

## К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА УСТРОЙСТВА КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ИЗ НЕСВЯЗНЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

The report is dealing with issues on increasing of quality of unbound stone road pavement construction are concerned with regard to design options and civil work administration methods as well as requirements to soil and aggregate compaction process.

В настоящее время в конструкциях дорожных одежд широко применяются слои из несвязных каменных материалов (щебня, ПГС, ЩПГС и т. д.). Наряду с преимуществами технологического характера (простота устройства конструктивного слоя, возможность использования традиционного парка дорожных машин и механизмов, работа в любое время года и др.) данные слои обладают при определенных условиях и достаточной несущей способностью, что позволяет применять их на дорогах высоких категорий. Так, например, практически на всем участке реконструкции Кольцевой автодороги вокруг г. Минска, сданном в 2002 году, применено щебеночное основание дорожной одежды с заклинкой мелкими фракциями щебня или асфальтогранулята (материала, получаемого в результате холодного фрезерования старого асфальтобетонного покрытия).

Методы проектирования земляного полотна и оснований дорожных одежд предполагают полное использование физико-механических свойств грунтов и несвязных каменных материалов при одновременной полной гарантии статичности сооружения, т. е. отсутствия в процессе эксплуатации дороги остаточных статических деформаций в земляном полотне и дорожной одежде от воздействия движущейся транспортной нагрузки.

Современные методы производства работ, как правило, основаны на интенсивном уплотнении слоев грунта насыпей и каменных материалов в конструктивных слоях дорожной одежды. Уплотнение грунта (материала) повышает его прочность на сдвиг, уменьшает водопоглощение и водопроницаемость и одновременно влияет на увеличение его несущей способности и жесткости.

Поэтому при строительстве дороги большое значение должно придаваться выбору проектных решений, процессу уплотнения грунтов и каменных материалов с целью достижения требуемой плотности и организации выполнения строительных работ.

По своей жесткости, модулю упругости, сдвигу и растяжению щебеночный слой основания занимает промежуточное положение между слоем основания из связного материала и песчаным подстилающим слоем. Наименьшая толщина щебеночного слоя при укладке на песок, исходя из требований по прочности, должна составлять не менее 15 см, наибольшая толщина с точки зрения уплотняемости слоя – 30 см [1].

Для уплотнения слоя щебня требуется, например, в 2 раза больше энергии, чем для уплотнения слоя такой же толщины из ПГС. Заклинка щебенки при уплотнении слоя приводит к увеличению модуля упругости. Следует отметить, что принятая технология заклинки щебеночного основания [1] не обеспечивает однородности слоя по высоте. Расклиненной оказывается только верхняя часть слоя, что во многих случаях не позволяет достичь расчетной прочности (модуля упругости) щебеночного основания. Поэтому многие исследователи в качестве недостатков щебеночного основания отмечают его дискретность по составу и недостаточную прочность по сдвигу в подстилающем грунте.

Однако этих недостатков можно избежать, повысив монолитность щебеночного слоя путем его заклинки по всей толщине. Для повышения качества работ целесообразно устраивать щебеночные основания из смесей подобранного зернового состава.

Количество расклинивающего материала (подбор состава смеси) должно определяться в лабораторных условиях путем виброуплотнения [2] образцов смесей, приготовленных при разном содержании материала основной фракции и расклинивающего материала. Искомое количество расклинивающего материала принимают для образца, плотность которого при уплотнении получилась наибольшей.

Смешение щебня с расклинивающим материалом может производиться в смесительной установке или на специальных притрассовых площадках. В первом случае приготовленную смесь доставляют к месту производства работ, распределяют по ширине основания и уплотняют. При смешении на площадке доставляют щебень и расклинивающий материал, смешивают их погрузчиком в пропорции, установленной при подборе состава смеси, и приготовленную смесь складывают в штабель с последующей вывозкой и укладкой в слой основания.

Применение в основаниях дорожных одежд щебеночной смеси, подобранной по гранулометрическому составу и уплотненной до требуемой плотности, является надежной альтернативой использованию в дорожных конструкциях материалов на основе битума и цемента.

