



Н.Н. Беляев
(АО «Институт «Стройпроект»)

ПОЛУЖЕСТКИЕ ДОРОЖНЫЕ ОДЕЖДЫ

Важнейшей задачей, стоящей сегодня перед дорожным хозяйством РФ, является реальное повышение сроков службы нежестких дорожных одежд до 24 лет. При этом основу дорожной сети России образуют автомобильные дороги с нежесткими дорожными одеждами, имеющими асфальтобетонные покрытия.

Такие дороги составляют до 80% протяженности федеральных дорог и до 70% – региональных. Поэтому актуальным является повышение сроков службы в первую очередь именно нежестких дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями. Для решения этой задачи необходимо повышать качество строительства и содержания автомобильных дорог, а также шире применять новые, более эффективные конструкции и материалы.

Однако кардинальное повышение межремонтных сроков эксплуатации нежестких дорожных одежд не может быть достигнуто также и без соответствующего повышения их проектной прочности. Так, одной из основных форм отказа дорожной одежды, приводящего к необходимости капитального ремонта, является недопустимое нарушение продольной ровности дорожного покрытия. Которая в свою очередь в значительной степени

зависит от коэффициента прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба, поскольку при недостаточной прочности дорожной одежды происходит быстрое нарушение ее продольной ровности. Поэтому с учетом действующей методики прочностных расчетов ОДН 218.046-01 увеличение срока службы дорожных одежд, например, с 18 лет до 24 лет, потребует увеличения минимального общего модуля упругости дорожной одежды в зависимости от категории дороги не менее чем на 5–10%.

В свою очередь для достижения такого повышения прочности традиционных нежестких дорожных одежд с несущими слоями основания из щебня, щебеночно-песчаных смесей (ЩПС) и песка потребуется либо увеличить толщину слоев несущего основания из этих материалов на 30–45%, либо увеличить толщину пакета асфальтобетонных слоев на 5–10%. При этом на большей части террито-

рии РФ, особенно на юге, в средней полосе европейской части страны и на востоке, дорожное хозяйство и так уже испытывает значительный дефицит щебня (см. табл. 1). А увеличение толщины асфальтобетонных покрытий связано со значительным увеличением сметной стоимости дорожных одежд.

Наряду с нарушением продольной ровности еще одной причиной отказа дорожной одежды может быть также и нарушение поперечной ровности, то есть образование на асфальтобетонном покрытии колеи. Колееобразование – достаточно сложное и комплексное явление. В настоящее время рассматриваются три основные причины образования колеи на асфальтобетонных покрытиях нежестких дорожных одежд (которые зачастую действуют совместно):

- пластическое деформирование асфальтобетона колесами грузовых автомобилей в жаркий летний период, когда температура пакета асфальтобетонных слоев достигает 50°C и выше;

- накопление остаточных деформаций под действием колес грузовых автомобилей в грунте рабочего слоя земляного полотна и слоях основания дорожной одежды (преимущественно весной, в период переувлажнения подстилающих дорожную одежду грунтов);

- износ материала дорожного покрытия шипованными шинами легковых автомобилей в зимний период.

Очевидно, что борьба с пластической колеей и колеей износа требует применения сдвигоустойчивых и износостойких асфальтобетонов. Это отдельная научно-техническая проблема, которая выходит за рамки собственно прочностного расчета дорожной одежды. А вот накопление остаточных деформаций в грунте и слоях основания напрямую зависит от прочности (модуля упругости) как всей дорожной одежды, так и каждого конструктивного слоя в отдельности. Поэтому путем увеличения прочности и модуля упругости слоев основания можно значительно уменьшить ту часть глубины общей колеи, которая обусловлена накоплением в основании остаточных деформаций. При этом более прочное основание допол-

нительно «экранирует» нижерасположенный грунт земляного полотна от действия транспортной нагрузки и тем самым снижает накопление остаточных деформаций также и в рабочем слое земляного полотна.

