Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и тоннелей

УДК 656.13; 656.13.08

DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-2-138-144

© Р. В. Андронов, канд. техн. наук, доцент

© R. V. Andronov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© Б. П. Елькин, канд. техн. наук, доцент

© B. P. Elkin, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

(Тюменский индустриальный университет,
г. Тюмень, Россия)

(Tyumen Industrial University,
Tyumen, Russia)

E-mail: aroma77777@mail.ru, borelpet@yandex.ru

E-mail: aroma77777@mail.ru, borelpet@yandex.ru

ПОВЫШЕНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ НАГРУЖЕНИЯ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПРОДЛЕНИЯ ИХ СРОКОВ СЛУЖБЫ

INCREASING THE UNIFORMITY OF ROAD SURFACE LOADING TO EXTEND ITS SERVICE LIFE

Установлена проблема неоднородного нагружения покрытий дорог колесами автомобилей, приводящая к быстрому, в течение 2–3 лет, появлению колеи на дорогах, что увеличивает нагрузку на бюджеты дорожных секторов городов, регионов и страны. Представлен самый малозатратный способ продления сроков службы дорожных одежд — периодическое смещение полос наката (ПСПН), который, пройдя этапы исследований, эксперимента и начала опытно-производственного внедрения, пока не нашел широкого применения. Показаны материалы исследований асфальтобетона на колеетестерах, асфальтобетонных покрытий на полосах наката и вне их как научное обоснование инженерной инновации. Установлена оптимальная с позиции теории вероятностей величина периодического смещения разметки. Предложено активно применять метод ПСПН на дорогах городов, регионов в разных климатических зонах

Ключевые слова: неравномерность нагружения покрытий, дорожные бюджеты, смещение разметки, знаки «Антиколея», колеетестер, кривая Гаусса.

The study reveals the problem of heterogeneous loading of road surfacing with vehicle wheels, which leads to the rapid appearance of rutting on the road within 2–3 years and increases the burden on the budgets of the road sectors of cities, regions and the country. The most cost-effective way of extending the service life of road surfacing is presented, namely, periodic shifting of the rolling strips (PSRS), which has passed the stages of research, experiment and the beginning of pilot implementation, but it has not yet found a wide application. The authors review the materials of research on asphalt concrete on rutting testers, asphalt concrete surfacing on the tracks and beyond them, as a scientific substantiation for engineering innovation. The optimal value of the periodic road markup offset is determined from the point of view of probability theory. It is proposed to actively apply the PSRS method on the roads of cities and regions in different climatic zones

Keywords: heterogeneous loading of road surfacing, road budgets, road markup offset, «Anti-Rut» signs, rutting testers, Gaussian curve.

Бюджеты дорожных секторов многих стран мира, крупных городов, в том числе и в России, постоянно испытывают дефицит средств на ремонт и содержание дорожных одежд. Одним из путей решения этой проблемы является продление их сроков службы.

При существующих способах эксплуатации автомобильных дорог автомобили двигаются по

так называемым полосам наката, проводя на них до 80 % времени, т. е. положение линий разметки остается постоянным на протяжении всего срока службы дороги¹ [1], следовательно, имеем неоднородное по ширине нагружение покрытия и до-

¹ Временные методические рекомендации по увеличению долговечности дорожных одежд на юге Тюменской области путем применения патентов РФ № 2107124 и 2159828 (периодическое смещение полос наката). Вып. 1. Тюмень: «Тюменские дороги», 2005. 34 с.

рожной одежды. Таким образом, значительному износу подвергается только часть конструкции дорожной одежды, т. е. непосредственно в зоне полос наката — в интенсивную работу включено 30–40 % материала дорожной одежды. Прилегающие к полосе наката части конструкции изнашиваются меньше. Широко распространенное в последние годы и небезопасное для дорожного движения быстрое появление колеиности на дорогах является следствием такого положения.