Так как щебень является дробленным каменным материалом с малой окатанностью зерен и большим углом внутреннего трения, то уплотнить такой материал возможно пневмокатками с большой нагрузкой на колесо (3–5 т) или, что эффективнее, виброкатками. Принцип воздействия пневмокатки на материал состоит в развитии в последнем повышенных сдвигающих усилий. Вибрация создает в слое щебня так называемое «давление расширения», что придает материалу свойство «текучести», заключающееся во временной потере или уменьшении сцепления между частицами, что способствует переупаковке и взаимозаклинке частиц щебня и расклинивающего материала.

Для уменьшения трения между щебенками и ускорения процесса взаимозаклинивания укатку следует производить, поливая щебень водой. Отечественные нормы [1] регламентируют ориентировочный расход воды 15–25 л/м<sup>2</sup> при уплотнении основной фракции щебня и 10–12 л/м<sup>2</sup> при уплотнении слоя после распределения расклинивающего материала. Исследования по установлению влияния влаги на уплотняемость щебня, проведенные за рубежом [3], показывают, что оптимальное содержание влаги находится вблизи точки насыщения материала водой.

Плотность щебеночного слоя по глубине при уплотнении разными видами катков неодинакова. Исследованиями немецких ученых установлено [4], что при уплотнении виброкатками достигается меньшее уплотнение щебня у верхней и нижней поверхностей слоя, чем в его середине. Пневмокатки дают более однородное уплотнение по толщине слоя. Поэтому после воздействия на щебеночный слой вибрации обязательно должно производиться статическое уплотнение материала тяжелыми катками или технологическим транспортом с целью окончательного формирования структуры слоя.

Качество уплотнения каменных материалов в конструктивных слоях дорожной одежды оценивают по плотности в сухом состоянии  $\rho_{дсл}$  или остаточной пористости (пустотности)  $n_{сл}$  [5]. Полученные величины  $\rho_{дсл}$  или  $n_{сл}$  сравнивают с максимальной плотностью материала в сухом состоянии ( $\rho_{dmax}$ ), определенной методом вибрирования [2] или стандартного уплотнения [6], или с требуемой остаточной пористостью уплотненного слоя  $n_{тр}$ , которая для слоя основания, устроенного по способу заклинки из щебня трудноуплотняемого из изверженных пород марки 1000 и выше, не должна превышать 20% [5].

Что касается организации строительных работ, то на сегодняшний день работы по возведению земляного полотна и устройству конструктивных слоев дорожной одежды производятся раздельно. Раздельно составляется и проектно-сметная документация на земляные работы и работы по устройству дорожной одежды.



Эти работы могут выполняться разными дорожно-строительными организациями (подразделениями). При этом временной разрыв между окончанием работ по сооружению земляного полотна и началом устройства слоев основания дорожной одежды не регламентируется. Строительные нормы [1] предусматривают проводить работы по устройству слоев основания дорожной одежды на готовом и принятом в установленном порядке непереувлажненном и недеформированном земляном полотне.

Однако многолетний опыт наблюдений за строительством дорог в республике показывает, что такое искусственное деление дорожно-строительных работ отрицательно сказывается на качестве их выполнения по следующим причинам.

Во-первых, верхняя часть земляного полотна, как правило, возводится из дренирующего песчаного грунта с содержанием пылевидных и глинистых частиц (мельче 0,05 мм) до 15% [7]. В сухую жаркую погоду такой грунт легко отдает влагу и теряет связность. Поэтому осушенный песчаный грунт обладает малой связностью и недостаточной несущей способностью. При завозе материала для устройства слоя основания (технологического слоя) или временном проезде технологического транспорта по верхнему слою земляного полотна или дренирующему слою возникают трудности с обеспечением устойчивости песка под воздействием колесной нагрузки. Проезд по таким слоям технологического транспорта сопровождается образованием колеи, которая после выгрузки каменного материала не может быть ликвидирована любым другим путем, как только засыпкой ее каменным материалом при планировке. Так как выдавленный из колеи песок возвышается над проектной отметкой верхнего слоя земляного полотна или дренирующего слоя, то при планировке каменного материала получается неравномерная его толщина в слое основания, что влечет за собой неравномерность его прочностных характеристик по площади.

Во-вторых, при уплотнении каменного материала (особенно вибрационном), уложенного на песчаный малосвязный грунт, происходит взаимопроникновение зерен щебня и песка и частиц песка в нижнюю часть щебеночного слоя, что также снижает его жесткость. Например, на одном из участков Кольцевой автодороги, где уплотнение щебеночного основания производилось тяжелым вибрационным катком, в нижней части слоя (общей толщиной 28 см) на 8–10 см наблюдалось присутствие в порах щебня песчаных частиц.

