



17-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,
vykusios 2014 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 17th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'
TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 8 May 2014, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 17-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»
ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 8 мая 2014 г., Вильнюс, Литва

ОБОБЩЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ПО КРИТЕРИЯМ ПРОЧНОСТИ

Надежда Павленко

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Эл. почта: Pavlenko.Nadya@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены порядок и особенности расчета дорожных одежд по критериям прочности (сдвиг в грунтах земляного полотна и несвязных слоях конструкций) по различным методикам расчета, проведен анализ результатов и представлены основные рекомендации для расчета.

Ключевые слова: дорожная одежда, напряженно-деформированное состояние, прочность, проектирование.

Введение

Дорожная отрасль поставлена перед проблемой повышения надежности и долговечности дорожных одежд в условиях, когда нагрузка на дорогу возрастает. Существующие до недавнего времени рекомендации по конструированию и расчетам нежестких дорожных одежд не стали соответствовать современным требованиям. Систематизация наработок в области расчетов и конструирования дорожных одежд, внедрение при расчетах изменений и дополнений в нормативные и рекомендательные документов позволят упростить и автоматизировать процесс расчета конструкций, предложить эффективные конструкции нежестких дорожных одежд для дорог различных категорий.

Основная часть

Опыт последних лет эксплуатации автомобильных дорог показывает, что методика расчета нежестких дорожных одежд должна учитывать и прогнозировать не только упругие, но и пластические деформации. Однако, до настоящего времени, не получено решений на должном теоретическом уровне и не установлены закономерности процессов развития и накопления остаточных деформаций в слоях дорожных одежд и земляного полотна под действием многократного приложения нагрузки от движущегося транспорта и погоднo-климатических факторов.

В расчетах используется не пространственная постановка задачи, а ее частичный случай осесим-

метрическая модель упругого полупространства, не учитывающая влияние на напряженно-деформированное состояние (НДС) конструкции предельной величины поперечных размеров дороги, количества осей автомобиля и места расположения нагрузок на проезжей части. В отдельных случаях это может привести к изменению на порядок значений и самого НДС.

При расчетах дорожных одежд не учитываются также изменяющиеся во времени и по глубине конструкции физико-механические свойства материалов слоев и силы их реального межслойного сцепления, которые в свою очередь также нуждаются в уточнении.

В действующих нормах по расчету на прочность дорожных одежд нежесткого типа занижение расчетных значений модуля упругости асфальтобетонов не вызывает никакого негативного эффекта, а только пойдет на запас прочности. Это будет положительным фактором лишь в расчете дорожных одежд по критерию допустимого упругого прогиба всей конструкции. Но в расчетах по критерию предельного растягивающего напряжения на изгиб в монолитных слоях дорожных одежд необоснованное занижение модулей упругости асфальтобетонов вызовет негативный эффект, так как при прочих равных условиях величина растягивающего напряжений по подошве монолитного слоя возрастает с увеличением относительной жесткости этого слоя к общей жесткости нижележащих слоев. Таким образом, конструкция дорожной одежды при расчете по критерию предельного растягивающего напряжения при изгибе в моно-

литных слоях, на самом деле не будет является достаточно прочной (Телтаев).

Уделяется недостаточное внимание в конструкциях слоям из несвязных или малосвязных материалов. Неотъемлемой частью в дорожной отрасли являются конструкции со слоями из дискретных материалов (Павленко 2012; Павленко *et al.* 2008). В практике широкое применение находят слои с зернистых (дискретных) материалов. Основным критерием прочности в этом случае является прочность на сдвиг. Ошибка в определении составляющих главных напряжений приводит к существенным неточностям при расчете дорожных одежд, так как существующие теоретические основы расчета дорожных одежд не учитывают специфику передачи усилий в слоях из дискретных материалов.