В Тюменском государственном архитектурно-строительном университете (сейчас Тюменский индустриальный университет — ТИУ) и Омском техническом университете профессорами М. П. Болштыанским и А. П. Болштыанским во второй половине 1990-х годов была предложена эффективная технология решения проблемы колеиности и продления межремонтных сроков службы дорожных покрытий (патенты России: № 2107124, 2159828), что весьма актуально в наши дни. Суть технологии: повышение однородности (равномерности) нагружения покрытия по всей ширине проезжей части². Если смещать линии разметки в пределах проезжей части хотя бы раз в год, то автомобили будут включать в работу новые объемы материала дорожных одежд. При этом, во-первых, технология прин-

ципально отличается от всех предлагаемых способов продления сроков службы покрытий, как правило, *высокозатратных*, основанных на увеличении прочности и износостойкости дорожно-строительных материалов и конструкций из них [2, 3]; во-вторых, она усиливает их эффективность.

Технология, получившая название «Периодическое смещение полос наката» (ПСПН), испытана в г. Тюмени на экспериментальном участке (2003–2012 гг.), было начато опытно-производственное внедрение, разработаны временные методические указания¹. В 2017 году технология смещения включена в «Проект организации дорожного движения на магистральных улицах и дорогах г. Тюмени». Метод ПСПН реализуется двумя путями: первый — технический, а именно смещение линий разметки в пределах проезжей части ежегодно; второй — информационный, т. е. ориентирование водителя на смещение автомобиля в пределах полосы движения с помощью специальных знаков³. Информационная технология в качестве опытно-экспериментальной внедрена в г. Тюмени. На двух магистральных улицах — 50 лет ВЛКСМ и Товарное шоссе — установлены знаки «Антиколея» (рис. 1).

Исследована реакция водителей на применение инженерной инновации [4], показавшая высокую степень одобрения метода водителями,

³ Патенты России: № 91094, № 92344.

² Идея Болштыанских вошла одной строчкой в отраслевой методический документ «Рекомендации по выявлению и устранению колеи на жестких дорожных одеждах», Часть 3, а именно — организация равномерного распределения движения по всей ширине проезжей части.

Рис. 1. Знаки «Антиколея» (слева — ул. 50 лет ВЛКСМ, справа — Товарное шоссе)

в отличие от руководителей предприятий, содержащих дороги, объективно экономически не заинтересованных в долгой службе дорог.

Цель статьи — анализ известных научных закономерностей износа дорожных покрытий с позиции новой концепции их эксплуатации — ПСПН.

Многочисленные исследования в этой области показывают, что в процессе работы дорожных одежд под воздействием проходов автомобилей происходит неизбежное накопление деформаций нежестких слоев одежды и ее основания.

Как отмечено в работе [5], детальное инструментальное изучение колеиности в условиях Северо-Запада России и причин ее появления показало, что только 19 % зафиксированной колеи возникло по вине асфальтобетонных слоев, остальное за счет остаточных деформаций и просадок нижележащих слоев дорожного основания и, возможно, земляного полотна. Авторы объясняют такое распределение общей «сырости» территории, слабыми основаниями дорог в Ленинградской области. Совершенно очевидно, что в других регионах (например, Ставрополье, Урал, Алтай, Крым, Восточная Сибирь), где основаниями для дорог служат прочные породы, распределение причин колеиности может быть прямо противоположным. Авторы работы [5], опираясь на данные зарубежных исследований,

полагают, что благодаря применению за рубежом усовершенствованных технологий укладки слоев дорожной одежды, технологий уплотнения слоев земляного полотна (например, рыхление слоев грунта перед окончательным уплотнением и пр.) основной причиной образования колеиности на дорогах США, Франции и других стран являются верхние асфальтобетонные слои, подверженные физическому износу как от летней резины, так и зимней с шипами.

Так, по данным [7], расчетная величина износа асфальтобетонного покрытия (тип ЩМА) для дороги 1-й категории составляет 3,5–4,5 мм/год, при этом за зиму увеличение износа от шипованных шин составляет 2,7 мм. Возникает вопрос, а почему бы раз в год, при возобновлении разметки, не сместить ее линии вбок для такого же износа соседнего участка покрытия. В противном случае эксплуатация дороги традиционно приведет к удвоению величины износа на одних и тех же участках, следовательно, через 3–4 года износ достигнет предельного значения, а значит, потребуется ремонт, что подтверждается практикой.