Для предотвращения вышеназванных негативных явлений и повышения устойчивости дорожной конструкции в целом на границе контакта «песчаный грунт – щебеночное основание» должен в обязательном порядке устраиваться технологический слой из песчано-гравийной (щебеночно-гравийно-песчаной) смеси толщиной 10–15 см или может быть уложена разделяющая прослойка из геотекстильного полотна [8] (рис. 1).

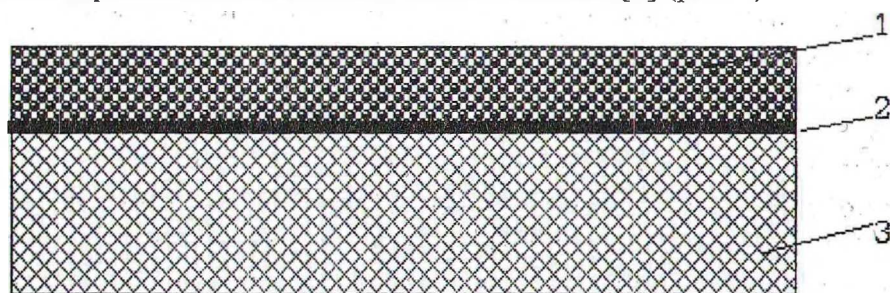


Рис. 1. Дорожная конструкция с прослойкой из геотекстиля:  
1 – зернистый заполнитель; 2 – геотекстиль; 3 – грунт

За последние годы за рубежом применение геотекстиля в качестве разделяющей прослойки явилось одним из наиболее распространенных методов улучшения свойств подстилающих грунтов и конструктивных слоев дорожной одежды из несвязных каменных материалов. Использование прослоек позволяет включить непрерывный и обладающий высо-

кой прочностью при растяжении геотекстильный материал в среду, которая не имеет этих свойств.

Геотекстильное полотно в таком случае выполняет роль мембраны, препятствующей взаимному перемешиванию слоев, а также армирующей прослойки, воспринимающей растягивающие напряжения и уменьшающей деформации колееобразования. При этом благоприятно изменяется и напряженно-деформированное состояние конструкции в непосредственной близости от прослойки.

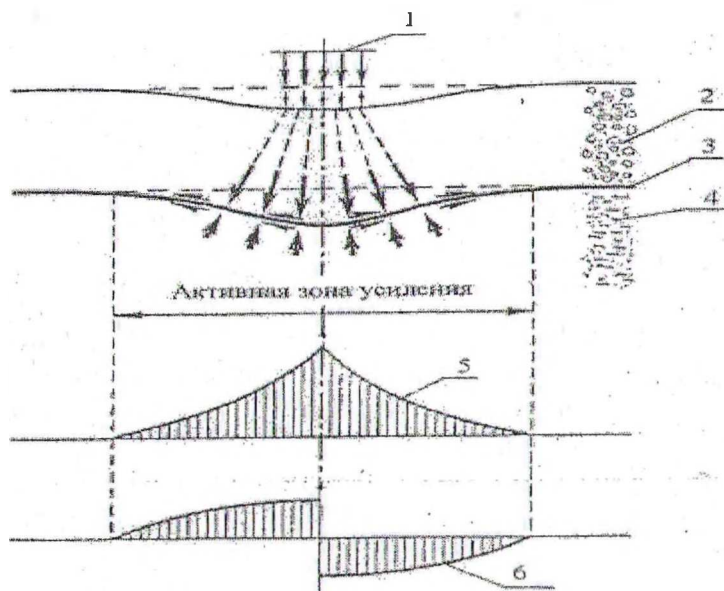


Рис. 2. Механизм усиления двухслойной дорожной конструкции и распределение усилий в мембране:  
 1 – колесная нагрузка; 2 – щебеночное основание; 3 – геотекстильная прослойка;  
 4 – песчаный подстилающий слой; 5 – эпюра усилий растяжения в геотекстильной прослойке;  
 6 – эпюра сил трения на границе раздела

Рассмотрим механизм усиления двухслойной конструкции «основание – песчаный подстилающий слой», когда к поверхности щебеночного основания прикладывается сосредоточенная нагрузка в виде колеса автомобиля. Последняя передается на глубину посредством сил, которые возникают в местах контактов между зернами. Это явление, которое может быть понято интуитивно как процесс рассеяния и ослабления нагрузки по глубине, представляет самое главное из того, что называется рассеянием напряжений в зернистой среде. При отсутствии прослойки геотекстиля вертикальные напряжения, рассеянные до границы раздела, передавались бы полностью на подстилающий грунт.

