

РАБОТА ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ОБЩЕГО И СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Докт. техн. наук, проф. ЛЕОНОВИЧ И. И., инж. ЧЕРНЮК Н. И.

*Белорусский национальный технический университет,
РУП «Белдорцентр»*

Дорожно-транспортный комплекс (ДТК) занимает одно из центральных мест в экономике Республики Беларусь. Его функционирование и развитие обеспечивают Министерство транспорта и коммуникаций, департамент «Белавтодор», а также другие министерства и ведомства. По состоянию на 1 января 2004 г. протяженность автомобильных дорог общего пользования достигла более 81 тыс. км, в том числе республиканских дорог около 16 тыс. км и местных – свыше 65 тыс. км. Парк мостовых сооружений превысил 5,1 тыс., а общая длина их составила 165 тыс. п. м. Наиболее протяженные – ведомственные и муниципальные дороги.

Развитие сети автомобильных дорог обусловлено ростом количества транспортных средств. Так, если в 1991 г. в республике насчитывалось 923 тыс. автомобилей, то в 2003 г. – более 2,9 млн, т. е. в три с лишним раза стало больше. Но не только ростом автомобильного парка характеризуется транспортная составляющая ДТК. На дорогах, особенно магистральных, увеличивается интенсивность движения. На отдельных участках Минской кольцевой дороги она приближается к 50000 авт./сут. Изменяется состав движения легкового и грузового транспорта. В общем потоке грузового движения возрастает доля тяжелых грузовиков грузоподъемностью 8 т и более (табл. 1).

В составе транспортных потоков увеличивается процент тяжеловесных и крупногабаритных транспортных средств (ТКТС) со сверхнормативными нагрузками. В 1996 г. их насчитывалось 1,7 %, в 2003 г. – 6,7 % (табл. 2).

На формирование транспортных потоков в стране значительное влияние оказывают меж-

дународные транспортные связи. В 2003 г. через государственную границу с сопредельными странами (погранпереходы Берестовица, Козловичи, Каменный Лог, Новая Гута, Новая Рудня) прошло 11,1 % грузового транспорта, в том числе 5,1 % – иностранных транспортных средств. Большинство транспорта относится к тяжеловесному и существенно влияет на состояние, надежность и долговечность автомобильных дорог.

Таблица 1

**Структура грузового движения
на республиканских автомобильных дорогах**

Год	Грузоподъемность, т			
	До 5	5...8	8...10	Более 10
1993	2,5	38,5	47,8	11,2
2003	1,4	32,4	24,6	41,6

Таблица 2

Год	Количество ТКТС, шт.	Год	Количество ТКТС, шт.
1996	11200	2000	45844
1997	43049	2001	47547
1998	57800	2002	53545
1999	44400	2003	79782

Для успешного функционирования дороги и эффективной работы транспорта параметры и характеристики автодорог Республики Беларусь должны удовлетворять требованиям движения автомобилей различных транспортных групп. В качестве обобщенного критерия несущей способности (прочности) используют величину обратимого прогиба (модуля упругости) конструкции. Показатели прочности на-