Что касается упругопластических деформаций асфальтобетона, которые изучены детально, то и здесь метод ПСПН явно выигрывает с точки зрения его влияния на долговечность. В работе [6] приведены данные по испытаниям гамбургским колееестером (Hamburg Wheel Tracking

Рис. 2. Зависимость глубины колеи, мм (ордината), от количества проходов колеса колееестера, тыс. единиц

Рис. 3. Зависимость глубины колеи, мм, от количества проходов колеса колеемостера, тыс. единиц при смещении

Device — HWTD) асфальтобетонных образцов разного состава. Характерная кривая образования колеи на поверхности образцов асфальтобетонного покрытия представлена на рис. 2.

Допустив работу асфальтобетона только в зоне ползучести, например, до 13 тыс. проходов колеса колеемостера, и сместившись на соседний участок, включаем в работу новые объемы асфальтобетона. Кривая образования модельной колеи в этом случае представлена на рис. 3. В данной модели принято, что зона доуплотнения на смещенной полосе наката отсутствует в силу неизбежного наезда колес на соседние участки за общее число проходов колес до смещения.

Таким образом, даже минимальный срок службы асфальтобетонного покрытия увеличивается на 70–80 %, а ведь возможно смещение в другую сторону.

Приведенные модели позволяют понять ход реальных процессов в покрытиях дорог. Многочисленные экспериментальные исследования и испытания в Европе и Северной Америке [5, 6] показали, что между поведением асфальтобетона в лабораториях при его проверках на колееустойчивость разными по габаритам приборами и его работой в покрытии существует вполне приемлемая и устойчивая корреляция. Остается определить реальное число проходов колес, соответствующее лабораторным проходам и назначить время смещения полос наката.

Известно, что частота проездов колес по отдельным точкам полосы наката подчиняется

нормальному закону распределения случайных величин (рис. 4), поэтому, смещая положение автомобиля на проезжей части на ширину шины колеса, мы заставляем больше работать рядом лежащие слои дорожной одежды и особенно верхний слой асфальтобетонного покрытия.

Ширина отпечатка колеса легкового автомобиля меняется от 165 до 215 мм, при этом среднее значение смещено в сторону большего значения и может быть принято 200 мм, поскольку преобладающее количество автомобилей на российских дорогах иномарки с шинами около 200 мм.

Анализ реальной ширины одной полосы наката на ровных участках дорог показывает, что ее значения варьируют от 400 до 600 мм. Это установлено в начале зимнего сезона, когда ярко выражены следы шипов на мерзлом асфальтобетонном покрытии. Принимая, что на ширине 600 мм в соответствии с кривой Гаусса распределено около 99 % проходов колес легкового автомобиля (правило «шести сигм»), находим величину среднеквадратичного отклонения случайной величины $600 : 6 = 100$ мм. Тогда величина смещения составляет 200–300 мм, т. е. 2–2,5 S (пунктирная линия на рис. 4). Смещение на величину 100 мм мало эффективно, поскольку продолжится интенсивный износ части средней полосы наката. Смещение на большую, чем 2,5 S величину, может привести к образованию гребенчатой в поперечном направлении проезжей части.

Таким образом, в соответствии с рис. 4, совершив за цикл до смещения 68 % проходов в цен-

Рис. 4. Вероятностные закономерности положения колеса на полосе наката до и после смещения (пунктирная линия)

тральной части полосы наката, получаем некоторую величину износа проезжей части, выразившуюся либо в появлении поверхностной колеи на асфальтобетоне, либо глубинной колеи при слабых слоях основания. Смещение включает в работу соседние объемы материала дорожной одежды, т. е. продолжаем укатывать дорожное покрытие [1].

