

## **Применение геосинтетических материалов для усиления конструкций аэродромных одежд**

Эффективным способом повышения механических свойств конструкции аэродромных одежд является использование геосинтетических материалов: геосеток, георешёток, объёмных георешёток и геоткани. Эти материалы имеют очевидное структурное различие, предопределяющее различные механизмы работы, и их эффективность в различных слоях.

Принципиальным различием является момент включения прослойки в работу, так, георешётки и геосетки, имеющие решётчатую структуру, при сопоставимом размере ячеек и минеральных зерен начинают работать сразу. Решётчатые геоматериалы обладают эффектом блокировки (псевдосцепление): минеральные зерна, частично попадая в ячейки, заклиниваются и тем самым блокируют горизонтальные перемещения в слое порядком 10-15см над решёткой, тем самым образуя подобие гибкой плиты способной воспринимать изгибающие нагрузки, это необходимо для компенсации эффекта дилатансии. [7]

Рассмотрим щебень, как зернистую среду, состоящую из абсолютно твёрдых частиц, при этом можно утверждать, что при фиксированном положении окружающих частиц расположение каждой внутренней частицы является определённым. Следственно при изменении своего положение внутреннее зерно не может не вызвать «возмущения» во всём слое (приводящее к уплотнению уменьшая объём или разуплотнению увеличивая объём). В дорожных одеждах, наиболее часто, слабосвязные зернистые материалы укладывают в промежуточный слой одежды и сверху перекрываются монолитными слоями. В этих условиях эффект дилатансии особенно сильно сказывается на напряжённо-деформированном состоянии зернистого материала, поскольку увеличивающийся в объёме материал в процессе сдвига должен преодолеть не только вес всех вышележащих слоёв и их сопротивление изгибу, но и сопротивление растяжению в геосетке. Материал, будучи

не в состоянии преодолеть эти напряжения, самонапрягается становясь более жёстким, что повышает эксплуатационные характеристики дорожной одежды [10].

Объёмная георешётка имеет иной принцип работы, зерна материала не способны расклиниться в ячейках, она в первую очередь увеличивает сдвигоустойчивость слоя. Изучая различные исследования, можно столкнуться с противоречиями, по увеличению модуля упругости такого композита. Результаты разнятся от нескольких единиц кН до нескольких сотен кН, в сторону увеличения. Лабораторные испытания показывают, что песок в композите с объёмной георешёткой действительно увеличивает свой модуль упругости, а щебень наоборот теряет несколько единиц. Такой результат вполне объясним тем, что зацепление крупного обломочного материала гораздо лучше при контакте «частица-частица» нежели «частица-лента». Песок, имея большее число контактов, из-за своего размера, с текстурированной полимерной лентой геоматериала показывает лучшие результаты, чем щебень. Следует отметить, что для того чтобы обеспечить эффективность работы объёмной георешетки необходимо качественно произвести работы по уплотнению материала в ячейках, по тому что сам принцип работы материала построен на фиксации заполнителя в ячейке.

При выборе геоматериала для армирования монолитных слоёв в первую очередь необходимо руководствоваться сырьем, из которого он произведен. Есть четыре основных сырья используемых в производстве: полипропилен (PP), полиэфир (PET), стекловолокно (базальтоволокно), поливинилалкоголь (PVA).

Наиболее важные характеристики при выборе материала:

- усилие, вызывающие удлинение 2% (напряженно-деформированное состояние);
- ползучесть материала;
- температура плавления;
- геометрия ячейки;
- повреждаемость.

Одной из наиболее значимых характеристик многие проектировщики считают удлинение при разрыве. Такой подход нельзя считать корректным, поскольку

удлинение при разрыве относится к предельному состоянию, в котором геоматериал уже не функционирует или выполняет свои функции с существенным снижением работоспособности и качества. Очевидно, что для нелинейной зависимости «нагрузка-удлинение», свойственной полимерам, работа материала в стадии близкой к порогу текучести недопустима.

Учет армирующих прослоек при определении устойчивости заключается в проверке не превышения длительной прочности, а при расчете дорожных одежд используют условный показатель деформативности представляющий собой отношение усилия в образце к относительному удлинению (как правило, при 2% и 5%) (ОДМ 218.5.002-2008). Таким образом, правомерным будет сравнение разных армирующих прослоек по их удлинению при расчетном усилии, а не при разрыве.

