

УДК 699.07

Иван Иосифович ЛЕОНОВИЧ,
доктор технических наук,
профессор,
заведующий кафедрой
«Транспортные
и эксплуатация дорог»
Белорусского национального
технического университета,
Институт проблем науки
и техники БССР

Николай Иванович ЧЕРНЮК,
генеральный директор
ФУП «Белдорцентр»

ПОВЫШЕНИЕ СОХРАННОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАКОНА ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ НАГРУЗОК

IMPROVEMENT OF ROAD MAINTENANCE BY USING THE EQUIVALENT LOAD PRINCIPLE

Постоянный рост интенсивности транспортных потоков, увеличение осевых нагрузок и воздействие климатических факторов ведут к снижению потребительских свойств автомобильных дорог и необходимости выполнения ремонтно-восстановительных работ. Недостаточное финансирование таких работ требует выработки приоритетов создания систем управления покрытиями. Однако в ряде случаев использование систем управления не решает проблемы, и требуются радикальные меры — введение ограничения осевых нагрузок на некоторых дорогах. Для обоснования требуемого ограничения нагрузок предлагается использовать закон эквивалентности нагрузок в несколько иной относительно классической формы интерпретации. В частности, вместо количества приложений единичных нагрузок предлагается использовать суммарный транспортный поток грузовых автомобилей и автобусов, а в качестве результата повреждающего воздействия рассматривать ухудшение ровности покрытия.

A regular increase in traffic, increment of axial loads and environment effects lead to decrease in the road characteristics and necessity of repair works. Poor financing of the repair works calls for priorities to be worked out for creating pavement control systems. Nevertheless, in some cases, the usage of the control systems doesn't solve any problems and radical measures are required - introduction of axial load limits on some roads. To justify the required limitation of the loads the usage of the equivalent load principle is proposed in an interpretation different from the classical one. Particularly, it is suggested to use a summary of trucks and buses traffic instead of a number of applications of unit loads, and change for the worth in pavement evenness is to be considered as a result of the damage.

ВВЕДЕНИЕ

Основным управляющим воздействием на автомобильную дорогу для восстановления ее потребительских характеристик является проведение ремонтных работ. Теоретические и практические аспекты управления состоянием дороги при помощи ремонтных мероприятий рассматриваются системами управления покрытиями. Однако анализ данных диагностики республиканских автомобильных дорог показывает, что ежегодное выделение средств на проведение ремонтных работ не обеспечивает и 30 % общей их потребности. В результате протяженность дорог, которые не были своевременно отремонтированы, постоянно увеличивается, образуя так называемый "недоремонт".

Таким образом, использование одних систем управления покрытиями уже не решает в полной мере проблемы сохранности автомобильных дорог, и состояние дорожной сети начинает постепенно ухудшаться.

Темпы снижения несущей способности дорог опережают темпы ремонтно-восстановительных работ. А проектирование и строительство автомобильных дорог под новые нагрузки (11,5 т) были начаты сравнительно недавно. Протяженность республиканских автомобильных дорог с расчетной нагрузкой 11,5 т в 2006 году составила 583 км.

В то же время, отмена в 1992 году государственного регулирования осевых нагрузок грузового транспорта в условиях рыночной экономики позволила автомобилистам резко увеличить грузоподъемность транспортных средств, создав парк большегрузных автомобилей с нагрузками на ось, намного превышающими нормативные. Так, вначале западные производители, а затем и отечественные начали производство грузовых автомобилей с нагрузкой на ось 11,5 т. Введено много новых технических характеристик автомобилей: форма оси, шины, системы подвески. Вместо сдвоенных шин начали использоваться широкобазовые шины, а также колеса меньших размеров. Увеличено давление в шинах, значительно возрастает количество пневматических подвесок. Появились транспортные средства со строеной тележкой, с расстоянием между осями, которые оказывают совместное влияние на передачу нагрузок на дорожную одежду автомобильной дороги.

Кроме статических необходимо принимать во внимание динамические нагрузки, которые зависят от состояния дорог, скорости движения транспорта, типов подвесок и вида шин, давления в них. Учитывая тенденцию снижения ровности эксплуатируемых автомобильных дорог можно говорить о росте динамического воздействия на покрытие автомобильных дорог. Уже появились транспортные средства, выпускаемые

отечественным производителем, с нагрузкой на ось 13 т и габаритами, разрешенными для движения по дорогам общего пользования. В свою очередь проектирование и строительство автомобильных дорог для таких нагрузок пока не предусматривается.

