

А. И. Смыковский, канд. техн. наук, зам. начальника дорожного управления,  
Д. П. Гракович, инженер, Государственное предприятие «БелдорНИИ»

### ЯВЛЕНИЕ ВИБРОДИФФУЗИИ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Decrease material and power consumption of construction in conditions conservation transport and exploitation characteristics of highways is a priority of road branch. In article are considered methods of devices the road clothes what's lowering consumption material resources by building.

**Введение.** В Республике Беларусь первоочередное значение придается экономии энергетических и материальных ресурсов. Дорожное хозяйство, являясь материалоемкой отраслью строительства, может существенно улучшить показатели по экономному расходованию ресурсов при рациональном подходе к конструированию и устройству основных элементов дорожных одежд – покрытию и основанию. Кроме того, программой «Дороги Беларуси на период 2006–2015 годы» предусматривается увеличение прочности дорожных одежд ряда участков автомобильных дорог до восприятия транспортной нагрузки 13 т на ось. Это требует изменения подходов к выбору материалов для устройства дорожных одежд.

Используемый ныне вариант конструкции нежесткой дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием на основании из неукрепленных материалов работает на пределе возможностей, поскольку сочетание ряда факторов, основным из которых является неустойчивость асфальтобетона к воздействию тяжелых транспортных нагрузок в условиях высоких летних температур, ограничивает выбор материалов для асфальтобетонных покрытий [1]. В то же время вопросами повышения прочности оснований дорожных одежд занимаются мало, а развитие данного направления исследований имеет очевидные перспективы.

**Предпосылки устройства рациональных дорожных одежд.** Одним из основных материалов, применяющихся для строительства и ремонта автомобильных дорог, является щебень. От качественных характеристик щебня в значительной мере зависят потребительские свойства, в первую очередь ровность и долговечность автомобильных дорог. Особенно это относится к щебню, применяемому для устройства оснований дорожной одежды.

Ранее было определено, что устройство оснований дорожных одежд из необработанного вяжущими веществами гранитного щебня в условиях повышения транспортной нагрузки до 13 т на ось приводит к дефициту общей несущей способности дорожной конструкции [2]. Кроме того, следует отметить, что устройство оснований из неукрепленных зернистых материалов, в том числе и из гранитного щебня, имеет ряд недостатков.

Основным недостатком применения неукрепленных материалов в основаниях дорожных одежд является предел их несущей способности, связанный с общей прочностью щебня. Известно, что проектное значение модуля упругости слоя основания из гранитного щебня составляет до 330 МПа. Для достижения данного значения модуля упругости в натуральных условиях необходимо использовать тяжелую виброуплотняющую технику, при этом щебень под действием катков нередко подвергается разрушению (данное замечание касается лещадных и игловатых зерен в щебне, количество которых достигает 35 %), что свидетельствует о пределе несущей способности щебеночных оснований. При необходимости увеличения прочности дорожной конструкции под восприятие воздействия автотранспортных нагрузок 13 т на ось и более щебеночное основание в его традиционном виде не сможет соответствовать необходимым требованиям.

Обеспечению рационального устройства нежестких дорожных одежд при условии сохранения требуемых технико-эксплуатационных параметров автомобильных дорог может послужить применение следующих групп мероприятий по возведению оснований дорожных одежд:

- 1) упрочнение щебеночных оснований стабилизирующими добавками;
- 2) применение комбинированных оснований, в которых слой щебня усилен арматурой в виде геосеток или георешеток.

Первая группа мероприятий определяет применение пескоцементных смесей либо материалов, обработанных вяжущими, а также асфальтогранулята для устройства щебеночных оснований. Опыт строительства дорог в Беларуси показал, что наиболее эффективным методом устройства дорожных оснований является использование асфальтогранулята для расклиновки крупного щебня. Эффект расклиновки асфальтогранулятом заключается в том, что при последующем устройстве асфальтобетонного покрытия из горячих смесей, температура укладки которых не менее 100–110°C, асфальтогранулят, представляющий собой продукт дробления асфальтобетонных покрытий, спекается и образует со щебнем практически монолитный

слоем. Вследствие этого зерна щебня лишаются подвижности и не разрушаются под действием динамических воздействий от транспортной нагрузки.

