

## ОБЗОР ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА АРМИРОВАНИЕ БАЛЛАСТНОЙ ПРИЗМЫ

### **Введение**

В конструкции железнодорожного пути балластная призма является наиболее важным элементом. Балласт воспринимает через рельсошпальную решетку вертикальные поездные нагрузки и распределяет их на нижнее строение пути – земляное полотно. В результате циклического приложения динамических нагрузок, природно-климатических факторов, влияющих на температурно-влажностной режим, в балластном слое возникают и накапливаются деформации, вызванные не только вертикальными напряжениями, но и горизонтальными. При этом балласт представляет собой сыпучий материал, не обладающий способностью сопротивляться растяжению и имеющий ограниченные величины сопротивления сдвигу твердых частиц друг относительно друга [1]. Поскольку частицы щебня не обладают правильной геометрической формой и не имеют бесконечной прочности, их трение друг о друга в местах контакта приводит к частичному разрушению, т.е. происходит процесс истирания частиц и загрязнения балластного слоя. Очевидно, что чем больше происходит локальных разрушений частиц, тем быстрее происходит процесс осадки и уменьшается сопротивляемость сдвигу, приводящие к изменению ровности пути.

По результатам исследований, выполненных Техническим университетом Граца (Австрия), с загрязненным, очищенным, новым щебнем и окатанным гравием [2], можно сделать вывод – характеристика сопротивления сдвигу загрязненного щебня такая же, как у окатанного гравия. Очищенный щебень обладает значительно большей сопротивляемостью сдвигу, однако в результате округления граней частиц этот показатель несколько ниже, чем у нового щебня. Из полученных данных следует, что чем больше количество загрязнителей в балласте, тем ниже сопротивляемость сдвигу. Еще одной причиной загрязнения является проникновение грунта земляного полотна в балластный слой, что также приводит к снижению сопротивляемости сдвигу. Исключение или уменьшение взаимного перемещения частиц щебня в местах контакта друг относительно друга позволит уменьшить загрязнение балласта, увеличить межремонтный период и сократить эксплуатационные затраты.

Наиболее эффективным и распространенным способом решения данной проблемы является армирование балластной призмы геосинтетическими материалами, положительно зарекомендовавшими себя в области транспортного строительства.

### **Основная часть**

На сегодняшний день представлено большое количество эффективных инженерных решений по армированию балластной призмы различными геосинтетическими материалами [3,4,5].

Большой вклад в теорию армирования зернистых сред внесли специалисты автодорожной отрасли. В своей работе В.Ю. Гладков [6] исследовал влияние геосинтетических материалов на напряженно-деформированное состояние зернистых сред. Им были испытаны конструкции с капитальным типом покрытия циклическим приложением нагрузки через штамп диаметром 20см, в режиме 35 нагружений в минуту, при максимальной нагрузке на штамп 0,5 МПа. На рисунке 1 представлены результаты экспериментальной работы по изменению сдвигающих напряжений в армированной и неармированной конструкции дорожных одежд капитального типа относительно допустимой величины сдвигающих напряжений в грунте.

