(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

- (43) Дата публикации заявки 2023.11.30
- (22) Дата подачи заявки 2022.01.27

- (51) Int. Cl. E01C 11/16 (2006.01) E01C 11/00 (2006.01) E01C 3/00 (2006.01) E01C 3/04 (2006.01) B29C 55/10 (2006.01) E02D 31/00 (2006.01)
- (54) ИНЖЕНЕРНАЯ КОНСТРУКЦИЯ С ГЕОРЕШЕТКОЙ И ГЕОТЕКСТИЛЕМ, СПОСОБЫ ЕЕ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ
- (31) 2101168.9
- (32) 2021.01.28
- (33) GB
- (86) PCT/GB2022/050216
- (87) WO 2022/162369 2022.08.04
- **(71)** Заявитель:

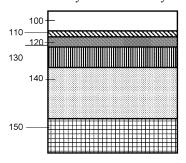
ТЕНСАР ТЕКНОЛОДЖИЗ ЛИМИТЕД (GB) **(72)** Изобретатель:

Кёрсон Эндрю, Кавано Джо, Голос Майкл, Кавалец Яцек (GB)

(74) Представитель:

Медведев В.Н. (RU)

(57) Представленное изобретение касается инженерной конструкции, содержащей цельную многоосную полимерную георешетку, по меньшей мере частично встроенную в слой связанного заполнителя, где геотекстиль прикреплен к георешетке, способов получения таких инженерной конструкций в вариантах осуществления конструкций, имеющих улучшенную усталостную долговечность или уменьшенную глубину, и применение многоосных полимерных георешеток для улучшения усталостной долговечности и/или уменьшения глубины инженерной конструкции.



ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

2420-578816EA/085

ИНЖЕНЕРНАЯ КОНСТРУКЦИЯ С ГЕОРЕШЕТКОЙ И ГЕОТЕКСТИЛЕМ, СПОСОБЫ ЕЕ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Область техники, к которой относится изобретение

Представленное изобретение касается усовершенствованной инженерной конструкции, содержащей многоосную георешетку и связанный заполнитель. В частности, связанный заполнитель представляет собой асфальтобетон. Настоящее изобретение также касается применения многоосной георешетки для улучшения усталостной долговечности и/или уменьшения толщины слоя связанного заполнителя, а также способов получения усовершенствованной инженерной конструкции и повышения усталостной долговечности и/или уменьшения толщины слоя связанного заполнителя.

Предпосылки создания изобретения

Асфальтобетон представляет собой хорошо известный строительный материал, содержащий минеральный заполнитель, помещенный в связующее на основе нефти (битум, также называемый асфальтом). В данной области техники известен ряд подходов для нанесения асфальта, обычно включающий уменьшение вязкости связующего (например, путем нагревания, добавления летучих растворителей и/или эмульгирования), смешивание «сыпучего» связующего с заполнителем и укладку смеси. Затем связующему дают затвердеть, иммобилизируя заполнитель и формируя композит. Смесь, как правило, подвергается сжатию до и/или во время стадии схватывания.

Применения асфальтобетона включают мощенные поверхности. Они, находят особое применение в контексте дорожных покрытий как для пешеходного, так и для транспортного движения, благодаря своей низкой стоимости, легкости применения и выгодным физическим свойствам. Однако, асфальтобетон со временем деградирует за счет многократно повторяющихся нагрузок и разгрузок при движении по нему транспорта, что в результате приводит к его окончательному разрушению. Данный параметр часто измеряется как «усталостная долговечность»: количество циклов нагрузки и разгрузки, которые материал может выдержать до разрушения.

Несмотря на то, что асфальтобетон обладает многими полезными качествами, его окончательное разрушение означает, что он потребует замены, предотвращая использование мощенной поверхности в течение некоторого времени. Снижение частоты замены асфальтобетона, также снижает количество материалов и энергии, необходимых для поддержания мощенной поверхности в течение ее срока службы. Поэтому, желательно увеличить усталостную долговечность асфальтобетона.

В качестве альтернативы, желательно обеспечить асфальтобетон меньшей толщины по сравнению с асфальтобетонами, известными в данной области техники (например, теми, которые являются неармированными, или которые включают одноосные или двухосные георешетки), сохраняя при этом по меньшей мере такую же усталостную долговечность. Уменьшение толщины асфальтобетона, позволяет уменьшить требуемое количество

асфальта, энергии, необходимой для его приготовления и времени, затрачиваемого на его укладку.

Как и в любой другой освоенной технологии, был разработан ряд подходов для улучшения усталостной долговечности асфальтобетона. Прежде всего, эти подходы используют другие материалы в комбинации со связующим и заполнителем для образования композитов.