значают с учетом принятой расчетной нагрузки, ее суммарной повторяемости за срок службы дорожной одежды, общей толщины, типа дорожного покрытия, дорожно-климатических условий и грунтово-геологических особенностей местности. Важны условия движения грузовых автомобилей, особенно грузовиков с общей массой более 30 т и нагрузкой на ось более 10 т. За последние три года количество подобных транспортных средств на дорогах нашей страны и непосредственно на дорогах, входящих в состав основных и дополнительных транспортных коридоров, увеличилось на 18,8 %. Такой рост обусловлен увеличением во многих европейских странах допустимой нагрузки на ось до 11,5 т, а также появлением на отечественном и российском рынках тяжеловесных грузовых автомобилей. Основными моделями, имеющими постоянное значительное превышение по данным весового контроля, являются МАЗ-537 с полуприцепом, МЗКТ-7429, МАЗ-64229, 54330, КрАЗ-258, МАЗ-5516. К автомобилям специального назначения относятся лесовозы ЗИЛ-130, ЗИЛ-131, КамАЗ-5320, КАМАЗ-5410, КрАЗ-255Л, КрАЗ-260Л, КрАЗ-6437, МАЗ-509, МАЗ-5434, МАЗ-6303-26, МАЗ-64255, Урал-375Н, ТМ-33, ТМ-39 и др. Вместе с прицепами и полуприцепами они образуют автопоезда, которые по общему весу, осевым нагрузкам и габаритам относятся к ТКТС. Протяженность республиканских автомобильных дорог Беларуси с капитальным типом дорожных одежд составляет 8348 км. Из них около 35 % – это участки дорог, построенные менее 25 лет назад, что составляет 2922 км, т. е. 18,5 % протяженности всей сети республиканских автомобильных дорог. Остальные дороги построены в прежние времена и по техническим параметрам не в полной мере отвечают требованиям в условиях возросших осевых нагрузок и увеличения общей массы автомобильных транспортных средств. Нагрузке на ось 11,5 т, которая принята в развитых странах Европы, соответствуют только 274 км наших дорог (0,02 %), 5706 км соответствуют нагрузке на ось 10 т (35,7 %). Остальные автомобильные дороги отвечают требованиям по прочности нагрузке на ось менее 10 т.

Движение транспортных средств, весовые параметры которых превышают допустимые,

регламентированные действующими нормативными документами, вызывает преждевременное разрушение автомобильных дорог и приводит к дополнительным затратам за счет незапланированных ремонтов. В то же время несовершенство действующих методов оценки разрушающего воздействия тяжеловесных транспортных средств на дорожные одежды не позволяет создать полноценные системы контроля состояния покрытий дорог и условий работы дорожных одежд [1].

Управление диагностики РУП «Белдорцентр» совместно с кафедрой «Строительство и эксплуатация дорог» БНТУ проводят исследования, направленные на развитие и совершенствование методов оценки разрушающего воздействия ТКТС на дорожные одежды в зависимости от их капитальности, остаточного ресурса прочности и сезонности проезда. Так, на территории Беларуси в периоды весенне-осенних распутиц вводилось ограничение нагрузки на ось по величине несущей способности дорожной одежды, вызванное ухудшением основных технико-эксплуатационных показателей дорог: прочностных характеристик слоев дорожной одежды, ровности покрытия и изменения профиля дорожной одежды. Выявлены наличие структурных дефектов и разрушений слоев покрытия, основания, накопление пластических деформаций и образование колеиности. Для оценки воздействия большегрузных транспортных средств на каждый параметр в отдельности и дорожную одежду в целом проводились инструментальное и визуальное обследования по сети республиканских дорог, а также наблюдения за дорожной одеждой на опытных участках [2]. Установлено, что ровность покрытий на республиканских дорогах, оцениваемая показателем IRI, колеблется в значительных пределах. Распределение неровностей, по данным департамента «Белавтодор», приведено в табл. 3.

За 2000...2002 гг. показатели ровности дорожных покрытий ухудшились в: РУП «Магистральавтодор» – на 6 %; РУП «Бреставтодор» – на 10; РУП «Витебскавтодор» – на 15; РУП «Гомельавтодор» и РУП «Гродноавтодор» – на 4; РУП «Минскавтодор» и РУП «Могилевавтодор» – на 5 %.

Таблица 3

Неровность, м/км	Процент наличия
4...5	36,7
3...4	26,9
5...6	21,6
6...7	7,1
2...3	4,7
7...8	1,9
8...9	0,6
> 9	0,5

Этот факт можно объяснить возросшими транспортными нагрузками и несоблюдением сроков производства ремонтных работ. За период 1998...2003 г. протяженность республиканских дорог с просроченным капитальным ремонтом возросла с 3,7 до 10,1 тыс. км, а по среднему ремонту – с 5,3 до 7,3 тыс. км.

