



УДК 625.7/8

© *Е. В. Федоренко, 2012*

СОВРЕМЕННОЕ РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД С ПРОСЛОЙКАМИ ИЗ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Федоренко Е. В. – доцент кафедры «Железнодорожный путь, основания и фундаменты», тел: (4212) 41-05-04, e-mail: yginfd@mail.ru (ДВГУПС)

Широкое применение геосинтетических материалов в дорожных одеждах требует наличия соответствующих методов расчета. За более чем двадцатилетний период применения синтетических прослоек в нашей стране было предложено несколько различных подходов к расчетам дорожных одежд. Исходя из предположения о том, что наиболее удачные из них были рекомендованы к применению в нормативных документах, в статье приводится анализ именно тех методов, которые нашли отражение в отраслевых дорожных документах. Результаты анализа свидетельствуют о том, что на сегодняшний день нет подходящего метода расчета дорожных одежд с прослойками из геосинтетических материалов, а нормативные документы издаются с предложениями двадцатилетней давности.

The wide application of geosynthetic materials as pavement requires the appropriate methods of calculation. For more than twenty years' period of application of synthetic layers in our country several approaches to calculations of pavement were put forward. Based on the assumption that the most successful of them were recommended to application in typical documents, the article analyses those methods that have found reflexion in normative documents. Results of the analysis testify that as of today there is no suitable method of calculation of pavement with layers of geosynthetic materials, and standard documents are published with recommendations proposed twenty years ago.

Ключевые слова: дорожные одежды, геосинтетические материалы, геотекстиль, георешетка, ОДМ, модуль упругости.

В нашей стране направление, связанное с разработкой и внедрением новых технических решений и новых эффективных материалов, повышающих прочность и надежность дорог, снижающих затраты на их строительство и эксплуатацию, зародилось в 70-х годах прошлого века. Появившиеся решения связаны с применением полимерных материалов в виде прослоек, предотвращающих перемешивание переувлажненного глинистого грунта с мате-

риалами дорожной одежды, распределяющих нагрузку от колес на большую площадь подстилающего грунта, снижающих неравномерность деформаций дорожной одежды и позволяющих более полно реализовывать прочность грунтов и дорожно-строительных материалов, снизить объем работ по транспортировке и уплотнению привозных материалов. Первыми видами материалов были тканые и нетканые синтетические материалы, армированная битумированная бумага, отработанные синтетические сукна и сетки бумагоделательных машин. Наибольшей популярностью пользовались нетканые геотекстилы, на основе которых и были разработаны первые методики расчетов.

Одними из первых были работы М.М. Филоненко-Бородич, предложившего подход к учету влияния прослойки на мембранной модели упругого основания, (1940 г); проф. В.Д. Казарновского получившего инженерное решение, основанное на предположении о недопущении превышения заданной глубины колеи (1983 г); В.Н. Трибунского, который рассматривал применение прослоек в лесовозных дорогах (1986 г.). Много работ по применению синтетических нетканых прослоек в автомобильных дорогах выполнено сотрудниками Гипродорнии: Фоминым А.П., Перковым Ю.Р., Александрович В.Ф., Барвашовым В.А., Федоровским В.Г. и др.

Наиболее общепринятые и устоявшиеся методы включали в состав соответствующих нормативных документов. Развитие методов расчета можно проследить по выпуску отраслевых дорожных документов, посвященных геосинтетическим материалам. Таким образом, можно выделить четыре этапа, соответствующих четырем выпущенным за прошедшее время нормативным документам.

1 этап. В 1986 году вышли в свет «Указания по повышению несущей способности земляного полотна и дорожных одежд с применением синтетических материалов» (ВСН 49-86). В этом документе впервые было введено понятие «коэффициент усиления» (коэффициент улучшения общего модуля упругости), который принимается по таблицам, в зависимости от модулей деформации слоев грунта и относительной глубины. Общий модуль упругости армированной дорожной конструкции определяется с учетом коэффициента усиления.