S.F. Brown, J. M. Brunton, D.A.B. Hughes, и В.V. Brodrick описывают (в «Polymer Grid Reinforcement of Asphalt», представленном на ежегодном собрании Ассоциации технологов асфальтобетонных покрытий, Сан-Антонио, Техас, 11-13 февраля 1985 г), как армирование асфальтобетона двухосными полимерными георешетками приводит к улучшенной устойчивости к колееобразованию, отражательному растрескиванию и усталостному растрескиванию. Устойчивость к усталостному растрескиванию была установлена только с точки зрения распространения существующих трещин, а не инициирования растрескивания. По оценкам, для балок глубиной 90 мм, усталостная долговечность увеличивается в два раза (при размещении решетки на четверть высоты образца) и в 10 раз (при размещении решетки в нижней части образца) по сравнению с балками без георешетки.

Документ GB 22225048 В описывает армирование мощенных поверхностей геокомпозитом двухосной георешетки, ламинированной на ткань.

I.M. Arsenie, C. Chazallon, J-L. Duchez, и Р. Hornych описывают (в «Laboratory Characterisation of the Fatigue Behaviour of a Glass Fibre Grid-Reinforced Asphalt Concrete using 4PB Tests», Road Materials and Pavement Design, 18:1, 168-180), как стекловолоконные решетки могут быть использованы для повышения устойчивости к усталостному растрескиванию в 1,39-1,75 раза по сравнению с неармированными балками. Толщина испытываемых балок составляла 150 мм, при этом стекловолоконные решетки располагались на глубине 50 и 100 мм и их нельзя было сделать тоньше без ущерба для сцепления и уплотнения.

N. Sudarsanan, A. Arulrajah, R. Karpurapu, и V. Amrithalingam описывают (в «Fatigue Performance of Geosynthetic-Reinforced Asphalt Concrete Beams», J. Mater. Civ. Eng., 2020, 32(8): 04020206) количество материалов для армирования асфальтобетона. Были изготовлены образцы балок глубиной 100 мм, армированные на глубине 30 мм от основания с одной из джутовых, кокосоволоконных или стекловолоконных решеток. Образцы балок были испытаны в режиме регулируемого напряжения при температурах от 10 до 30° С с помощью испытания на изгиб с приложением сосредоточенной нагрузки в четырех точках, при этом разрушение определяется как разрыв образца или достижение заданного значения смещения в 20 мм. Определяют коэффициенты улучшения усталостной долговечности (по сравнению с неармированными балками) в 1,5-3,6 раза для джута, в 1,4-4 раза для кокосоволокна и в 3,2-11,6 раза для стекловолокна. Для каждого образца усталостная долговечность улучшалась с повышением температуры.

Настоящее изобретение направлено на решение одной или нескольких проблем,

связанных с существующими подходами для усиления асфальтобетонов, как упомянутых выше, так и иных, и обеспечение улучшенной инженерной конструкции с улучшенной усталостной долговечностью и/или уменьшенной толщиной.

Сущность изобретения

Первый аспект представленного изобретения касается инженерной конструкции, содержащей многоосную полимерную георешетку, по меньшей мере, частично встроенную в слой связанного заполнителя. Георешетка может представлять собой цельную георешетку (то есть георешетку, образованную из одного листа полимерного исходного материала, в отличие от некоторых георешеток предшествующего уровня техники, которые образованы из множества элементов, таких как волокна или ленты, расположенные в георешетке и прикрепленные друг к другу). К георешетке может быть прикреплен геотекстиль. Под по меньшей мере, частичным встраиванием, подразумевается, что удлиненные элементы георешетки, приблизительно прямоугольной в поперечном сечении, окружены по меньшей мере с трех сторон связанным заполнителем. Георешетка может быть полностью встроена в слой связанного заполнителя, при этом подразумевается, что удлиненные элементы георешетки со всех сторон окружены слоем связанного заполнителя. По меньшей мере частичное встраивание многоосной полимерной георешетки в слой связанного заполнителя позволяет повысить усталостную долговечность инженерной конструкции, как показано в примерах представленной заявки, обобщенных на Фигуре 4. Такое улучшение усталостной долговечности обеспечивает более длительный срок службы инженерной конструкции до необходимости ее замены по сравнению с эквивалентной инженерной конструкцией при отсутствии многоосной георешетки, что приводит к снижению расхода энергии и материалов. Предполагается, что за счет, по меньшей мере, частичного встраивания многоосной георешетки в слой связанного заполнителя можно улучшить и ряд других механических свойств (таких как прочность на сжатие, прочность на растяжение и/или прочность при ползучести) по сравнению с связанным заполнителем в отсутствие многоосной георешетки. Как правило, механические свойства конструкции, обычно, пропорциональны толщине слоя его связанного заполнителя. Таким образом, геоинженерная конструкция по представленному изобретению (в которой многоосная георешетка, по меньшей мере, частично встроена в слой связанного заполнителя) может иметь механические свойства, равные механическим свойствам известных инженерных конструкций (при отсутствии многоосной георешетки) с более толстым слоем связанного заполнителя. Другими словами, при конструировании инженерной конструкции, требующей конкретных механических свойств включение в слой связанного заполнителя многоосной георешетки, позволяет уменьшить толщину слоя связанного заполнителя. Это имеет преимущества в отношении требуемого количества связанного заполнителя и энергии и времени, необходимых для его обработки. Например, для достижения заданной усталостной долговечности, инженерная конструкция представленного изобретения (в которой многоосная георешетка, по меньшей мере, частично встроена в слой связанного заполнителя) может иметь более тонкий слой