ЗАКОН ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ НАГРУЗОК И ЕГО ОГРАНИЧЕНИЯ

В условиях недостаточного финансирования ремонтных работ и сохранения этой тенденции на краткой и среднесрочную перспективу, одним из возможных способов повышения сохранности дорожной сети является снижение воздействия на дороги транспортных средств путем введения ограничения осевых нагрузок, допустимых для каждой конкретной дороги. Сложность задачи — в определении конкретных параметров ограничения нагрузок в условиях существующего на дороге транспортного потока.

Одним из возможных путей обоснования параметров ограничения является использование закона эквивалентности нагрузок. В свое время за рубежом велись достаточно широкие исследования, посвященные развитию этого закона [1]. Однако в последние годы интерес к нему необоснованно, на наш взгляд, уменьшился.

Закон эквивалентности нагрузок в общем виде можно представить следующим выражением

$$\frac{N_i}{N_j} = \left(\frac{P_i}{P_j} \right)^\gamma \tag{1}$$

где N_i — количество приложений нагрузок величины P_i для причинения повреждения;
 N_j — количество приложений стандартных нагрузок величины P_j ;
 γ — показатель степени, получаемый эмпирическим путем.

Закон эквивалентности дает возможность проанализировать причины структурных повреждений, вызванных нагрузками, действующими на слои дорожной одежды, включая грунтовое основание. Такими причинами, в первую очередь, являются: недостаточная конструкционная прочность дорожной одежды, неблагоприятные погодные условия и использование в дорожной одежде материалов, не подходящих для преобладающего вида транспорта [2].

Основными видами структурного повреждения большинство исследователей считают усталостное растрескивание связанных слоев, а также постоянную деформацию битумных слоев, несвязных слоев дорожной одежды и грунтового основания, проявляющуюся в виде колеи.

Первыми экспериментальными исследованиями, предпринятыми в данной области, стали дорожные испытания AASHO. В процессе тестирования большое количество различных видов дорожных одежд было подвергнуто транспортным нагрузкам. В результате была установлена связь между нагрузками, выраженная в их величине и количестве применений. По результатам испытаний было определено, что наиболее полно реаль-

ную картину отражает значение показателя степени, равное 4,0.

Обращает на себя внимание тот факт, что в применении закона эквивалентности имеются определенные ограничения и допуски:

1 Проезд реальных транспортных средств рассматривается как сумма проездов отдельных независимых осей. То есть, если автомобиль имеет пять осей, считается, что на покрытие воздействует не один автомобиль с пятью осями, а пять отдельных осей. Тем самым из рассмотрения исключается фактор взаимного влияния смежных осей, что может существенно исказить картину. Данное ограничение обусловлено спецификой проведения теста AASHO, в котором на дорожную одежду воздействовали отдельные фиксированные нагрузки;

2 Закон применяется отдельно для различных типов дорожных одежд;

3 Показатель степени, применяемый в законе, не является всеобщим, а носит региональный характер: на него оказывает влияние климат, характеристики применяемых материалов, другие переменные факторы.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАКОНА ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ НАГРУЗОК ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ОГРАНИЧЕНИЯ ОСЕВЫХ НАГРУЗОК

Факт наличия названных выше ограничений позволил авторам выдвинуть ряд предположений по более широкому толкованию закона эквивалентности нагрузок, которые заключаются в следующем.

По мнению авторов, повреждающее воздействие на дорожную одежду оказывает транспортный поток в целом. Сведение его воздействия к простой сумме воздействий отдельных осей представляется не до конца обоснованным.

Транспортный поток, в составе которого постоянно присутствуют тяжелые автопоезда в количестве, превышающем некоторое предельное, обладает повышенным агрессивным воздействием на дорожные одежды. Такой поток следует отличать от других, а тяжелый автопоезд рассматривать в качестве транспортного средства, причиняющего основные повреждения дорожной одежде. Транспортный поток, в котором доля автопоездов меньше предельного значения, назовем расчетным потоком, а в качестве основного автомобиля, вызывающего повреждающее воздействие, рассмотрим стандартный двухосный грузовой автомобиль с нагрузкой на заднюю ось 10 т.

Результатом повреждающего воздействия транспортных средств на дорожное покрытие является возникновение дефектов дорожных покрытий и как следствие — ухудшение их продольной ровности.

С учетом высказанных предположений, закон эквивалентности нагрузки можно изложить несколько иначе. Общий вид уравнения при этом не изменится, поменяются значения входящих в него членов

$$\frac{N_m}{N_p} = \left(\frac{P_p}{P_m} \right)^\gamma \tag{2}$$

где N_m — суммарный транспортный поток грузовых автомобилей и автобусов, содержащий тяжо-

лые автопоезда, в количестве свыше предельного (тяжелый транспортный поток);

N_p — суммарный транспортный поток грузовых автомобилей и автобусов, содержащий тяжелые автопоезда в количестве менее предельного (расчетный поток);

P_m — количественный показатель повреждающего воздействия тяжелого автопоезда на покрытие;

P_p — количественный показатель повреждающего воздействия стандартного двухосного автомобиля с нагрузкой на заднюю ось 10 т на покрытие;

γ — показатель степени, получаемый эмпирическим путем.