Анализ таблицы с коэффициентом усиления свидетельствует о том, что этот метод расчета не является достоверным, хотя и дает определенные результаты. Так, в процессе анализа, рассматривалась следующая схема: основание с различными значениями модуля упругости, на которое укладывается слой дорожной одежды различной мощности с синтетической прослойкой. Производилось сравнение, во сколько раз изменится коэффициент усиления армированной дорожной одежды, если ее модуль упругости увеличится в 10 раз. Например, элемент диаграммы, обозначенный цифрой 1 (рис. 1), показывает, что при увеличении модуля упругости армированного слоя дорожной одежды мощностью 0,444 м (при модуле упругости слабого основания 20 МПа) в 10 раз, коэффициент усиления армированной дорожной одежды увеличится в 1,1 раза. В целом на сравнительном графике (рис. 1) видно, что



коэффициент усиления не имеет четко выраженных закономерностей (одни ряды возрастают, другие убывают), соответственно методика ВСН 49-86 положившая начало развитию методов расчета не была проработана до конца и не является достоверной.

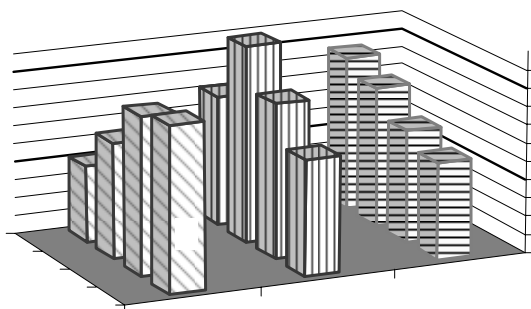


Рис. 1. Сравнительная диаграмма коэффициентов улучшения дорожных одежд в зависимости от модуля упругости основания и вышерасположенного слоя с синтетической прослойкой между ними

2 этап. В. Д. Казарновским была предложена методика расчета минимальной толщины насыпного слоя (Казарновский В.Д., 1984), которая через 20 лет была принята к внедрению в «Рекомендациях по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог» ОДМ 2003. Вышедший ОДМ 2003 отменил предыдущий ВСН 49-86. Такой большой перерыв в разработке нормативной документации по применению геоматериалов, вероятно, связан с переменами и сложностями в нашей стране во время и после перестройки.

За прошедшее время появились новые геосинтетические материалы, обладающие свойствами, отличными от рассматриваемых в методике В.Д. Казарновского геотекстилей - это интегральные георешетки. Особенности работы георешеток в щебенистых средах является увеличение угла распределения напряжений и эффект блокировки. Крупномодельные экспериментальные исследования дорожных одежд нежесткого типа, армированных георешетками, проведенные Военным инженерно-техническим университетом (Санкт-Петербург) в 2001 году, показали, что угол распределения напряжений составляет для интегральных геоматериалов

В 2009 г. в ДВГУПС были проведены лотковые испытания, для чего в металлический лоток размером 2x2x1,8 м был засыпан песок мощностью 0,5 м и щебеночно-песчаная смесь С5 мощностью 0,3 м. Штамповой испытание производились для указанной конструкции дорожных одежд и для конструкции с добавлением в слой С5 армирующего элемента в виде интегральной георешетки. Общая схема конструкции представлена на рисунке 2.

По результатам испытания установлено, что наличие интегральной георешетки в слое дорожной одежды кроме снижения величины осадки, за счет

1

20

Мощность слоя, м
36
Модуль упругости

распределения напряжений (мембранный эффект), значительно повышает сдвигустойчивость (эффект блокировки). Момент наступления третьей фазы деформаций грунта, согласно положениям механики грунтов, в армированной конструкции начинается позднее чем в конструкции без армирования. Это наглядно видно по данным, полученным в результате измерений горизонтальных напряжений на датчике №2 (рис. 3).