Еще одной из возможных причин сокращения срока службы нежесткой дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием может служить летнее размягчение асфальтобетона. Практически на всей территории РФ летом бывают жаркие периоды, когда пакет асфальтобетонных слоев дорожной одежды частично или на всю толщину прогревается до $+50^{\circ}\text{C}$ и выше. Региональные различия сводятся не только к глубине прогреваемой до $+50^{\circ}\text{C}$ толщи дорожной одежды (от 5 см на севере до 45 см на юге), но и к продолжительности такого жаркого периода (от 1 дня на севере до 22 дней на юге). При температуре $+50^{\circ}\text{C}$ расчетный кратковременный модуль упругости различных асфальтобетонов снижается в 6–8 раз по сравнению с температурой $+10^{\circ}\text{C}$ (при которой производится стандартный расчет прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба). В результате в жаркий летний период общий модуль упругости нежесткой дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием снижается по сравнению с проектным значением на 40–50% и более (несмотря на просыхание и упрочнение подстилающих грунтов). Это приводит к увеличению в слоях основания и в подстилающем грунте активных напряжений сдвига на величину от 20–30% (в условиях юга) до 80–120% (в условиях севера) по сравнению с проектными значениями. Что в свою очередь может приводить в этот эксплуатационный период к недопустимому снижению коэффициента прочности по критерию сдвига, прежде всего, в малосвязных конструктивных слоях (поскольку расчетные сдвиговые характеристики песков в отличие от грунтов не увеличиваются летом по мере снижения влажности).

Эффективным методом решения всех этих проблем является применение нежестких дорожных одежд, в которых с целью повышения прочности слои несущего основания устраи-

ваются монолитными – из каменных материалов и грунтов, обработанных различными вяжущими веществами. Особый практический интерес представляют монолитные материалы, полученные на основе неорганических вяжущих, так как они сохраняют свои прочностные свойства в условиях высоких летних температур. Отличительными особенностями этих монолитных слоев являются более высокие прочность и жесткость, чем у слоев из традиционных дискретных (состоящих из отдельных, не связанных между собой частиц) каменных материалов, таких как щебень, щебеночно-песчаная смесь или песок. Принципиальным отличием является именно жесткость монолитного слоя основания. При этом важна не только изгибная жесткость такого слоя, которая способствует повышению прочности дорожной одежды. Большую (и не всегда полезную) роль играет также и его продольная жесткость, поскольку именно благодаря монолитности и продольной жесткости слоя он включается в совместное, например, температурное деформирование вместе с другими монолитными (в том числе асфальтобетонными) слоями дорожной одежды. Что в конечном итоге в ряде случаев может приводить к усилению низкотемпературного или усадочного трещинообразования в дорожной одежде. Поэтому, чтобы выделить этот специфический подкласс нежестких дорожных одежд с монолитными слоями оснований и отличить его от класса жестких дорожных одежд (имеющих слои покрытия или основания из еще более прочного и жесткого бетона), предлагается с известной долей условности обозначить этот тип дорожных одежд как «полужесткие дорожные одежды». Аналогичным термином «полужесткие» уже обозначались слои дорожной одежды из укрепленных минеральными вяжущими грунтов и каменных материалов еще в работах проф. В.М. Безрука, опубликованных в 70-е годы прошлого века. Таким образом, в дальнейшем под полужесткой дорожной одеждой (ПЖДО) будет подразумеваться нежесткая дорожная одежда с асфальтобетонным покрытием, в которой с целью повышения прочности

Таблица 1. Баланс производства и потребления щебня в РФ

Федеральный округ	Доля общероссийского производства щебня, %	Доля общероссийского потребления щебня, %	Относительный дефицит (-)/профицит (+) потребления щебня по сравнению с производством, %
1. Центральный ФО	19	25	-24
2. Северо-Западный ФО	21	13	+61,5
3. Поволжский ФО	12	18,5	-35
4. Уральский ФО	16,5	10	+65
5. Южный ФО	10	11,5	-13
6. Северо-Кавказский ФО	3,5	2,5	+40
7. Сибирский ФО	12	12,0	0,0
8. Дальневосточный ФО	6	7,5	-20

Таблица 2. Результаты сравнения традиционных нежестких дорожных одежд и полужестких дорожных одежд