Известно, что движение автомобиля по дороге сопровождается двумя видами колебаний: высоко- и низкочастотными, определяемыми колебаниями массы автомобиля, передающимися через его подвеску. Вследствие этого на дорогу воздействуют динамические нагрузки, интенсивность и величина которых зависят от ровности покрытия, скорости движения и технических характеристик подвески.

Ухудшение ровности приводит к увеличению амплитуды колебаний, что соответственно влияет на значение коэффициента динамичности. При движении автопоездов по ровным асфальтобетонным дорогам ($IRI < 3...3,5$ м/км) со скоростью до 70 км/ч коэффициент динамичности не будет превышать 1,25. При $IRI > 4,5$ м/км и исправной подвеске тяжеловесного транспортного средства коэффициент динамичности может принимать значения 1,4...1,5. В то же время при проезде по дороге автомобилей со скоростью 70 км/ч и выше с неисправной подвеской среднее квадратичное значение коэффициента динамичности достигает 1,6...1,8. Следует учитывать, что при использовании для перевозок тяжеловесных грузов специальных транспортных средств, позволяющих распределять общую массу на большее количество осей (6...8 и более), а также выравнивать нагрузки на оси, снижается общая величина динамического воздействия. Опытным путем была установлена зависимость несущей спо-

собности дорожной одежды от ровности асфальтобетонного покрытия

$$Q = aIRI + b,$$

где Q – несущая способность дорожной одежды, т; IRI – ровность покрытия, м/км; a, b – эмпирические коэффициенты, зависящие от интенсивности движения.

На рис. 1 приведена графическая зависимость несущей способности функции $Q = f(IRI, N)$, где N – интенсивность движения автомобилей, приведенных к группе А.

Проведенное в последнее время обследование участков дорог М-1 Брест – Минск – граница Российской Федерации, М-4 Минск – Могилев, М-5 Минск – Гомель, дорожная одежда которых обладает высокой несущей способностью и требуемой прочностью, наблюдаются значительная дефектность покрытия и нарушение микропрофиля дорожной одежды. Такая ситуация вызвана ухудшением ровности покрытия и нарушением структуры верхних слоев, в которых возникают максимальные напряжения при проезде тяжеловесных ТС. На основании исследований и учета зарубежного опыта установлено уравнение регрессии ровности во времени, представляющее экспоненциальную зависимость вида:

$$IRI_t = IRI_0 e^{at},$$

где IRI_t – значение ровности на прогнозируемый год; IRI_0 – то же на начальный год эксплуатации, равный в пределах 1,36...2,64; t – прогнозируемый год; a – 0,056...0,076).

Проанализировав данное уравнение для каждого участка дороги, можно спрогнозировать степень повреждения верхних слоев дорожной одежды и оценить величину ущерба от проезда ТКТС.

С изменением интенсивности и состава транспортного потока изменились и требования по прочности к существующим дорожным одеждам. Ранее запроектированные конструкции не выдерживают возрастающих нагрузок транспорта, особенно тяжеловесных транспортных средств и транспорта специального назначения, движение которых вызывает накопление пластических деформаций в связных слоях и нарушение структуры слоев основания.