В усиленной системе напряжения, рассеянные до границы раздела, действуют как распределенная, но не равномерная нагрузка на верхнюю поверхность геотекстильного полотна, которое натягивается как мембрана, опирающаяся на нижний песчаный слой и участвующая во внутреннем равновесии массива (рис. 2). В области, расположенной под нагрузкой, вертикальные напряжения, передаваемые подстилающему грунту, ослабляются эффектом натяжения геотекстиля, реакция от которого действует кверху. Таким образом, прогиб границы раздела уменьшается. Напротив, в зонах, наиболее удаленных от оси нагрузки, кривизна геотекстильной мембраны направлена книзу, и подстилающий грунт в этой зоне является несколько более нагруженным, чем при отсутствии усиления. Этот механизм равносителен в основном дополнительному рассеянию напряжений, которые возникли бы локально на уровне геотекстиля.

Распределение вертикальных напряжений по обе стороны от границы раздела (прослойки) рассмотрим на следующем примере (рис. 3).



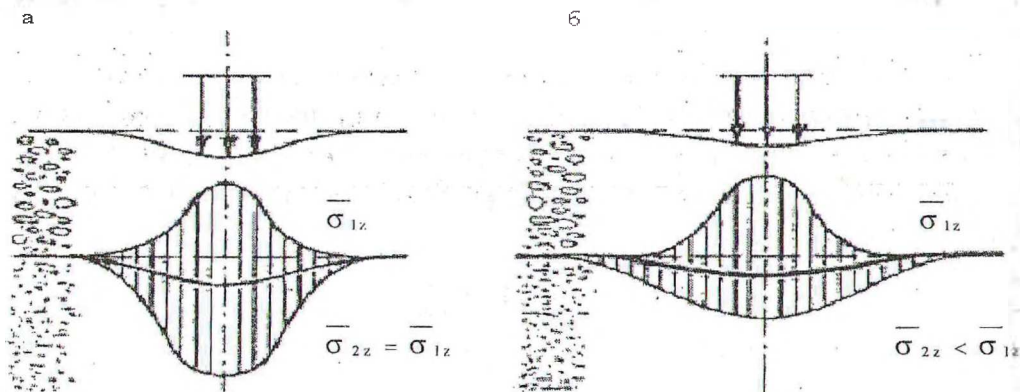


Рис. 3. Распределение вертикальных напряжений на границе раздела «щебеночное основание – песчаный подстилающий слой» без усиления (а) и при наличии мембраны (б)

Обозначим через  $\sigma_{1z \max}$  и  $\sigma_{2z \max}$  максимальные значения напряжений (в направлении нагрузки) сверху и снизу границы раздела материалов основания и подстилающего слоя. Частное от деления  $\sigma_{2z \max} / \sigma_{1z \max} = K$  будет показывать эффективность усиления дорожной конструкции, а  $(1-K) \cdot 100\%$  – относительное уменьшение напряжения в подстилающем слое в результате действия геотекстиля или теоретическое увеличение толщины щебеночного основания для получения эквивалентного нагружения подстилающего слоя без применения геотекстильной прослойки.

Если геотекстильная прослойка уложена на подстилающий слой свободно (без дополнительного крепления), то ее равновесие в горизонтальном направлении может обеспечиваться только вследствие трения, которое возникает между ею и основанием. Эти напряжения в тангенциальном направлении к полотну увеличиваются, если растяжение полотна имеет склонность к сдвигу его по отношению к контактирующим слоям.

Напряжение и трение не остаются постоянными вдоль мембраны. Они постепенно уменьшаются при удалении от оси нагружения и одновременно превращаются в нуль на расстоянии, которым ограничивается в плане активная зона усиления. За этой границей геотекстиль более не подвергается никакому усилию и не деформируется под действием прилагаемой нагрузки. Стабильное положение прослойки в результате сил трения будет наблюдаться в том случае, если она будет иметь достаточный размер, превышающий величину активной зоны действия напряжений (см. рис. 2).