№ п/п	Показатель	Тип дорожной одежды	
		Традиционная	ПЖДО
1	Конструкция дорожной одежды:		
1.1	Толщина пакета а/б слоев, см	26–28	19–21
1.2	Толщина несущего основания из ЩПС №5, см	50–60	–
1.3	Толщина несущего основания из щебеночно-цементно-песчаной смеси (ЩЦПС) М60	–	40–45
1.4	Толщина дополнительного слоя основания из песка средней крупности, см	30–50	25–50
1.5	Грунт земполотна	Суглинок легкий	Суглинок легкий
2	Общая толщина ДО, см	116–127	89–111
3	Материалоемкость ДО:		
3.1	Расход а/б, кг/м ²	602–625	441–487
3.2	Расход щебня, кг/м ²	380–456	336–378
3.3	Расход песка, кг/м ²	1155–1450	960–1395
3.4	Расход цемента, кг/м ²	–	42–46,5
4	Сметная стоимость ДО (в ценах 2017 г.), руб./ м ²	2263,45–2764,65	2341,63–2558,68

и термоустойчивости несущие слои основания (все или несколько) устраиваются монолитными, из каменных материалов и грунтов, обработанных неорганическими вяжущими (в том числе и в комплексе с органическими вяжущими).

В случае применения более жестких монолитных слоев основания значительно повышается общий мо-

дуль упругости нежесткой дорожной одежды. Например, замена в слоях основания дорожной одежды песка и щебня на грунт и щебень, обработанные неорганическим вяжущим, при сохранении той же толщины слоев приводит к повышению общего модуля упругости дорожной одежды в 1,5–2 раза, что может обеспечить значительное увеличение ресурса дорожной

одежды по критерию упругого прогиба (в виде суммарного числа приложений расчетной нагрузки до наступления состояния отказа дорожной одежды) и пропорционально увеличить срок службы дорожной одежды между капитальными ремонтами. Соответственно, полужесткая дорожная одежда, равнопрочная по критерию упругого прогиба традиционной дорожной одежде со слоями основания из песка и щебня, может иметь толщину слоев несущего основания в 1,5–2 раза меньше толщины слоев основания из дискретных материалов (при сохранении той же толщины пакета асфальтобетонных слоев), что обеспечивает значительный экономический эффект за счет резкого снижения использования привозных, а потому дорогостоящих каменных материалов и песка. Либо равная прочность традиционной и полужесткой дорожных одежд может быть обеспечена при уменьшении суммарной толщины асфальтобетонных слоев на величину 20–30% с одновременным уменьшением суммарной толщины слоев несущего основания также на величину до 20–30% и более. Фактически это позволяет исключить из дорожной одежды один слой дорогостоящего асфальтобетона (из обычно применяемых нескольких слоев) без потери требуемого общего модуля упругости дорожной одежды, рассчитываемого при температуре асфальтобетона +10 °С. При этом за счет более жесткого и термоустойчивого основания снижение общего модуля упругости полужесткой дорожной одежды с более тонким пакетом асфальтобетонных слоев в жаркий летний период (когда температура верхних слоев дорожной одежды достигает 50 °С и выше) не превышает 20–30%, в то время как традиционные дорожные одежды с менее жесткими слоями несущего основания и более толстым пакетом асфальтобетонных слоев могут в этот период терять до 40–50% своего проектного общего модуля упругости. Соответственно, на 10–25% может возрасти фактический срок службы полужестких дорожных одежд по сравнению с традиционными нежесткими дорожными одеждами.

Дополнительным преимуществом полужестких дорожных одежд является их более высокая устойчивость к образованию колеи от воздействия колес автомобилей, обусловленной накоплением остаточных деформаций в слоях основания дорожной одежды. Глубина пластической колеи в более тонком пакете асфальтобетонных слоев в полужесткой дорожной одежде также уменьшается при прочих равных условиях.

Технико-экономические преимущества полужестких дорожных одежд можно проиллюстрировать на основе данных, представленных в табл. 2. Примерные данные получены для равнопрочных (по всем предусмотренным ОДН 218.046-01 критериям прочности) капитальных дорожных одежд во II, III, IV и V дорожно-климатических зонах (ДКЗ) при проектном сроке службы 24 года и суммарном приложении расчетной нагрузки (нормативная статическая нагрузка на ось 115 кН, удельное давление колеса $p = 0,8$ МПа) от 6,3 млн до 10,3 млн в зависимости от ДКЗ.