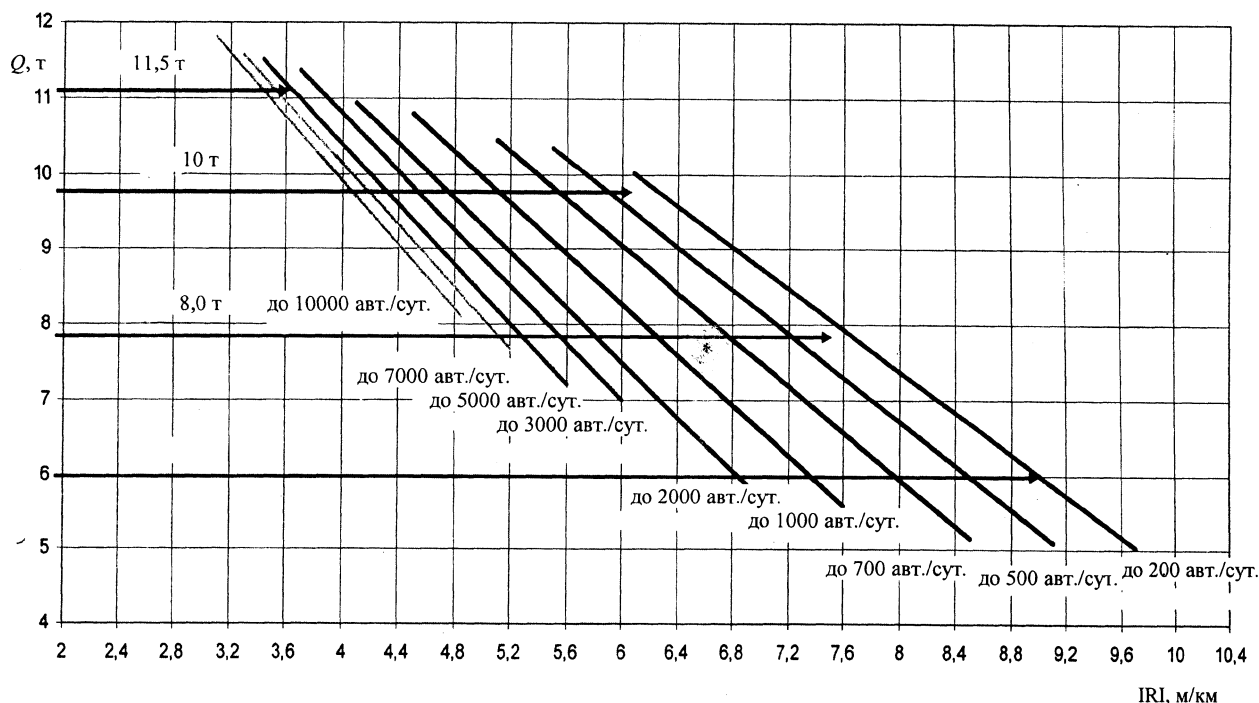


Рис. 1

Остаточный ресурс прочности автомобильных дорог не позволяет пропускать тяжелые грузовики без нанесения существенного ущерба структуре дорожной одежды. При проектировании автомобильных дорог конфигурация и расположение колесных пар, сдвоенных и строенных тележек, особенно у специализированного транспорта, принимаются без учета норм проектирования дорог и мостов и их фактической прочности в процессе длительной эксплуатации. Поэтому при определении влияния ТКТС на прочность и долговечность дорожных одежд важно учитывать такие параметры автомобилей, как нагрузка на ось, расстояние между осями в тележке, давление в шинах. Исходя из количества осей и расстояния между ними, устанавливается величина упругого прогиба дорожной одежды после проезда автопоезда – основная характеристика прочностных свойств конструкции. Современные методики расчета позволяют учитывать влияние соседних и смежных осей на принятие результирующей нагрузки с учетом коэффициента динамичности.

В настоящее время из-за многообразия типов тяжеловесных транспортных средств трудно учитывать технические характеристики всех

грузовых автомобилей. Для проведения расчетов и прогнозирования надежности и работоспособности дорожной конструкции могут быть использованы следующие расчетные схемы:

- 1) одиночная ось;
- 2) двухосная тележка с расстоянием между осями $L = 1,35$ м;
- 3) двухосная тележка с $L = 2,05$ м;
- 4) трехосная тележка с $L = 1,35$ м.