Исследования состояния асфальтобетона непосредственно на полосе наката, в зоне 68 % кривой Гаусса и в соседних зонах подтверждают правильность инженерного решения о смещении полосы наката. В работе [7, табл. 3] представлены результаты исследований вырубок асфальтобетона, взятых в центральной части полосы наката и на межнакатной полосе. В центральной части плотность образцов увеличилась на 2,5 %, остаточная пористость и водонасыщение снизились соответственно на 31 и 50 %. В работе [8] автор, анализируя образующиеся на поверхности асфальтобетонных покрытий колеи, отмечает, что при поверхностной колее толщина асфальтобетона в ее центральной зоне существенно меньше, чем в боковом выпоре.

Вопрос оппонентов — а есть ли возможность смещать линии разметки вбок? Ответ положи-

телен и основан на анализе нормативных параметров ширины полос движения у нас и за рубежом. Как показано в статье [9], ширина полосы движения практически не влияет на показатель БДД. Так, в странах с высоким уровнем автомобилизации и меньшей, чем в России, шириной полосы на дорогах число погибших на 100 тысяч населения варьирует от 5 до 14 (в России — от 13 до 21).

Практика развитых стран мира показывает, что нам необходимо сужать полосы движения для автомобилей. Меньшая ширина полосы движения вынуждает водителя всегда находиться в состоянии легкого напряжения, что позволяет ему, во-первых, инстинктивно снижать скорость движения, во-вторых, быстро реагировать на происходящее на дороге. Тысячи россиян перемещаются на автомобилях по Европе, быстро адаптируются к более узким полосам движения и не испытывают при этом дискомфорта. В Тюмени в погоне за увеличением пропускной способности на одной из интенсивных магистралей вместо трех полос движения в одном направлении организовали четыре полосы, при этом, по данным ГИБДД, не зафиксировано повышение

уровня аварийности. Метод ПСПН на этой магистрали уже затруднен.

Сегодня в России в условиях недофинансирования дорожного сектора есть уникальная возможность продлевать сроки службы дорожных одежд, смещаясь на наших широких проезжих частях за счет уменьшения ширины полосы движения на 0,4–0,5 м. Метод ПСПН является самым малозатратным способом решения этой проблемы — расходы одного рубля на организованное управление широким внедрением метода дают обществу от 10 до 40 рублей выгоды¹.

Вывод. В условиях общемирового кризиса, постоянно растущих затрат на автомобильные дороги настало время более эффективного управления таким общественным имуществом, как дорожное. Патенты конца 1990-х годов имеются в свободном доступе для служб, занятых содержанием и ремонтом дорог, и есть уникальная возможность применять предлагаемое инженерное решение (ПСПН) для масштабного опытно-производственного внедрения как на городских улицах и магистралях, так и на дорогах общей сети в разных странах, в многообразных дорожно-климатических зонах.

Библиографический список

1. Bolshtyanskiy M. Roll the asphalt // *World Highways*, April 2007. Pp. 69–70.
2. Дьяков К. А., Черсков Р. М. Мировой опыт борьбы с колеобразованием на автомобильных дорогах. URL: <https://crdtech.ru> – Центр развития дорожных технологий (дата обращения: 12.02.2019).
3. Васильев А. П. Причины образования колеи и пути их устранения // *Наука и техника в дорожной отрасли*. 1999. № 2. С. 6–9.
4. Ануфриева Т. А., Елькин Б. П. Развитие технологии смещения полос наката для сохранения дорог // материалы Международной науч.-практ. конф. (к 85-летию ФГБОУ ВПО «СибАДИ»). Архитектура, строительство, транспорт. Омск: СибАДИ, 2015. С. 13–17.
5. Костельов М. П., Перевалов В. П., Пахаренко Д. В. Практика борьбы с колеиностью асфальтобетонных покрытий может быть успешной // *Дорожная техника*. СПб.: ООО «Славутич», 2011. С. 54–70.
6. Dr. Yetkin Yildirim, P. E., Dr. Thomas W., Kennedy P. E. Correlation of field performance to Hamburg wheel tracking device results. Research Report 0-4185-1 / Center for transportation research, Bureau of Engineering Research the University of Texas at Austin, October, 2001. 69 p.
7. Горельшева Л. А., Гарманов В. Н., Петров Ю. Н. Результаты исследования износа асфальтобетонного покрытия на автомобильной дороге «Уфа – аэропорт»: сб. статей и докладов ежегодной научной сессии. М.: МАДИ, 2015. С. 113–123.
8. Чусов В. В. Применение теории накопления повреждений в условиях пластичности асфальтобетона для расчета дорожных покрытий по сопротивлению сдвигу // *Молодой ученый*. 2016. № 6. С. 221–227. URL <https://moluch.ru/archive/110/26990/> (дата обращения: 11.02.2019).
9. Елькин Б. П., Андронов Р. В. Сужение полосы движения для повышения безопасности дорожного движения и сохранения дорог / материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф. по БДД, 12 марта 2015. Тюмень: ТюмГНГУ, 2015, С. 91–94.