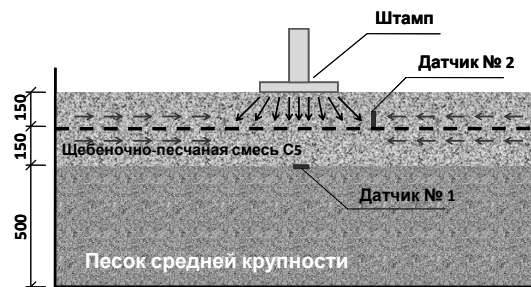


Рис. 2. Схема лотковых испытаний

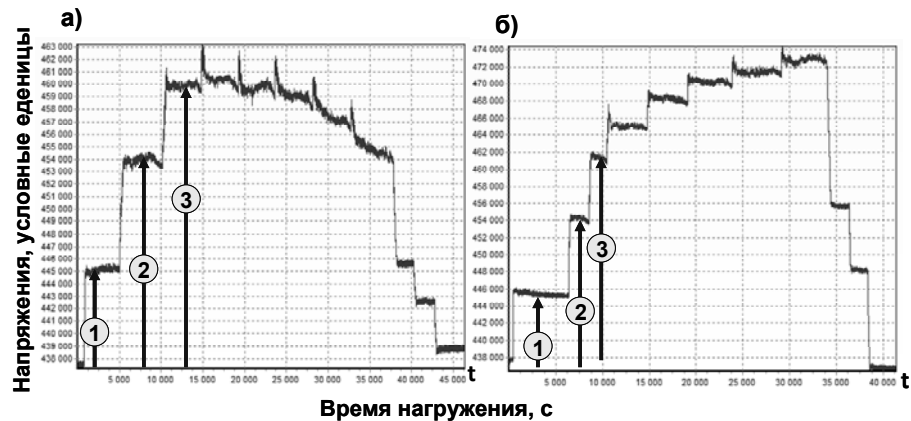


Рис. 3. Сравнительные графики горизонтальных напряжений: а - обычная конструкция дорожных одежд; б - армированная конструкция

Первые три ступени вертикальной нагрузки вызывают практически одинаковые напряжения на датчике бокового давления. На рисунке 3 цифрами обозначены 3 ступени приложения нагрузки, величины возникающих при этом напряжений практически равны для обеих конструкций. После приложения четвертой и последующих ступеней, в конструкции без армирования (левый график) напряжения на датчике бокового давления, начинают снижаться, это объясняется тем, что дальнейшее увеличение вертикальной нагрузки переводит грунт во вторую фазу, во время которой развиваются непрерывные поверхности скольжения – возникает полное предельное напряженное состояние и начинают преобладать боковые смещения частиц. Т.е. датчик бокового давления начинает смещаться в сторону вместе с частицами



грунта, что и приводит к снижению фиксируемых им напряжений. В конструкции с армирующей прослойкой (правый график) наблюдается совершенно иная картина, ступени нагрузки с четвертой по восьмую вызывают увеличение напряжений на датчике бокового давления. Наличие интегральной двухосной георешетки в слое щебенистого грунта создает геокомпозитную псевдоплиту, образованную в результате блокировки частиц грунта в ячейках георешетки. Таким образом, эффект блокировки увеличивает контактные напряжения у поверхности армирующей прослойке и приводит к повышению сдвигоустойчивости.

Из положений механики грунтов известно, что момент начала возникновения площадок сдвигов, для которых касательные и нормальные напряжения связаны условием предельного равновесия (окончание первой фазы уплотнения и начало фазы развития значительных сдвигов), соответствует начальной критической нагрузке. Это первая нагрузка, характеризующая прочность грунтов. Армирующая прослойка из интегральной двухосной георешетки, помещенная в слой щебня, отодвигает момент наступления второй фазы и повышает величину первой критической нагрузки, а соответственно и прочность грунта.

Методика В.Д. Казарновского разрабатывалась для геотекстильных материалов, характеризующихся сплошностью и низкими контактными напряжениями: величина коэффициента трения грунта по геотекстилю меньше чем грунта по грунту. Методика предполагает распределение напряжений с учетом соответствующего коэффициента в зависимости от относительной глубины и влияние прослойки из интегральных материалов не учитывает. Т.е. использование этой методики для расчетов дорожных одежд с применением георешеток не представляется возможным.