Распределение нагрузки у трехосной тележки значительно снижает степень воздействия автомобиля на дорожную одежду. Однако вследствие проявления вязкоупругих свойств, характерных для асфальтобетона, в интервале между проездами близко расположенных осей ($t = 0,05 \dots 0,08$ с) вертикальные перемещения от действия нагрузки не успевают восстановиться к моменту приближения следующей оси. Происходит наложение деформаций, что приводит к росту напряжений в дорожной одежде. Нагрузка передается на покрытие через шину автомобиля, диаметр отпечатка (м) которой принимается в зависимости от давления в шине и статической нагрузки на ось:

$$D = \sqrt{\frac{4K_d Q}{\pi p}},$$

где K_d – коэффициент динамичности; Q – статическая нагрузка на колесо, Н; p – давление в шинах, кПа.

При проезде тяжеловесных транспортных средств по автомобильной дороге работу дорожной одежды от приложенной нагрузки нельзя рассматривать только в упругой стадии. Накопление пластических и остаточных деформаций приводит к изменению поперечного профиля дорожной одежды с образованием углублений – колеи. По данным РУП «Белдорцентр», на республиканских автомобильных дорогах колейность является существенным дефектом покрытий. Протяженность участков на республиканских дорогах с глубиной колеи 30 мм и более за последние годы приведена в табл. 4

Таблица 4

Год	Протяженность, км	Год	Протяженность, км
1996	872	2000	1123
1997	990	2001	1176
1998	987	2002	1334
1999	1026	2003	1410

Одновременно с вертикальными накапливаются горизонтальные остаточные деформации, которые при многократных повторных нагрузках возрастают, в результате по бокам колеи образуются гребни или валы. Накопление деформаций происходит при летних высоких температурах. Интенсивное движение специализированных тяжеловесных транспортных средств (лесовозов, перевозчиков строительной техники, сельскохозяйственной техники и др.) ведет к возникновению структурных разрушений и остаточных деформаций слоев основания. Ограничение общей массы и нагрузки на ось в большинстве случаев не производится в связи с локальным передвижением специализированного транспорта. Под воздействием мно-

гократно прикладываемых нагрузок на ось таких транспортных средств в слоях дорожной одежды могут сложиться условия, при которых вертикальные и горизонтальные напряжения превысят допустимые напряжения. Со временем начнется нарушение сплошности или структуры материала слоя основания с потерей прочности и сдвигустойчивости, следствием чего станут ускоренное накопление деформаций, формирование колеи и образование местных разрушений на ослабленных участках дороги.

При оценке влияния тяжеловесных транспортных средств на дорожную одежду нельзя не учитывать грунт земляного полотна, расположение участка в насыпи или выемке, на вогнутой или выпуклой кривой, наличие водотоков, близость расположения автотранспортных баз тяжелой специализированной техники. Анализ воздействия ТКТС на дорожную одежду позволит создать математическую модель ее работы с учетом указанных параметров, влияющих на ее технико-эксплуатационные показатели, что позволит выявить участки первоочередных ремонтов и усиления наиболее загруженных участков тяжеловесными транспортными средствами, обосновать технологию и организационные принципы проведения работ по содержанию и ремонту автомобильных дорог [3, 4].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Диагностика** и управление качеством автомобильных дорог / И. И. Леонович, С. В. Богданович, В. В. Голубев и др. – Мн.: БНТУ, 2002. – 357 с.
2. **Оценка** прочности нежестких дорожных одежд; ОДН 218.1.052. – 2002.
3. **Леонович И. И.** Содержание и ремонт автомобильных дорог: В 2 ч. – Мн.: БНТУ, 2003. – Ч. 1: Общие вопросы содержания и ремонта дорог, машины и материалы. – 270 с.
4. **Леонович И. И.** Содержание и ремонт автомобильных дорог: В 2 ч. – Мн.: БНТУ, 2003. – Ч. 2: Технология и организация дорожных работ. – 470 с.