References

1. Bolshtyanskiy M. Roll the asphalt. *World Highways*, April 2007, pp. 69–70.
2. D'yakov K. A., Cherskov R. M. *Mirovoj opyt bor'by s koleeobrazovaniem na avtomobil'nyh dorogah* [World experience in the fight against rutting on highways]. *Centr razvitiya dorozhnyh tekhnologiy* [Center for development of road technologies]. Available at: <https://crdtech.ru> (accessed: 12.02.2019).
3. Vasil'ev A. P. *Prichiny obrazovaniya koley i puti ih ustraneniya* [Reasons for the formation of ruts and ways to eliminate them]. *Nauka i tekhnika v dorozhnoj otrasli – Science and technology in the road industry*, 1999, no. 2, pp. 6–9.
4. Anufrieva T. A., El'kin B. P. *Razvitie tekhnologii smeshcheniya polos nakata dlya sohraneniya dorog* [Development of technology for shifting the roll bars to save roads]. *Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (k 85-letiyu FGBOU VPO «SibADI») «Arhitektura, stroitel'stvo, transport»* [Proc. of the International scientific and practical conference (to the 85-th anniversary of SibADI) "Architecture, construction, transport"]. Omsk, SibADI Publ., 2015, pp. 13–17.
5. Kostel'ov M. P., Perevalov V. P., Paharenko D. V. *Praktika bor'by s kolejnost'yu asfal'tobetonnyh pokrytij mozhет byt' uspeshnoy* [Practice of fighting against the rutting of asphalt concrete surfaces can be successful]. Sb. st. «Dorozhnaya tekhnika 2011» [Coll. works "Road engineering 2011"]. St. Petersburg, Slavutich Publ., pp. 54–70.
6. Dr. Yetkin Yildirim, P. E., Dr. Thomas W., Kennedy P. E. *Correlation of field performance to Hamburg wheel tracking device results*. Research Report 0-4185-1. Center for Transportation Research, Bureau of

Engineering Research the University of Texas at Austin, October, 2001, 69 p.

7. Gorelysheva L. A., Garmanov V. N., Petrov Yu. N. *Rezultaty issledovaniya iznosa asfal'tobetonnoy pokrytiya na avtomobil'noy doroge «Ufa – aeroport»* [Results of research of asphalt concrete pavement wear on the Ufa – airport highway]. *Sb. statey i dokladov ezhegodnoy nauchnoy sessii* [Collection of articles and reports of the annual scientific session]. Moscow, MADI Publ., 2015, pp. 113–123.

8. Chusov V. V. *Primenenie teorii nakaplivaniya povrezhdenij v usloviyah plastichnosti asfal'tobetona dlya rascheta dorozhnyh pokrytij po soprotivleniyu sdvigu*

[Application of the theory of damage accumulation in terms of plasticity of asphalt concrete for calculating road surfaces by shear resistance]. *Molodoj uchenyy – Young scientist*, 2016, no. 6, pp. 221–227. Available at: <https://moluch.ru/archive/110/26990/> (accessed: 11.02.2019).

9. Elkin B. P., Andronov R. V. *Suzhenie polosy dvizheniya dlya povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya i sohraneniya dorog* [Narrowing the traffic lane to improve road safety and save roads]. *Trudy VIII Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii po BDD* [Proc. of the VIII All-Russian scientific and practical conference on road safety]. March 12, 2015. Tyumen, TSOGU Publ., 2015, pp. 91–94.