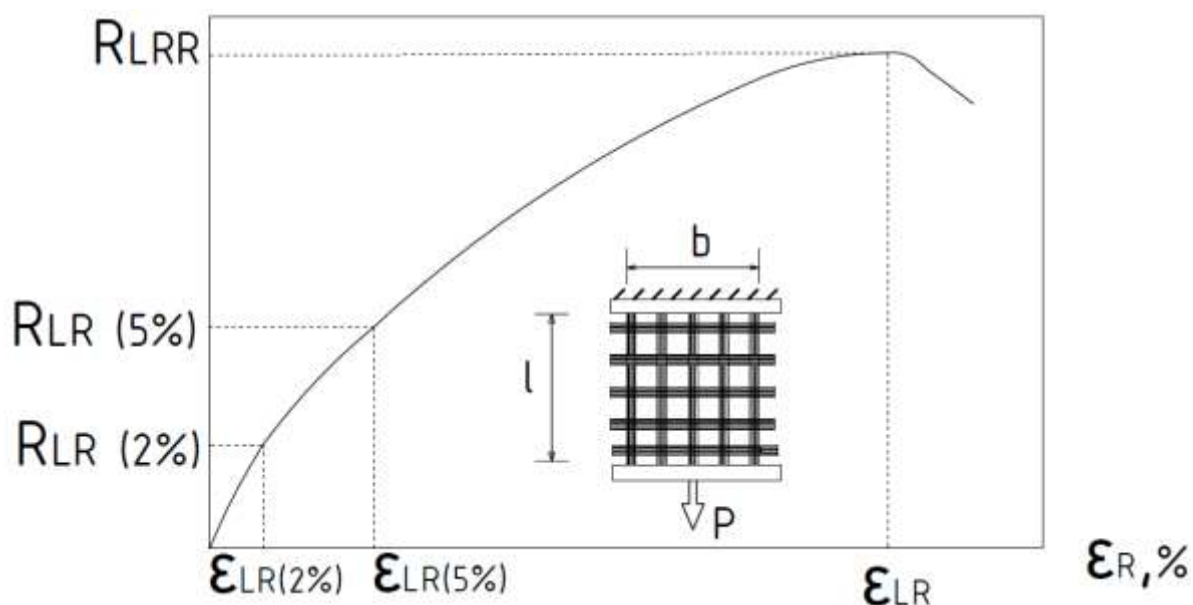


Рис. 1 Схема испытания для определения условного показателя деформативности  $E'R$

Такие материалы как стеклосетки и базальтовые сетки характеризуются низким удлинением, однако высокую жесткость армирующей прослойки нельзя считать хорошим свойством для армирования монолитных слоёв так, как асфальтобетон весьма пластичен, что не позволяет говорить о хорошей совместной работе этих материалов. Полиэфир, полипропилен и поливинилалкоголь (PVA) не имеют подобного недостатка, деформативность сеток из данного сырья является наиболее подходящей для армирования асфальтобетона.

Наиболее хорошо себя зарекомендовал материал из поливинилакклоголя (PVA, ранее поливинилспирт), такое волокно характеризуется высокими показателями прочности и удлинения. В мокром состоянии прочность волокна снижается на 10 - 15%, а удлинение повышается на 5 - 8%. Волокно обладает высокой устойчивостью к истиранию, уступая по этому показателю лишь полиамидным и полиэфирным волокнам.

Однако цена его очень высока из-за малого числа поставщиков; зарубежного производства; необходимости добавления присадок, благодаря которым волокна не растворяются в воде; малой конкуренции и новизны на рынке.

Опыт показывает, что при одинаковой прочности на разрыв геосетки из PET и PVA отличаются, только деформативностью и ценой: первые имеют большее удлинение, вторые стоят дороже. Но общеизвестно, что с повышением прочности деформативность снижается, значит, геосетки с большей прочностью из полиэфира, в диапазоне допустимых деформаций, могут быть сопоставимы по значениям действующих напряжений растяжения с геосетками из поливинилакклоголя, оставаясь дешевле [12].

Анализ поведения геосинтетических материалов из различного сырья при действии растягивающих усилий показывает, что полиэфирные геоматериалы (PET) характеризуются наименьшей ползучестью (удлинением во времени без увеличения нагрузки). В то время как материалы из полиэтилена (PE) и полипропилена (PP) являются ползучими, причем тем больше, чем больше нагрузка.