3 этап. После появления на рынке отечественных производителей геоматериалов, отчетливо прослеживается их влияние на издание нормативных документов. Так в 2008 году выходят «Методические рекомендации по применению полимерных геосеток (георешеток) для усиления слоев дорожной одежды из зернистых материалов» (ОДМ 218.5-002-2008). Этот документ в корне отличается от предыдущих, заметен явный переход от нетканых материалов к интегральным, предложено несколько методик для различных вариантов расчетов: по допустимому упругому прогибу, на сдвигоустойчивость, на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе, а так же расчеты армирования дорожных одежд переходного типа и др. Отличительной особенностью является наличие многочисленных примеров расчетов и информации о методах испытаний. Однако при всех кажущихся плюсах, детальное рассмотрение позволяет сделать определенные выводы.

За основу принят уже известный подход с использованием коэффициента усиления, только на этот раз величина коэффициента более 1, и поправка осуществляется путем перемножения с общим модулем упругости. В основу расчета положена очень громоздкая формула с большим количеством регрес-

сионных коэффициентов. Причем одни и те же регрессионные коэффициенты применяются и при расчете по упругому прогибу, и при расчете на сдвигоустойчивость.

Анализ формулы для определения коэффициента усиления (коэффициент увеличения общего модуля упругости армированной дорожной конструкции), показывает, что она имеет недостатки. В частности при расчете дорожных одежд капитального и облегченного типов по допускаемому упругому прогибу увеличение мощности дисперсных слоев на определенном диапазоне может приводить к снижению коэффициента усиления, что противоречит логике. Наглядно это видно на рисунке 4.

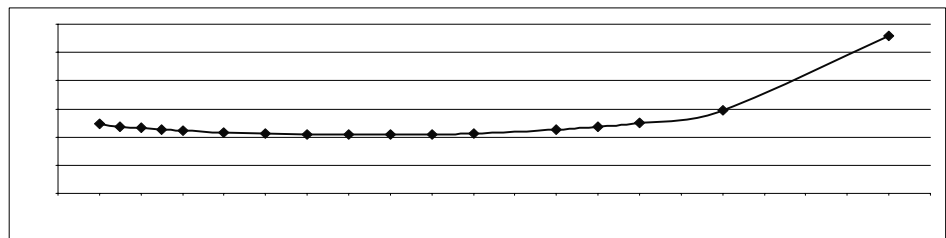


Рис. 4. Зависимость коэффициента усиления от мощности дисперсного слоя дорожной одежды

Например, сравнительный расчет двух конструкций дорожных одежд армированных георешетками дает следующие результаты: конструкция с мощностью слоя щебня 30 см имеет коэффициент усиления $\alpha_1=1.12$, а конструкция с мощностью слоя щебня 60 см - $\alpha_1=1.04$. Т.е. увеличение слоя щебня на 30 см снижает модуль упругости дорожной одежды. Увеличения слоя щебня армированной конструкции с 60 до 80 см вообще не приводит к улучшению деформационных характеристик (коэффициент усиления для всех промежуточных значений $\alpha_1=1.04$).

Такая же ситуация складывается при расчете по допускаемому упругому прогибу дорожных одежд переходного и низшего типов, результаты расчетов представлены на рисунке 5 (верхний график). Дальнейший анализ показывает, что в формуле есть ошибки: после того, как мощность дисперсного слоя достигает 1 метра, формула теряет физический смысл, это видно по рисунку 5 (нижний график).

Кроме того, вызывает большие сомнения величины условного модуля упругости композитного слоя «зернистый материал + георешетка» E_4 , согласно таблице приложения его величина варьируется в зависимости от условного показателя деформативности. Анализ таблицы показывает, что использование в слое щебня георешетки с прочностью 40 кН/м, вместо георешетки с прочностью 20 кН/м приводит к увеличению условного модуля упругости композитного слоя более чем в 1,5 раза. Теоретически работа георешетки



шетки заключается в создании эффекта блокировки, а при одинаковых условиях (близкие геометрические параметры ячеек) замена материала на более прочный на этот эффект влиять не будет, за исключением случаев, когда прочность георешетки близка к критической, т.е. горизонтальные напряжения превышают разрывную прочность материала. Как показывают исследования повышение прочности композитного слоя «георешетка-щебень» зависит от геометрических размеров ячейки и фракции щебня, а не от прочности армирующего материала.