В работах (Павленко 2012; Павленко *et al.* 2008) доказана возможность совместного использования математического аппарата теории упругости и механизма контактного взаимодействия для исследования напряженно-деформированного состояния слоев конструкции дорожной одежды из дискретных материалов. Учет сил трения, сцепления, бокового распора и размера зерен позволяет установить физическую сущность процесса деформирования слоев конструкции и природу происхождения параметра разрешения дискретной среды (Павленко 2012).

Вторым, весьма существенным фактом, является то, что при штамповых испытаниях дорожной одежды, полученные значения вертикальной деформации поверхности дискретного слоя значительно отличаются от расчетного по теории упругости. Здесь сказывается специфика поведения дискретной среды под нагрузкой, отличная от условий для сплошной упругой среды. В соответствии с фактическим напряженно-деформированным состоянием такой параметр, как общий модуль упругости дорожной одежды будет больше при расчете, чем по теории упругости, так как происходит более концентрированное распределение нагрузки внутри дискретного слоя.

Установленные закономерности поведения слоистых систем из дискретных материалов под нагрузкой и полученный математический аппарат для исследования НДС таких систем позволяет предложить усовершенствованные практические рекомендации расчета на прочность и оценку прочности при полевых испытаниях дорожной одежды переходного типа со слоями из дискретных материалов. При расчете дорожной одежды переходного типа следует учитывать, что для несвязных материалов предельным состоянием является местное предельное состояние, или теория наибольших касательных напряжений (Павленко *et al.* 2008).

Сдвиг в таких материалах сопровождается локализацией перемещения частиц в узкой зоне размером в несколько диаметров зерен, за счет которой происходит большая часть деформаций сдвига. «Плоскость сдвига» по Кулону не является плоскостью в математическом смысле этого слова – полосой нулевой толщины, а предполагает собой зону шириной в не-

сколько зерен. Поэтому предельное сопротивление зернистых материалов слоев дорожных одежд сдвигу и их деформационные характеристики должны зависеть и от свойств окружающих слоев, препятствующих изменению объема зернистого материала при деформации сдвига.

Вышеприведенные позиции относительно направлений расчета дорожных одежд свидетельствуют о необходимости дальнейшего совершенствования научной базы по обеспечению высокой надежности и долговечности проектируемых и построенных автомобильных дорог. Одним из направлений, продолжающее решение данной проблемы, является разработка теоретических основ и практических рекомендаций по прогнозированию накопления остаточных деформаций в элементах дорожных конструкций методами механико-математического моделирования с учетом реальной пространственной нагрузки системы и действия природно-климатических факторов.

Рассмотрим изменения в нормативной базе проектирования конструкций дорожных одежд на сегодняшний день с целью оценки совершенствования методологии расчета.

Порядок расчета нежестких дорожных одежд регламентируется рядом национальных стандартов Украины (ДБН В.2.3-4-2007; Дорожній... 2004). Необходимо обратить внимание на инструктивное письмо Укравтодора № 2 \ 92-10-671 от 22 марта 2006 года (письмо УНТП), которым рекомендовано принимать при расчетах фиксированные значения ряда коэффициентов. Введение этих поправок позволяет оптимизировать конструкции дорожных одежд по критериям прочности. Анализ нормативных документов указал на необходимость проведения расчетов конструкций с различной влажностью грунта и различными типами грунта как по ВБН В.2.3-218-186 2004 (Дорожній... 2004) в первоначальном виде, так и с учетом инструктивного письма УНТП (Управление научно-технической политики Укравтодор). Для дополнительного сравнения конструкции рассчитывали по лицензированной программе RADON RU. Принимали во внимание тот факт, что при одинаковых уровнях надежности дорожными одеждой коэффициенты запаса прочности в украинской нормах другие. Целью этих сравнений было установить как повлияли предложенные изменения на результаты конструирования и расчета дорожных одежд.