Таким образом, увеличение модуля упругости слоя щебеночных оснований дорожных одежд при расклиновке их асфальтогранулятом увеличивает общий модуль упругости дорожной конструкции и коэффициент запаса прочности дорожной одежды в 1,1–1,2 раза по сравнению с проектным [3].

Применение пескоцементных смесей для расклиновки щебеночных оснований дает возможность достичь модуля упругости слоя 500 МПа, что позволяет увеличить запас прочности не менее чем на 25–30%.

К данной группе мероприятий также можно отнести использование оснований, выполненных из материалов, обладающих свойствами самоцементации, в частности из металлургических шлаков, что позволяет повысить общую несущую способность дорожной одежды до значения не менее 370–380 МПа.

К мероприятиям второй группы относится устройство комбинированных оснований – использование обычных материалов (щебня, песчано-гравийных смесей), улучшенных с помощью технологических приемов.

Известно, что щебеночное основание и подстилающий слой из песчано-гравийной смеси или песка не должны разделяться геотекстильными прослойками, поскольку это приводит к негативным результатам [4].

Также к негативным результатам ведет и укладка щебня непосредственно на песок, поскольку происходит рассредоточение частиц щебня и его внедрение в нижележащие слои. Это явление, названное нами «вибродиффузией», в виде взаимопроникновения частиц щебеночного основания и нижележащего слоя приводит к отрицательным результатам из-за снижения плотности щебеночного основания в нижней зоне слоя, наиболее подверженной растягивающим напряжениям от действия транспортной нагрузки. Устранение данных недостатков возможно при помощи управления вибродиффузией с помощью мероприятий второй группы – устройства комбинированных оснований.

В комбинированных основаниях для повышения их несущей способности и долговечности используется принцип армирования с помощью геосеток или георешеток. Армирование основания геосинтетическими материалами позволяет перераспределять возникающие от действия автотранспортной нагрузки напряжения на большую площадь, что способствует стабильной работе дорожной одежды даже в неблагоприятных природно-климатических условиях.

Использование георешеток в практике дорожного строительства известно давно. Они используются как для армирования оснований дорожных одежд, так и для укрепления откосов земляных сооружений. В основном применяются георешетки из полиэтилена, что предопределяет их погодоустойчивость и прочность. Армированный георешеткой слой основания имеет модуль упругости до 700 МПа, что при прочих равных условиях позволяет уменьшать толщину слоя. Это значительно снижает материалоемкость дорожной одежды в целом.

К недостаткам георешеток можно отнести малое сопротивление вертикальным нагрузкам (стенки ячеек заламываются при засыпке щебнем), что не позволяет инертному материалу заполнить весь объем, а это приводит к неудовлетворительной работе основания. Существенным недостатком является также и нетехнологичность георешеток, поскольку широко используется ручной труд.

Армирование оснований дорожной одежды при помощи геосеток является новой технологией, для которой необходимы геосетки со специфическими свойствами. Проведенные исследования дали возможность получить ряд результатов, позволяющих твердо заявить о перспективности данного мероприятия.

**Лабораторное исследование способов управления вибродиффузией.** С целью определения перспективности применения явления вибродиффузии для устройства оснований дорожных одежд был проведен ряд экспериментов по определению влияния применяемых армирующих элементов – геосеток на прочность слоя основания. На рычажном прессе по методу СБР был испытан слой основания из доломитового щебня фракции 10–20 мм, устроенный со следующими видами геосеток:

- стеклосеткой ССШ-160 с ячейками 5×5 мм, поверхностной плотностью 160 г/м<sup>2</sup> и предельным удлинением волокон до 5%;

- стеклосеткой ССЦ-115 с ячейками 10×10 мм, поверхностной плотностью 120 г/м<sup>2</sup> и предельным удлинением волокон до 5%;

- синтетической геосеткой с ячейками 35×35 мм, поверхностной плотностью 300 г/м<sup>2</sup> и предельным удлинением волокон до 10%.