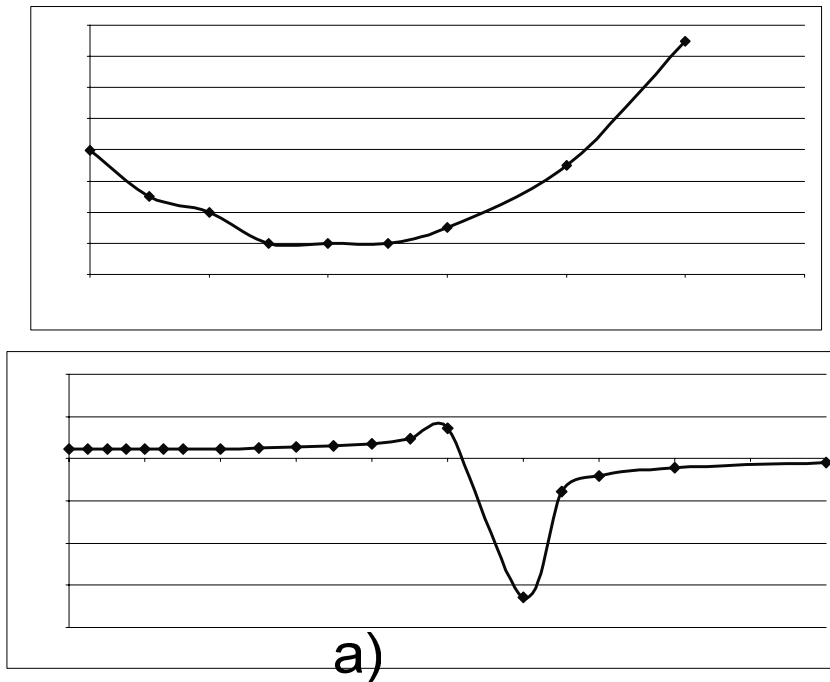
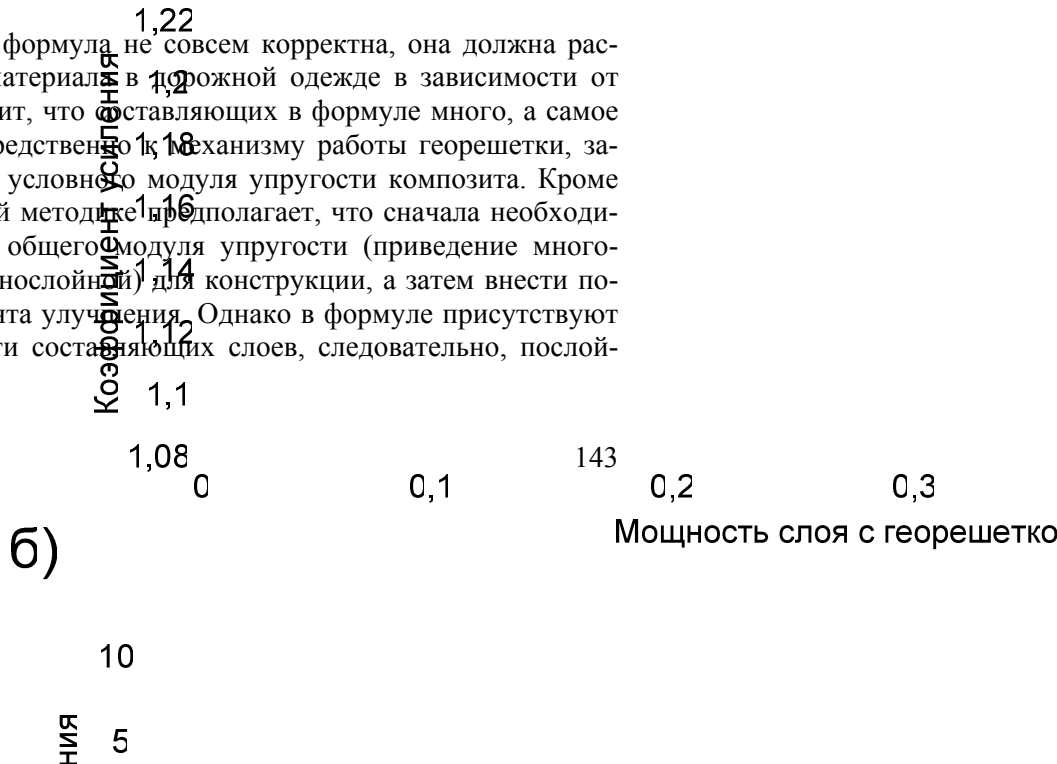