В связи с вышесказанным можно сформулировать основные условия, выполнение которых обеспечит рациональное применение геотекстильного полотна в качестве армирующей прослойки:

- геотекстиль может укладываться и, следовательно, оказывать положительное влияние только в том случае, если подстилающий грунт может деформироваться;
- прочность геотекстиля при растяжении должна быть достаточной;
- геотекстильная прослойка должна перекрывать всю активную зону действия нагрузки;
- трение между грунтом и геотекстилем должно обеспечивать внутреннее равновесие системы.

При невыполнении названных условий можно предположить два вида разрушения системы – разрыв мембраны при растяжении или скольжение геотекстиля на границе раздела вследствие недостаточной длины.

Поэтому при нормальной работе мембрана подвергается вертикальным напряжениям, которые передаются верхним слоем, и нагрузкам, представляющим реакцию подстилающего грунта. Кроме того, она испытывает влияние напряжений растяжения и сил трения. При отсутствии сил трения напряжение растяжения в мембране будет незначительным и постоянным. В этом случае горизонтальное равновесие мембраны не обеспечивает

ся без ее искусственной анкеровки. При обеспечении сцепления мембраны с верхним и нижним слоями мы получим максимальное напряжение в прослойке по оси нагрузки, которое быстро убывает и обращается в нуль за пределами активной зоны (см. рис. 2). При этом нагрузка на подстилающий слой уменьшается и, как следствие, уменьшается прогиб основания (см. рис. 3).

Таким образом, применение геотекстильной прослойки на границе раздела «щебеночное основание – подстилающий грунт» позволяет, во-первых, предотвратить взаимопроникновение частиц песка в слой основания и зерен щебня в песок и, во-вторых, механически усилить систему за счет включения непрерывного и прочного при растяжении элемента в среду, которая этими свойствами практически не обладала, что позволяет снизить толщину щебеночного слоя при обеспечении равнопрочности дорожной конструкции.

#### Выводы

1. Для сохранения физико-механических свойств грунта верхнего слоя земляного полотна (дренирующего слоя), достигнутых уплотнением его при оптимальной или близкой к ней влажности, необходимо по уплотненному слою

2. сразу же (без временного перерыва) укладывать технологический слой из песчано-гравийной (щебеночно-гравийно-песчаной) смеси или нижний слой основания дорожной одежды из несвязного каменного материала. При этом уложенный слой должен быть уплотнен и спланирован под проектный профиль и по нему может быть открыто движение построечного транспорта.

3. В случае наличия временного интервала между окончанием работ по возведению земляного полотна и началом устройства дорожной одежды необходимо перед укладкой слоя основания произвести увлажнение и повторное уплотнение верхнего слоя земляного полотна.

4. С целью повышения монолитности щебеночный слой основания должен быть заключен мелкими фракциями щебня или асфальтогранулята по всей толщине или устроен из смеси подобранного зернового состава.

5. Для предотвращения взаимопроникновения зерен щебня в песчаный подстилающий слой и частиц песка в нижнюю часть щебеночного слоя и повышения устойчивости дорожной конструкции в целом на границе контакта «щебеночное основание – песчаный слой» целесообразно укладывать разделяющую прослойку из геотекстильного полотна.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 3.06.03-85. Автомобильные дороги / Госстрой СССР. – М., 1986. – 112 с.
2. Штабинский В.В. К вопросу определения максимальной плотности гравийных и щебеночных материалов // Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и мостов. Ч. I, II. 40 лет БелдорНИИ. Юбилейный выпуск. – Мн., 2002. – С. 204 – 214.
3. Compatibility of crushed stone base course material / van der Merwe C. J., Semmelink C. J., Marais C. P. // Civ. Eng. S. Afr. – 1989, 31, №7. – С. 221 (англ.).
4. Gerlach A. Eigenschaften, Bemessung und Einsatzbereiche von Schottertragschichten im Straßenbau. «Naturstein - Ind.», 1975, № 1 – 2, 24 – 27 (нем.).
5. РД 0219.1.24-2002. Руководство по контролю качества уплотнения гравийных и щебеночных материалов в конструктивных слоях дорожной одежды / Департамент «Белшвтодор» Минтранса РБ. – Мн., 2002. – 30 с.
6. ГОСТ 22733-77. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. – М., 1986. – 10 с.
7. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги / Госстрой СССР. – М., 1986. – 56 с.
8. СТБ 1104-98. Полотно иглопробивное геотекстильное для транспортного строительства. Технические условия. – Мн., 1998. – 16 с.