Методика испытаний такова. В цилиндр на 1/3 высоты засыпался среднезернистый песок и вибрировался с пригрузом до достижения максимальной плотности. Затем на слой песка укладывалась геосетка, на которую в два слоя засыпался доломитовый щебень с вибрированием каждого слоя с пригрузом до достижения максимальной плотности. Полученная модель дорожного основания испытывалась по методу СБР с использованием штампа диаметром 70 мм (1/2 диаметра цилиндра), при этом определялся

модуль на поверхности устроенного основания. Модуль на поверхности песка  $E_0 = 120$  МПа [5].

Исследование лабораторных образцов показало как наличие частичного (не более 1/3 диаметра частиц) внедрения зерен щебня в нижележащий слой, так и проникание частиц песка в щебень, а управление данным процессом достижимо подбором геосеток с различным размером ячеек. Установлено, что при слишком малом размере ячеек создается преграда между щебнем и нижележащим песком, из-за чего явление вибродиффузии практически не происходит и модуль слоя не возрастает, а наоборот, снижается.

При использовании геосеток с различными размерами ячеек, которые соответствуют размеру зерен щебня или превышают его, установлено, что наилучший результат получен, когда размер ячеек геосеток соответствует размеру наименьшего зерна крупного заполнителя (основной фракции). При этом вследствие вибродиффузии происходит проникание частиц песка в слой щебня и его доуплотнение. Также происходит и повышение плотности песка за счет передачи щебнем воздействия от уплотняющей техники на нижележащий слой. Геосетки с ячейками больших, чем размер зерен щебня, размеров приводят к чрезмерному проникновению зерен щебня в нижележащий слой песка, что не дает требуемого эффекта.

Была определена зависимость между размером ячеек геосеток и крупностью заполнителя:

$$y = 0,96 \cdot d - 2,32,$$

где  $y$  – размер ячеек геосеток, мм;  $d$  – максимальная крупность минерального заполнителя, мм.

Достоверность аппроксимации данной зависимости составляет  $R^2 = 0,99$ , что свидетельствует о высокой точности результатов.

По представленной зависимости можно определить необходимый размер ячеек геосетки для использования с любой из применяемых для устройства дорожных оснований фракций щебня.

**Заключение.** В ходе лабораторных исследований было определено, что существует и доказано наличие явления вибродиффузии при производстве работ по уплотнению слоя щебненного основания дорожной одежды и подстилающего песчаного слоя.

Определено, что правильным подбором армирующих элементов можно управлять явлением вибродиффузии и достичь не менее 50% увеличения модуля упругости слоя основания, что позволяет в перспективе повысить общую несущую способность дорожной конструкции при снижении материалоемкости и энергоемкости строительства за счет уменьшения толщины слоя и затрат на его уплотнение.

### Литература

1. Малиновский, В. В. Исследование деформационной устойчивости дорожного асфальтобетона: автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.23.05 / В. В. Малиновский. – Харьков, 1979. – 22 с.
2. Бусел, А. В. Перспективы конструирования дорожных одежд с учетом увеличения транспортных нагрузок / А. В. Бусел, А. И. Смыковский // Государственно-частное партнерство и перспективы в странах СНГ: сб. трудов Междунар. науч.-практ. конф. – Москва; Бишкек, 2006. – С. 106–110.
3. Смыковский, А. И. Принципы применения и особенности технологии устройства оснований дорожных одежд городских улиц и дорог с использованием асфальтогранулята / А. И. Смыковский, С. И. Смыковский // Проблемы надежности дорожных одежд городских улиц и дорог: сб. трудов междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2005. – С. 176–184.
4. Саль, А. О. Повышение качества щебненных оснований: Дорожная техника 2002»: каталог-справ. – С-Пб.: Санкт-Петербургский филиал «СоюздорНИИ», 2002.
5. Проектирование дорожных одежд нежесткого типа: пособие 3.03.01-96 к СНиП 2.05.02-85 / Минстройархитектуры. – Минск, 1997. – 86 с.