Рис. 5. Зависимость коэффициента усиления от мощности дисперсного слоя дорожной одежды, содержащего георешетку: а – детализация; б – общий вид

В целом предложенная формула не совсем корректна, она должна раскрывать смысл работы геоматериала в дорожной одежде в зависимости от различных факторов. Выходит, что составляющих в формуле много, а самое важное, относящееся непосредственно к механизму работы георешетки, заключается в трех значениях условного модуля упругости композита. Кроме того, расчет по предлагаемой методике предполагает, что сначала необходимо выполнить определение общего модуля упругости (приведение многослойной к эквивалентной однослойной) для конструкции, а затем внести поправку с учетом коэффициента улучшения. Однако в формуле присутствуют величины модулей упругости составляющих слоев, следовательно, послой-





ный расчет выполняется повторно, что вызывает сомнения в предложенном подходе.

4 этап. 1 февраля 2010 года взамен ОДМ «Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог» 2003 г. был выпущен новый ОДМ 218.5.003 -2010. С момента издания первого нормативного документа по геосинтетическим материалам (ВСН 49-86) прошло более 20 лет, за это время очень многое изменилось в области применения геосинтетических материалов, а вышедший в 2010 году ОДМ 218.5.003 -2010 в части расчетных методик полностью повторяет ВСН 1986 года, разработанный для нетканых геотекстилей, как в таблицах, так и в отсканированных расчетных схемах и графиках. Анализ этой методики рассмотрен ранее при описании ВСН 49-86, очевидно, что использование этого метода на сегодняшний день не приемлемо для расчетов дорожных одежд с геоматериалами.

Таким образом, несмотря на достаточное количество различных нормативных документов, касающихся применению геоматериалов в автодорожном строительстве, по сравнению с другими отраслями строительства, вопросы расчетов конструкций с применением геосинтетических материалов требуют серьезной доработки. При этом подход к разрабатыванию расчетных методов должен носить научно-прикладной характер. А попытки коммерческих структур, занимающихся продажами геоматериалов, изменить нормативные документы «под себя» приводят не к развитию расчетно-нормативной базы, а к обратному процессу.

Библиографические ссылки

1. *Методические* рекомендации по применению полимерных геосеток (герешеток) для усиления слоев дорожной одежды из зернистых материалов ОДМ 218.5-002-2008 // М.: ФГУП "Информавтодор", 2008.
2. *Проектирование* нежестких дорожных одежд. ОДН 218.046-01 // Росавтодор Минтранса России. Информавтодор, 2001.
3. *Рекомендации* по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог // М.: ФГУП "Информавтодор", 2003
4. *Рекомендации* по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог ОДМ 218.5.003 -2010 // М.: ФГУП "Информавтодор", 2010.
5. *Синтетические* текстильные материалы в транспортном строительстве / В.Д. Казарновский, А.Г. Полуновский, В.И. Рувинский // М.: Транспорт, 1984.
6. *Трибунский В.М.* Изолирующие прослойки лесовозных дорог // М.:Лесн. пром-сть., 1986.
7. *Указания* по повышению несущей способности земляного полотна и дорожных одежд с применением синтетических материалов ВСН 49-86 // Минавтодор РСФСР, М., Транспорт, 1986.
8. *Ярмолинский А.И.* Обоснование ширины обочин и типа их укрепления в условиях Дальневосточного региона / А.И. Ярмолинский, П.А. Пегин, В.А. Ярмолинский, И.Н. Пугачев // Вестник ТОГУ -2005. - № 5. - С. 141-160.