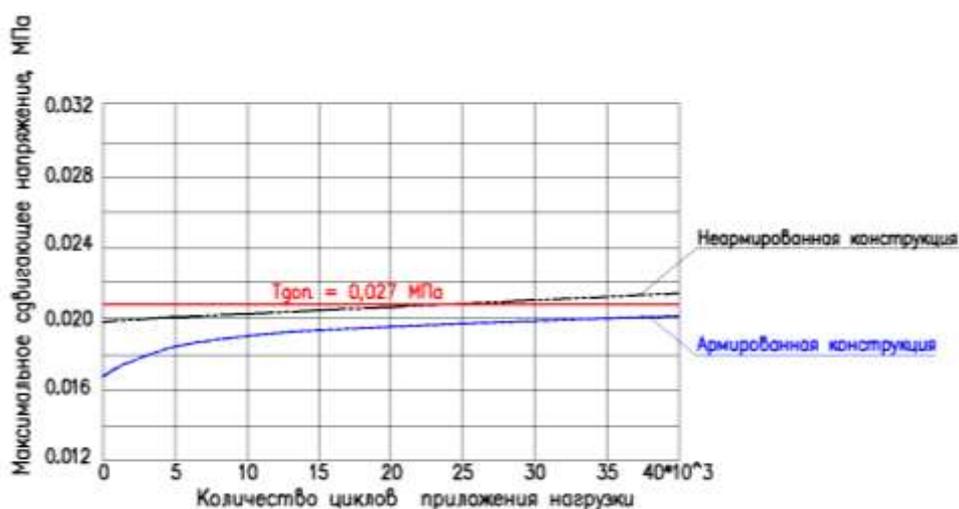


Рисунок 1 – Зависимость изменения максимальных сдвигающих напряжений в подстилающем грунте конструкции от количества циклов приложения нагрузки

По результатам проделанной работы установлено:

- армирование геосинтетическими материалами дисперсных сред, повышая прочность конструкции по сдвигу в грунте, при многократном приложении нагрузки увеличивает ее долговечность;

- армирующий эффект сетки проявляется в ее способности воспринимать касательные напряжения в плоскости контакта зернистого материала с подстилающим грунтом, изменяя тем самым напряженное состояние в грунте.

В 2002 году Санкт-Петербургским университетом путей сообщения были выполнены исследования по определению эффективности применения различных видов геосинтетических материалов при усилении балластного слоя путем проведения штамповых испытаний на полевом стенде. Сравнимые варианты представлены балластным слоем без армирования и с армированием. В качестве материалов для армирования применялись экструзионные и объемные георешетки, а также силовые ткани. По результатам выполненных испытаний был сделан вывод, что применение

геосинтетических материалов приводит к снижению величины вертикальных деформаций. Наиболее технологичными и эффективными для армирования балластного слоя оказались двухосные георешетки, уложенные в два слоя через 10см.

В данной работе вертикальные деформации были определены осадкой штампа, но не было проанализировано влияние геосинтетических материалов на изменение горизонтальных напряжений и поэтому полученные данные недостаточны для утверждения об эффективности применения геосинтетических материалов для армирования.

Не менее важной характеристикой армирующего материала является его осевая жесткость, т.е. усилие вызывающее удлинение 2%. На рынке появляются новые геосинтетические материалы с различной ориентацией и размером ячеек, необходимые расчетные характеристики которых, содержатся в ограниченном количестве на интернет ресурсах компаний производителей [7]. На рисунке 2 (слева) представлена круговая диаграмма жесткости материала с треугольными ячейками, по которому, ввиду отсутствия цифр трудно сделать однозначный вывод о преимуществе мультиориентированной георешетки.

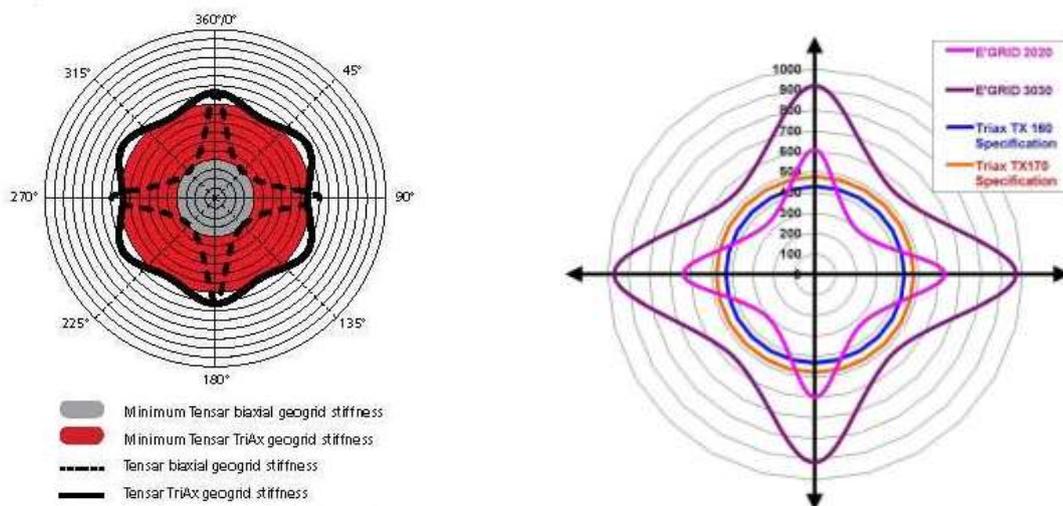


Рисунок 2 – Круговые диаграммы жесткости мульти- и двуосноориентированных георешеток. Слева – компания производитель; справа – повторный эксперимент

Для того чтобы разобраться в этом вопросе можно обратиться к исследовательской работе [8], результатом которой стала иная круговая диаграмма, представленная на рисунке 2 справа. Оказалось, прочность даже при диагональном растяжении у двуосноориентированных георешеток может быть выше, чем у мультиориентированных.