Транспортные потоки N_m и N_p в формуле (2) соответствуют одинаковому уровню повреждения дорожной одежды.

Следует отметить, что авторами не рассматриваются легковые автомобили, присутствующие в реальном транспортном потоке, поскольку их повреждающее воздействие на дорожную одежду является незначительным.

Проводимые до настоящего времени исследования, связанные с законом эквивалентности нагрузки, были, главным образом, сосредоточены на рассмотрении таких последствий транспортного воздействия на дорожные одежды, как структурные повреждения (сетка трещин, частые трещины) и пластические деформации (колеобразование). По мнению авторов, такой подход не лишен недостатков, поскольку ориентирован на проведение наблюдений за опытными участками ограниченной длины, на которых проводились испытания. Кроме того, нагрузка, действующая на опытные участки, не является обычным транспортным потоком. С другой стороны, для фиксации развивающейся колеи и трещин требуется большое количество дорогостоящих наблюдений и измерений, что также является одним из недостатков существующих методов исследований.

Авторы предлагают в качестве характеристики повреждающего воздействия на покрытие использовать изменение его ровности, измеряемой по шкале IRI. В настоящее время использование ровности в качестве интегрального показателя состояния дорожного покрытия является общепризнанным. Во многих исследованиях показано, что изменение ровности достаточно хорошо характеризует деградационные процессы в дорожной одежде [3, 4]. При этом измерения ровности в Республике Беларусь носят массовый характер и отличаются высокой точностью и достоверностью результатов. Ровность всей сети республиканских дорог измеряется ежегодно в процессе диагностики, а данные накапливаются, начиная с 1997 года [5, 6].

Графическая интерпретация закона эквивалентности нагрузок применительно к ровности представлена на рисунке 1.

Начало координат на графике рисунка 1 соответствует моменту открытия движения на дороге после окончания строительства (ремонта). В некоторый момент времени, соответствующий N_m проходов транспортных средств тяжелого транспортного потока или N_p

проходов расчетного потока, ровность покрытия ухудшится на величину ΔIRI .

Необходимо отметить следующие важные моменты, на которые обращают внимание также многие исследователи, занимающиеся проблемой использования закона эквивалентности нагрузок [1]. Во-первых, закон носит статистический характер. Это говорит о том, что он хорошо описывает данные в масштабе всей сети дорог и, в то же время, может быть недостаточно точным применительно к отдельному участку. Во-вторых, при применении закона следует разделять дорожные одежды по их капитальности и рассматривать такие случаи отдельно.

Наличие связи между напряжениями и деформациями позволяет предположить, что есть возможность использовать одну из этих величин как количественный показатель повреждающего воздействия на покрытие транспортного средства. Более целесообразным представляется использовать в качестве такого показателя возникающие в дорожной одежде напряжения.

Использование закона эквивалентности нагрузок для управления сохранностью автомобильных дорог продемонстрировано на рисунке 2.

Пусть в некоторый момент времени зафиксировано состояние дороги по ровности IRI_0 . Возраст покрытия составляет при этом t лет. Суммарный транспортный поток по дороге за это время для расчетного потока составит:

$$N_{10} = 365 \cdot n_{10} t, \quad (3)$$

где N_{10} — суммарный транспортный поток грузовых автомобилей и автобусов, содержащий тяжелые автопоезда в количестве менее предельного (расчетный поток);

n_{10} — среднегодовая среднесуточная интенсивность расчетного потока.

Для тяжелого потока суммарный транспортный поток будет соответственно определяться по формуле

$$N_m = 365 \cdot n_m t, \quad (4)$$

где N_m — суммарный транспортный поток грузовых автомобилей и автобусов, содержащий тяжелые автопоезда, в количестве свыше предельного (тяжелый поток);

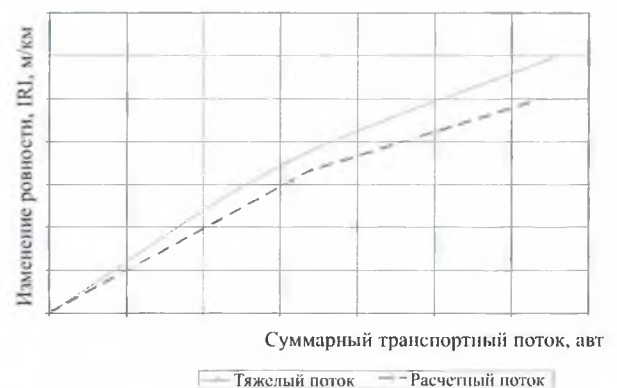


Рисунок 1. Графическое представление закона эквивалентности нагрузок применительно к ровности



Рисунок 2. Иллюстрация использования закона эквивалентности нагрузок для управления сохранностью автомобильных дорог

n_{im} — среднегодовая среднесуточная интенсивность тяжелого потока.