При разработке типовых расчетных схем дорожных одежд в качестве основных принципов были приняты следующие рекомендации для конструкций на дорогах общего пользования:

- между слоями песка и щебеночно-песчаными слоями основания обязательно предусматривать устройство защитно-армирующего слоя из геосинтетических материалов;

- не устраивать слои основания из фракционированного щебня методом «заклинивания», предпочтение отдать слоям из щебеночно-песчаных смесей оптимального состава;

– для верхних слоев основания использовать различные материалы, укрепленные цементом или комплексном вяжущим;

– верхний слой покрытия на дорогах государственного значения проектировать толщиной 5 см из смесей щебеночно-мастичных асфальтобетонных (ЩМА-15 (20)) на модифицированном битумном вяжущем с адгезионными добавками;

– на местных дорогах возможно в верхних слоях покрытия использование смесей асфальтобетонных горячих плотных типа А марки I (Б марки I), содержание щебня от 55 % до 60 % на модифицированном битумном вяжущем;

– средний слой покрытия проектировать толщиной не менее 8 см из смесей асфальтобетонных горячих крупнозернистых плотных тип А марка I с максимально возможным содержанием щебня (60–65 %) на модифицированном битумном вяжущем;

– нижний слой покрытия проектировать толщиной не менее 8 см из смесей асфальтобетонных горячих крупнозернистых пористых (высокопористых) тип А и Б с максимально возможным содержанием щебня (не менее 55 %) на битуме БНД.

Прежде всего следует отметить, что с учетом изменений УНТП конструкции стали более реальными

и экономичными. Это частично исключило ранее допущенные методические и математические ошибки в исходных зависимостях.

Если проанализировать результаты расчетов различными методами (использование рекомендованного письма УНТП, методики расчета и ведомственных норм), то приходим к следующим выводам:

– расчет по разным но принципиально согласованным методам расчета нежестких дорожных показателей, что конструкции имеют одинаковый уровень надежности;

– это свидетельствует о том, что предложенные поправки УНТП действительно, в основном, согласовали и исправили спорные вопросы, полученные конструкции по многим параметрам более оптимальными;

– остается не до конца согласован вопрос прочности на сдвиг песчаных слоев и грунтов, это требует дополнительных расчетов с учетом существующих рекомендаций.

Результаты для различных расчетных схем, различных грунтов основания и переменной влажности приведены в таблице 2, используя типовую конструкцию дорожной одежды, приведенную в таблице 1.

Таблица 1. Исходные параметры материалов слоев конструкции дорожной одежды

№	Материал слоя	h слоя, см	Расчет за					
			Упругим прогибом E, МПа	Сопротивлением сдвигу, E, МПа	Сопротивлением растяжению при изгибе			
					E, МПа	R _{лаб} , МПа	m	K _{пр}
1	Асфальтобетон плотный на битуме БНД-60/90	5	3200	1800	4500	9,8	5,5	4,0
2	Асфальтобетон пористый на битуме БНД-60/90	10	28 000	1200	2800	8,0	4,3	8,2
3	Черный щебень	10	900	900	900			
4	Щебень малопрочных пород укрепленный комплексным вяжущим	20	600	600	600	–	–	–
5	Укрепленный материал грунтовый	25	250	250	250	–	–	–