В 2010 году специалистами Инженерного факультета Университета Вуллонгонг (Австралия) была выполнена серия экспериментальных исследований деформационных характеристик балластной призмы, усиленной геосинтетическими материалами [9].

Испытания проводились с циклическим приложением нагрузки к смоделированному железнодорожному пути в приборе истинного трехосного сжатия (рис. 3). Измерялись вертикальные и горизонтальные деформации балласта, армированного различными типами геосинтетических материалов и сравнивались с результатами испытания неармированного балласта (рис. 4).

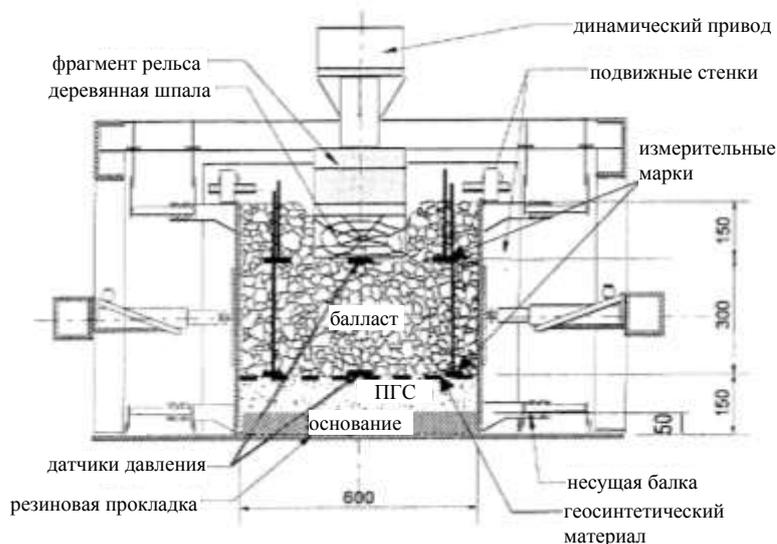


Рисунок 3 – Схема трехосной камеры циклического нагружения (Инженерный факультет Университета Вуллонгонг)



Рисунок 4 – Развитие осадок балластного слоя с применением геосинтетических материалов и без них [9]

Измеренные относительные боковые деформации ( $\epsilon_2$ ,  $\epsilon_3$ ) наблюдались в меньшей степени у балластного слоя армированного геокомпозитом, представленным нетканым иглопробивным геотекстилем, упроченным высокомодульными полиэфирными нитями с низким удлинением. В данном эксперименте была проделана большая работа по моделированию испытаний, приближённых к реальным условиям. Были получены данные достаточно точно описывающие поведение армированного и неармированного балласта при приложении циклической нагрузки, а также установлено влияние армирующих прослоек на уменьшение истираемости частиц балласта.

Сегодня появляются все большие возможности для проведения различных исследовательских работ при помощи компьютерного моделирования, в том числе с дискретными средами. Существенное отличие теории зернистых сред от теории упругости в том, что во второй не учитывается в полной мере дискретная природа сыпучего материала [11]. Напряжения и деформации зависят от структуры дискретной среды, которая не учитывается традиционными уравнениями континуальных сред.

Специалисты Университета штата Иллинойс (Эрбана, США) выполнили ряд экспериментов на сдвигоустойчивость зернистого грунта армированного георешетками с квадратной (двуосноориентированной) и треугольной (мультиориентированной) ячейкой [10]. Экспериментальные работы были выполнены в сдвиговом приборе, а результаты моделировались на компьютере (рис. 5).