Проведение ремонтных работ на дороге необходимо осуществлять после достижения покрытием некоторой критической ровности $IRI_{кр}$, что произойдет через промежуток времени Δt . Ровность за это время изменится на величину

$$\Delta IRI = IRI_{кр} - IRI_{ф}. \tag{5}$$

Такое изменение ровности связано с изменением суммарного потока следующими зависимостями:

— для расчетного потока:

$$\Delta IRI_{10} = f(N_{10}^{кр}) - f(N_{10}); \tag{6}$$

— для тяжелого потока:

$$\Delta IRI_m = f(N_m^{кр}) - f(N_m), \tag{7}$$

где f — функция изменения приращения ровности в зависимости от суммарного транспортного потока грузовых автомобилей и автобусов.

Используя формулы (6) и (7), зная функцию f , можно найти значения $N_{10}^{кр}$ и $N_m^{кр}$, соответствующие достижению покрытием критического значения по ровности. На основании найденных значений $N_{10}^{кр}$ и $N_m^{кр}$ определяется оставшийся до ремонта срок службы покрытия по формулам:

— в случае расчетного потока:

$$t_{10} = \frac{N_{10}^{кр} - N_{10}}{365 \cdot n_{10}}; \tag{8}$$

— в случае тяжелого потока:

$$t_m = \frac{N_m^{кр} - N_m}{365 \cdot n_m}. \tag{9}$$

Анализ рисунка 2 показывает, что оставшийся срок службы может быть увеличен, если на дорогу вместо тяжелого потока начнет воздействовать расчетный поток. Данный эффект достигается путем введения ограничений осевых нагрузок для рассматриваемой дороги [7]. Понятно, что при достаточно плохом состоянии покрытия даже мгновенная "замена" транспортного потока не сможет обеспечить сохранность дороги на длительное время и может рассматриваться только в качестве временной меры, не позволяющей ухудшить общее состояние сети дорог.

ВЫВОДЫ

- 1 Проведенные исследования позволяют предложить новую интерпретацию закона эквивалентности нагрузок, в которой вместо количества приложений единичных нагрузок предлагается использовать суммарный транспортный поток грузовых автомобилей и автобусов, а в качестве результата повреждающего воздействия рассматривать ухудшение ровности покрытия.
- 2 Предложенный подход позволит повысить сохранность автомобильных дорог в условиях отсутствия финансирования ремонтных работ или их недостаточного объема, а также обосновать параметры вводимых ограничений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Heavy trucks, climate and pavement damage: road transport research / OECD. — Paris, 1988. - 175 p.
- 2 Huhtala, M. The effect of different trucks on road pavements / M. Huhtala // Proceedings Int. Symposium on Heavy Vehicle Weights and Dimensions/Kelowna, 2005. — P. 91–115.
- 3 Odoki, J.B. HDM-4 Technical Reference Manual / J.B. Odoki, G.R. Kerali // Vol. 4. PIARC, 1999. — 379 p.
- 4 Virgaudas Puodziukas Bituminous pavement evaluation and strengthening needs assessmaent in Lithuania // Summary of Doct. Diss. // Vilnius, "Technika", 2000. — 42 p.
- 5 Нестерович, И.В. Опыт работы ГП "Белдорцентр" по диагностике автомобильных дорог республиканского значения / И.В. Нестерович, Я.Я. Новгородский, С.В. Богданович // Диагностика эксплуатационного состояния автомобильных дорог, новые технологии их ремонта и содержания: Доклады международной науч.-техн. конф. — БГПА. — Минск, 1998. — С. 81–86.
- 6 Нестерович, И.В. Основные направления комплексной диагностики покрытий автомобильных дорог в Республике Беларусь / И.В. Нестерович, Н.И. Чернюк, С.В. Богданович // Пути решения современных проблем по диагностике, паспортизации автомобильных дорог и ответственности сооружений на основе создания и использования автоматизированных банков данных: Тезисы всероссийской отрасл. науч.-практ. конф. — Саратов, 2003. — 4 с.
- 7 Буткявичюс, С. Нагрузки на ось тяжеловесных транспортных средств и целесообразность их ограничения в неблагоприятное время года / С. Буткявичюс, К. Петкявичюс // Труды БГТУ. Сер. II. Лесная и деревообработ. пром-сть. — 2006. — Вып. XIV. — С. 44–50.

Статья поступила в редакцию 15.12.06.