Таблица 2. Результаты расчета на прочность по основным действующим методикам

Грунт	Модуль	влажность	$\bar{\tau}_n$	T_a	$\bar{\tau}_n$	T_a	K _{прочности}
Супесь	100	0,62	0,00944	0,0216	0,01372	0,02766	2,288/2,016
	69	0,75	0,00784	0,0168	0,01204	0,02085	2,14/1,73
	54	0,85	0,00816	0,0109	0,0105	0,0155	1,335/1,47
			ВБН+УНТП		МР		ВБН+УНТП/МР
Суглинок легкий	108	0,51	0,0096	0,0474	0,00819	0,0399	4,94/4,87
	77	0,6	0,00896	0,0299	0,0126	0,0254	3,34/2,02
	52	0,7	0,00864	0,0188	0,0118	0,01503	2,18/1,27
	25	0,87	0,00544	0,0091	0,0084	0,0066	1,68/0,78
			ВБН+УНТП		МР		ВБН+УНТП/МР
Суглинок тяжелый	49	0,65	0,0084	0,0265	0,01141	0,02167	3,155/1,89
	38	0,7	0,0078	0,0198	0,0099	0,0145	2,54/1,46
	21	0,8	0,0064	0,0125	0,0081	0,0079	1,95/0,975
			ВБН+УНТП		МР		ВБН+УНТП/МР
Глина	82	0,5	0,00936	0,0659	0,00875	0,0521	6,97/5,95
	34	0,65	0,00736	0,0277	0,0098	0,0218	3,76/2,22
	24	0,7	0,006	0,023	0,0077	0,01	3,83/1,29
	10	0,8	0,0048	0,0107	0,0049	0,0035	2,22/0,71
			ВБН+УНТП		МР		ВБН+УНТП/МР

Выводы

Анализ результатов исследований позволяют констатировать следующее:

1. Действующая в Украине методика расчета дорожных одежд нежесткого типа не отвечает современным требованиям и требует дальнейшего совершенствования.

2. На основе усовершенствованной методики определиться с принципиально новым или модернизированным математическим аппаратом расчета конструкций, основанным на теории механики, но с максимальной возможностью корректировки многих внешних показателей.

3. Необходимо пересмотреть и усовершенствовать методы экспериментального определения расчетных характеристик всех составляющих материалов конструкций.

4. Дополнить или принципиально изменить подход к установлению основных критериев предельного состояния конструктивных слоев (допустимые напряжения и деформации).

Анализ характерных деформаций нежестких дорожных одежд позволяет утверждать, что основными причинами их разрушения являются:

– несоответствие конструкции по основным критериям прочности;

– несогласованность критериев (теорий) и принятой расчетной схемы реального напряженно-деформированного состояния, нереальность расчетной схемы;

– изменения в характере и интенсивности нагрузки, климатических условий и другое, что не учтено при расчетах;

– ограниченность прочностных параметров традиционных дорожно-строительных материалов.

Традиционные конструкции дорожных одежд и традиционные дорожно-строительные материалы, особенно асфальтобетоны и малопрочные местные материалы, исчерпали свои возможности в условиях интенсивной, тяжелой нагрузки, в более жестких климатических условиях. Настоящее ставит перед проектировщиками вопрос о разработке и применении новых, традиционных конструкций дорожных одежд, частичный учет которых рассмотрен в статье.

Литература

- ДБН В.2.3-4-2007. 2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина Проектування. Частина 2 – Будівництво. – [Чинний від 2008-03-01]. К.: Мінрегіонбуд України, (Національний стандарт України).
- Дорожній одяг нежорсткого типу: ВБН В.2.3-218-186 2004 – Офіц. вид – [Чинний від 2004-04-01]. К.: Державна служба автомобільних доріг України «Укравтодор», 2004. 176 с. (Національний стандарт України).
- М 218-02070915-633:2007. Методика проектування дорожнього одягу з конструкціями різного типу. – Офіц. вид – К.: Державна служба автомобільних доріг України «Укравтодор», 2007. (Нормативний документ Державної служби автомобільних доріг України).
- Павленко, Н. В. 2012. Усовершенствование расчета малосвязных материалов в конструкциях дорожных одежд переходного типа. Проблемы развития городской среды: Научно-технический сборник / К.: НАУ, Вип.7, с. 177–181.
- Павленко, Н. В.; Ряпухін, В. М.; Плевако, В. П. 2008. Напружений і деформований стани дорожніх одягів перехідного типу з дискретних матеріалів // Науковий вісник будівництва / Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. Вип.47, с. 161–171.
- Телтаев, Б. Б. Анализ расчетных значений модуля упругости асфальтобетона, Дорожная техника, 10, с. 130–137.