дорожно-климатические условия. На грунтовых дорогах с глубокими колеями и выбоинами, а также в замерзшем грунте пробег шин вдвое меньше, чем на асфальтированном шоссе. Аналогичная картина наблюдается в горной местности, на дорогах с большим числом поворотов, спусков и подъемов, где часто используют тормоза. Так, увеличение на маршруте удельного веса горного профиля (до 25%) повышает интенсивность износа легковых шин на 75-90%. У грузовых шин [4] разница в износе при эксплуатации на горных и равнинных дорогах меньше (не более 20%).

Климат, действие солнечных лучей, мороз и влажность сказываются на наработке колес транспортного средства. Под солнечными лучами резина шин "стареет", делается более ломкой, на покрышке появляются сначала мелкие, а затем значительные трещины, иногда глубиной до каркаса. Высокая влажность воздуха, попадание воды во внутрь покрышки приводят к тому, что каркас ее начинает гнить и разрушаться [3].

Ниже приведены экспериментальные данные интенсивности износа пневматических шин для различных условий испытаний.

Влияние климатических условий на интенсивность износа шин

Условия испытаний	Интенсивность износа, мм/1000 км
Лето, средняя температура 23°C, сухо, дороги группы А и Б	0,40
Осень, средняя температура 14°C, временами дождь, дороги группы А и Б	0,23
Лето, средняя температура 29°C, дороги группы А	0,19
Зима, средняя температура -24°C, снег, дороги группы А	0,12

Анализ этих данных позволяет отметить следующее. Износ шин в зимний период года на твердом дорожном покрытии примерно на 25-30% меньше, чем летом [4]. Чем выше температура окружающего воздуха, тем больше теплообразование в шинах и быстрее изнашивается протектор, а также уменьшается срок службы шин. Кроме того, увеличение этого фактора способствует снижению герметичности шины вследствие увеличения диффузии воздуха через стенки камеры.

При низкой температуре окружающего воздуха происходит незначительный общий износ шин. При этом интенсивность их износа зимой в сравнении с летним периодом уменьшается на 70%. Однако и в условиях низкой температуры возможен преждевременный износ шин из-за потери резиной эластичности и появления хрупкости.

Техническое состояние ходовой части ПС. Неправильное схождение и развал колес вызывают усиленный износ шины из-за дополни-

тельного проскальзывания элементов протектора шин передних колес в месте контакта с дорогой. При отклонении от нормы развала передних колес происходит односторонний увеличенный износ протектора, а при нарушении нормального схождения – повышенный износ его краев. На фактическое значение схождения колес в процессе движения, кроме геометрических параметров, влияют зазоры в шкворневых соединениях, шарнирах тяг и поворотных рычагах.

При прямолинейном движении колес, установленных с положительным развалом и без схождения, в результате возникновения боковой силы часть шины деформируется и направление движения колеса происходит не по линии, перпендикулярной к его оси, а под некоторым углом к этой линии с так называемым боковым уводом. При эксплуатации машины с таким техническим состоянием происходит интенсивный износ шин и дополнительная затрата энергии на качение колеса. Такие же последствия наблюдаются и при увеличении угла сходимости колес.

Перегрев барабанов при затянутых тормозах вызывает дополнительный нагрев шин. В случае неправильной регулировки тормозов может происходить слишком резкое затормаживание, вызывающее юз колес и значительный износ протектора шины. Согласно экспериментальным данным, максимальная сила торможения шин по асфальтобетонному покрытию достигается при 15-20%-ном проскальзывании колеса [6].

Большой люфт в рулевом управлении и погнутость деталей рулевых тяг, ослабление рессор, прогиб и перекос передней оси, непараллельность мостов и др. приводят к увеличенному износу шин, механическим повреждениям протектора и боковых стенок покрышки.

Таким образом, выполненный анализ позволил рассмотреть влияние комплекса факторов на надежность пневматических шин и колес транспортных средств. Результаты исследований дали возможность выявить наиболее существенные факторы, которые легли в основу разработки нового научного подхода к оценке ресурса колес безрельсового транспорта разных типов.

1. Бухин Б.Л. Введение в механику пневматических шин. – М.: Химия, 1988. – 222 с.
2. Тарновский В.Н. и др. Автомобильные шины: устройство, эксплуатация, ремонт / В.Н. Тарновский, В.А. Гудков, О.Б. Третьяков. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.
3. Бидерман В.Л., Гуслицер Р.Л. Автомобильные шины. – М.: Госхимиздат, 1963. – 383 с.
4. Кнороз В.И., Кленников Е.В. Шины и колеса. – М.: Машиностроение, 1975. – 184 с.
5. Савосин В.С., Бограчев М.Л. Массивные шины. Конструкция, изготовление, экс-

платуация. – М.: Химия, 1981. – 110 с.

6.Кнороз В.И. Работа автомобильной шины. – М.: Транспорт, 1975. – 236 с.

Получено 23.04.2001

УДК 621.331:625.3

В.Б.БУДНИЧЕНКО, В.Х.ДАЛЕКА, Е.І.КАРПУШИН,

М.В.ХВОРОСТ, кандидати техн. наук

Харківська державна академія міського господарства

ПЛАНУВАННЯ ПОТРЕБИ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ЕКСПЛУАТАЦІЮ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ ЗА УЗАГАЛЬНЕНИМИ СТАТИСТИЧНИМИ ДАНИМИ

Розглядається експлуатація міського електротранспорту як функціонування стаціонарної системи зі сталим комплексом умов, на яку накладаються випадкові збурення. Обґрунтовується методика планування потрібних обсягів електроенергії за узагальненими статистичними даними енергоспоживання, транспортної роботи та пасажироперевезень.

Питомі витрати електроенергії на одиницю транспортної роботи або на одиницю наданих транспортних послуг повинні враховувати особливості конкретних типів рухомого складу та умов реалізації руху, тому крім визначення базових значень показника питомих витрат електроенергії для кожного міста України необхідно встановити коригувальні коефіцієнти, які враховували б місцеві умови. Визначення коригувальних коефіцієнтів потребує значного часу і обсягів об'єктивного статистичного матеріалу щодо умов руху. Тому для планування енергоспоживання доцільно скористатися представленням експлуатації стаціонарним процесом перетворення транспортної роботи питомими витратами електроенергії, яке базується на статистичному аналізі інформації, що надається у звітах про роботу підприємств міського електротранспорту і накопичується у Держбуді України.

Очевидно, що для встановлення питомих витрат електроенергії можливо застосування таких статистичних даних, як загальний обсяг спожитої електроенергії, пробіг рухомого складу по видах транспорту і загальна кількість перевезених пасажирів, оскільки саме ці показники є достовірними. Таким чином, за кількістю факторів математична модель енерговитрат для кожного міста, яке має два типи електричного транспорту, повинна включати:

- пробіг тролейбусів (X_1);
- пробіг трамвайних вагонів (X_2);
- загальний обсяг перевезених пасажирів (X_3).

Для міста з одним типом електричного транспорту ця модель матиме