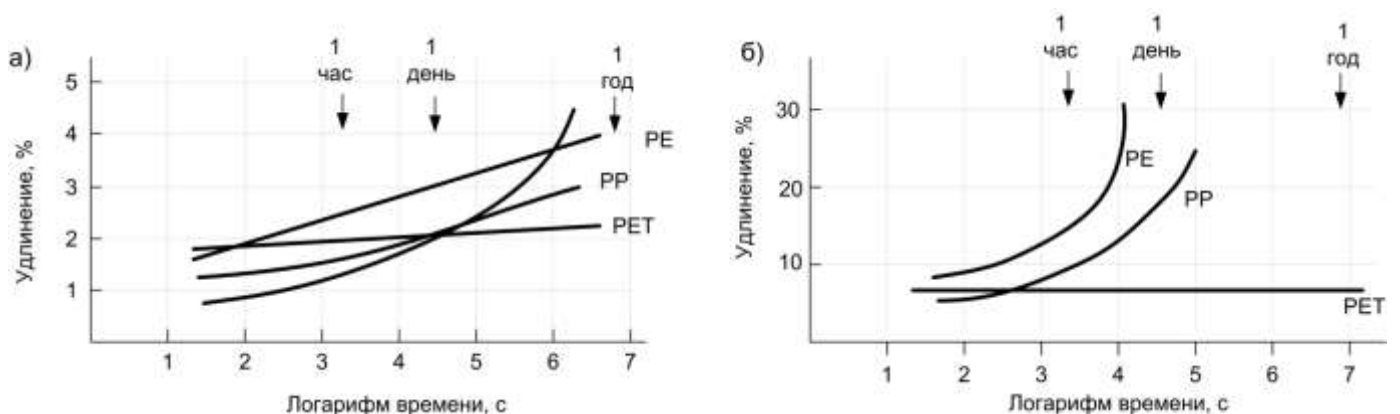


Рис. 2 Зависимость нагрузки-удлинения для различных видов сырья

Например, в нормативных документах для автодорожного строительства (ОДМ 218.5.003-2010 «Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог») рекомендуется использовать в конструкциях армирования материалы из полиэфира (PET) и не рекомендует использовать материалы из полипропилена (PP) при длительных высоких нагрузках, которые характерны для стоянки большегрузных автомобилей. [9]

Исходя из мирового и отечественного опыта армирования асфальтобетонных покрытий, применение полипропиленовых материалов имеет ряд недостатков. Наиболее существенным является близость температуры плавления полипропилена (165 градусов) к температуре асфальтобетонной смеси. Безусловно, при укладке температура асфальтобетонной смеси не достигает 165° и материал не будет плавиться, однако такое воздействие будет приводить к температурным деформациям материала: перекосам и последующим замятием асфальтоукладчиком.



Рис. 3 Образование волны на георешётке из полипропилена при укладке асфальтобетона

Остальные виды сырья имеют высокую температуру плавления и при укладке асфальтобетонной смеси материал не претерпевают деформаций от нагрева [11].

Недавно на рынке появился новый материал с треугольными (гексагональными) ячейками георешётки (мультиориентированный), производители

которого заявляют, что данная особенность позволяет лучше распределять нагрузку. Действительно ли существует разница между квадратной и треугольной ячейками?

В настоящее время расчеты зернистых сред армированных геосинтетическими материалами (дорожные одежды и аналогичные им конструкции) осуществляется на основе ОДН 218.046-01 с учетом ОДМ 218.5.003-2010 и ОДМ 218.5.002-2008 путем проверки допускаемого упругого прогиба и сдвигоустойчивости. При расчете по допускаемому прогибу ОДН 218.046-01 не регламентирует применение геосинтетических прослоек, для учета их наличия необходимо обратиться к ОДМ 218.5.002-2008, который позволяет определить коэффициент армирования для расчетного общего модуля упругости неармированной конструкции (определяется по ОДН 218.046-01). В этом документе такие материалы как мультиориентированные и двухосноориентированные георешетки не разделяются.

При расчете сдвигоустойчивости в ОДН 218.046-01 учет геосинтетических прослоек осуществляется применением коэффициента  $k_d$ , который зависит только от вида грунта армированного слоя и не зависит от типа применяемого геосинтетического материала. Таким образом, нормативно-методические документы не отличают георешетки двухосноориентированные от мультиориентированных. В принятых методиках расчета участвует только осевая жесткость, а геометрические параметры учитываются косвенно.[8]

За рубежом приняты стандарты испытаний геосинтетических материалов, методика испытаний которых заключается в мультиосевом растяжении образца, тем самым имитируя прогиб дорожной одежды от воздействия колёсной нагрузки, что более реально по сравнению с общепринятыми испытаниями на разрывной машине. Нагружение образца, закрепленного в кольце, осуществляется с помощью давления воды на мембрану (рис. 4).