Как видно из табл. 2, при равной прочности полужесткие дорожные одежды имеют толщину на 13–23% меньше традиционных нежестких дорожных одежд, на 22–23% меньший расход асфальтобетона, на 12–17% меньший расход дефицитного во многих регионах щебня, на 4–17% меньший расход песка. Дополнительным ресурсом, который требуется для строительства полужестких дорожных одежд, является цемент. Но количество его по сравнению с другими традиционными дорожно-строительными материалами невелико (не превышает 50 кг/м^2), и оно не влияет существенно на сметную стоимость дорожной одежды, которая у ПЖДО на 4,5–7,5% ниже, чем у традиционных дорожных одежд. При этом минимальный экономический эффект в виде снижения сметной стоимости имеет место в V ДКЗ. Однако значительный технический эффект в виде снижения потребности в таких дефицитных материалах, как асфальтобетон и щебень, сохраняется и для дорожных одежд в V ДКЗ.

Следует отметить, что наряду с очевидными преимуществами полужесткие дорожные одежды имеют

ряд существенных особенностей, которые необходимо учитывать. Прежде всего, это образование усадочных трещин в слоях из каменных материалов и грунтов, обработанных неорганическими вяжущими. Уменьшение объема цементирующих новообразований по сравнению с объемом исходного вяжущего в процессе твердения гидравлических неорганических вяжущих веществ (контракция) является естественным физико-химическим процессом. Кроме того, усадка может быть вызвана уменьшением влажности материала слоя, например, в результате химического связывания части воды в процессе твердения вяжущего или вследствие сезонного изменения влажности подстилающих грунтов. В результате этих естественных процессов усадочные трещины в основании дорожной одежды могут образовываться еще в ходе строительства автомобильной дороги. Но действующая методика проектирования нежестких дорожных одежд не предусматривает проверки на образование трещин в результате таких объемных деформаций, как усадка или усушка. При этом усадочные трещины в основании могут инициировать в дальнейшем образование над ними отраженных трещин в асфальтобетонных слоях, что также требует выполнения проверочного расчета при проектировании дорожной одежды.

Для проверки на усталостное трещинообразование в монолитных слоях дорожной одежды под действием многократного нагружения транспортным средством в действующей нормативной базе предусмотрен стандартный проверочный расчет нежестких дорожных одежд. Однако дополнительной причиной образования трещин в асфальтобетонном покрытии полужестких дорожных одежд являются совместные температурные деформации асфальтобетонного покрытия и укрепленного монолитного основания в условиях, когда коэффициенты теплового расширения материалов этих слоев значительно отличаются и имеет место большой перепад эксплуатационных температур. Тем не менее такой рас-

чет на низкотемпературное трещинообразование стандартной методикой проектирования нежестких дорожных одежд пока не предусмотрен.

Относительно усадочной или низкотемпературной трещиностойкости можно полагать, что если шаг такого рода трещин в основании более 5–6 м, то такая трещиновато-блочная структура не приводит к существенному (более чем на 10–15%) снижению общего модуля упругости основания. И это при изначально высоком запасе прочности ПЖДО не оказывает существенного влияния на срок службы дорожной одежды. Также и достаточно большой шаг низкотемпературных трещин в асфальтобетонном покрытии (8–10 м и больше), очевидно, не является критическим и даже значительным дефектом, поскольку отказ дорожной одежды практически наступает при шаге трещин в дорожном покрытии менее 1–1,5 м.

Поэтому дополнительными для полужестких дорожных одежд задачами проектирования являются проверка допустимого шага усадочных трещин в основании и проверка на образование отраженных и низкотемпературных трещин в асфальтобетонном покрытии. Кроме того, при проектировании целесообразно проводить проверку дорожной одежды по критерию колееобразования. Технология строительства и вопросы строительного контроля полужестких дорожных одежд также должны быть дополнительно ориентированы на обеспечение их трещиностойкости и контроль шага усадочных трещин. Специфика таких дорожных одежд должна учитываться и при их эксплуатации (своевременная герметизация трещин, применение технологий ремонта с обеспечением защиты от копирования трещин из основания и т. д.).

В настоящее время в РФ отсутствует единый нормативный документ, в котором бы в комплексе рассматривались вопросы проектирования, строительства и эксплуатации полужестких дорожных одежд с учетом их специфики, что и делает актуальной разработку специального отраслевого дорожного методического документа по этой проблематике.