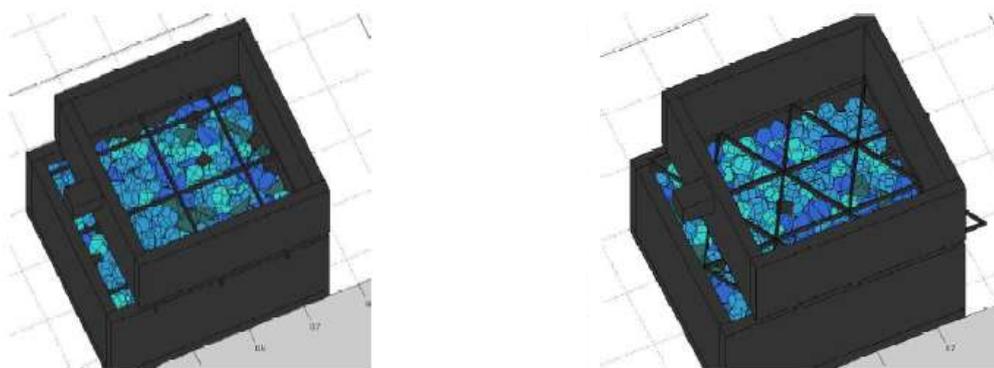


Рисунок 5 – Модель сдвигового прибора; слева – георешетка с прямоугольными ячейками; справа – георешетка с треугольными ячейками

Оказалось, что частицы зернистой среды имеют большую устойчивость на сдвиг при армировании мультиориентированными георешетками. В отчете о проделанной работе приводятся графики о высокой сходимости результатов компьютерного моделирования и реального эксперимента, но нет информации о количестве выполненных экспериментов для проведения статистического анализа. Это важно, поскольку каждый раз при засыпке в ящик частиц с не одинаковыми геометрическими размерами будут формироваться новые рабочие контакты, влияющие на неравномерность передачи усилий [11] и как следствие на сдвигоустойчивость.

### **Заключение**

Необходимость армирования балластной призмы обусловлена повышением сдвигоустойчивости, снижением загрязнения и в меньшей степени уменьшением вертикальных деформаций. Согласно выполненному анализу исследовательских работ, наиболее полно удовлетворяющим критериям эффективности является геокompозит. Однако полной ясности в этом вопросе пока нет.

Перспективными направлениями в изучении эффективности армирования балласта являются:

- выполнение экспериментальных работ в части исследования влияния свойств геосинтетических материалов, таких как жесткость, размер ячеек, повреждаемость и способность воспринимать динамические нагрузки на эксплуатационные показатели;

- использование и развитие теории И.И. Кандаурова [11] о зернистых средах для математического описания физических процессов сыпучей среды.

#### Список использованной литературы

1. Попов С.Н. Балластный слой железнодорожного пути. – М.: 1965.
2. Щебеночный балласт E. Klotzinger. Eisenbahntechnische Rundschau, 2008, № 1/2, S. 34 – 41, № 3, S. 120 – 125.
3. Применение геосинтетических материалов в конструкции пути: З.Т. Фазилова, А.А. Зайцев, К.И. Вачнадзе, В.В. Макаров, А.Н. Костоусов: Уч. пос. – М.: Московский государственный университет путей сообщения, 2013. – 127 с.
4. Стандартные проектные решения и технология усиления подбалластного слоя георешетками. – СПб.: 2001.
5. Ашпиз Е.С. Усиление площадки земляного полотна железных дорог. – «Инновации в строительстве. Дороги» №16 2012.
6. Гладков В.Ю. Армирование зернистых оснований нежестких дорожных одежд геотекстильными прослойками в виде сеток. – М.: Диссертация, 1985
7. The properties and performance advantages of Tensar TriAx™ geogrids.  
<http://www.tensar.co.uk/>
8. The confinement effect of different geogrids: 4 : the development of an index test.  
N.E. Wrigley NewGrids Ltd. 5th European Geosynthetics Congress. Spain, 2012.
9. Buddhima Indraratha, Sanjay Nimbalkar (2010). Deformation Characteristics of Railway Ballast Stabilised with Geosynthetics. Testing and consulting Report.
10. Erol Tutumluer, Hai Huang & Xuecheng Bian. Research on the behavior of geogrids in stabilisation applications.
11. Кандауров И.И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве. – Ленинград, 1966.