Рис. 4 Испытание на мультиосевое растяжение

Важным результатом проведенных таким образом экспериментов стал тот факт, что никакой разницы между квадратными и треугольными ячейками нет. Отличие материалов из полипропилена зависит, прежде всего, от его плотности.

Что касается расположения геосинтетических прослоек, то можно дать общие рекомендации. Нетканый геотекстиль (типа «Дорнит») преимущественно укладывают на грунтовой основание в качестве разделителя и капилляропрерывателя. Здесь стоит отметить, что применение других видов сплошных материалов, например, тканых геотекстилей из полипропилена или других полотен с высокой прочностью не будет иметь никакого эффекта кроме как разделение, что связано с началом включения в работу такого рода прослоек после реализации определенной деформации, что в аэродромных конструкциях недопустимо. Геосетки и георешётки эффективней всего работают на разделе двух слоёв: песка и щебня. Поскольку расклинка частиц происходит лучше, если нижний слой более податливый и частичка щебня может частично погрузиться в нижележащий слой.

Поскольку в технической документации по аэродромному строительству отсутствуют методики расчета с геосинтетическими материалами, можно рассматривать родственные автодорожные источники. В дорожной практике расчет конструкции с применением геосинтетических материалов производится по методике ОДМ 218.5.002-2008 «Методические рекомендации по применению полимерных геосеток (георешеток) для усиления слоев дорожных одежд из зернистых материалов» и основывается на условном показателе деформативности  $E'_R$ , который определяется отношением растягивающего усилия  $R_R$  к относительному удлинению

$\epsilon_R$ . Часто при выборе геосеток для армирования дорожной одежды, проектировщики сравнивают геоматериалы по разрывной прочности, не учитывая при этом вид сырья. Это не корректно, поскольку геоматериалы из разного сырья, при одинаковой прочности на разрыв, имеют отличающиеся значения условного показателя деформативности, который положен в основу расчетов. К примеру, георешетка из полипропилена (PP), с прочностью на разрыв 30 кН/м, имеет показатель деформативности  $E'R=525$  кН/м, а полиэфирная сетка, с близким значением  $E'_R$  должна обладать прочностью не менее 50 кН/м.

Расчёт армированных монолитных слоёв аэродромных покрытий можно выполнять по методике ОДМ 218.5.001-2009 «Методические рекомендации по применению геосеток и плоских георешеток для армирования асфальтовых слоев усовершенствованных видов покрытий при капитальном ремонте и ремонте автомобильных дорог». Данный документ говорит об изменении коэффициента  $k_1$ , учитывающего изменение прочности вследствие усталостных явлений при многократном приложении нагрузки и, как следствие, об увеличении срока службы аэродромной одежды.

### **Заключение**

Представление о применении того или иного геосинтетического материала должно базироваться в первую очередь на его практической пользе, а не на основании наличия так называемых «типовых решений», призванных упростить работу проектировщика. Расчёт той или иной конструкции процесс трудоёмкий и требующий определённой ответственности.

К большому сожалению, отсутствие общепринятой и утвержденной литературы по применению, неразвитость нормативно-технического обеспечения не позволяет проектировщикам объективно оценивать особенности применения геосинтетических материалов.

### **Список литературы**

1. СП 121.13330.2012 Свод правил. Аэродромы.
2. СП 34.13330.2010. Автомобильные дороги. М., 2010.
3. СП 78.13330.2011. Автомобильные дороги. М., 2011.



4. ОДМ 218.5.002-2008 «Методические рекомендации по применению полимерных геосеток (георешеток) для усиления слоев дорожной одежды из зернистых материалов».
5. ОДМ 218.5.003-2010 «Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог».
6. Федоренко Е.В. Влияние плоских георешеток на сдвигоустойчивость дорожных одежд. Красная линия №58 февраль 2012 с. 78-81.
7. ОДМ 218.3.032-2013 «Методические рекомендации по усилению конструктивных элементов автомобильных дорог пространственными георешетками (геосотами)»
8. Обоснование выбора геосинтетических материалов. СПб.: МИАКОМ 2013
9. Рекомендации по применению геосинтетических материалов в конструкциях промышленных дорог. СПб.: МИАКОМ, 2013.
10. Радовский Б.С. и др. Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей- 1989
11. Отчёт о научно-исследовательской работе «Испытание образцов асфальтобетона армированного геосинтетическими материалами и исходного асфальтобетона» ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина», ГК «МИАКОМ».
12. Вторушин В.Н., Федоренко Е.В. Геосинтетические материалы в аэродромном строительстве. AIRPORTS International Выпуск №6 (53), 2013 г.