связанного заполнителя, чем известные инженерные конструкции (при отсутствии многоосной георешетки).

Георешетка может представлять собой трехосную георешетку. Высокая изотропность трехосных георешеток обеспечивает равномерное и эффективное распределение усилий вокруг инженерных конструкций, содержащих их.

Георешетка может иметь радиальную секущую жесткость при 0.5% деформации по меньшей мере 100 кH/м, предпочтительно от 200 до 800 кH/м, более предпочтительно от 220 до 700 кH/м, наиболее предпочтительно от 250 до 600 кH/м.

Георешетка может иметь радиальную секущую жесткость при 2% деформации по меньшей мере 80 кH/м, предпочтительно от 150 до 600 кH/м, более предпочтительно от 170 до 500 кH/м, наиболее предпочтительно от 200 до 450 кH/м.

Георешетка может иметь коэффициент радиальной секущей жесткости (безразмерный) по меньшей мере 0.5, предпочтительно от 0.6 до 0.95, наиболее предпочтительно от 0.70 до 0.90, наиболее предпочтительно от 0.75 до 0.85.

Георешетка может иметь эффективность соединения по меньшей мере 90% предпочтительно по меньшей мере 95%, более предпочтительно по меньшей мере 97%, наиболее предпочтительно по меньшей мере 99%, например, 100%.

Георешетка может иметь шаг (предпочтительно шаг шестигранника) по меньшей мере 30 мм, предпочтительно от 40 до 150 мм, более предпочтительно от 50 до 140, наиболее предпочтительно от 65 до 125 мм.

Георешетка (при отсутствии геотекстильного элемента) может иметь массу продукта по меньшей мере $0,100 \text{ кг/м}^2$, предпочтительно от $0,120 \text{ до } 0,400 \text{ кг/м}^2$, более предпочтительно от $0,150 \text{ до } 0,350 \text{ кг/м}^2$, наиболее предпочтительно от $0,170 \text{ до } 0,310 \text{ кг/м}^2$.

Георешетка может иметь соотношение сторон по меньшей мере 0,8, предпочтительно по меньшей мере 0,9, более предпочтительно по меньшей мере 1,0 и наиболее предпочтительно по меньшей мере 1,1. Следует понимать, что термин «соотношение сторон» касается соотношения толщины или высоты поперечного сечения удлиненного элемента к ширине поперечного сечения удлиненного элемента, где толщина относиться к размеру удлиненного элемента, который является нормальным к плоскости георешетки, и ширина, относится к размеру удлиненного элемента, который находится в плоскости георешетки и является нормальным к длине удлиненного элемента, охватывающего соседние узлы. Толщина и ширина, как правило, измеряются в средней точке удлиненного элемента, то есть на полпути между узлами, при условии, что размеры удлиненного элемента являются относительно однородными. Участки, в которых удлиненные элементы пересекают узлы, исключаются из измерений для определения соотношения сторон. Если размеры удлиненного элемента не являются однородными, то за соотношение сторон следует принимать значение, которое наиболее часто встречается по длине удлиненного элемента между узлами, например, путем построения гистограммы соотношения сторон по длине каждого набора параллельных удлиненных элементов в структуре решетки для определения значения наибольшей частоты. Как толщина, так и ширина удлиненных элементов и, следовательно, соотношение сторон могут изменяться по длине удлиненных элементов, особенно, когда они проходят через соединительные узлы.

Георешетка может иметь толщину или высоту удлиненного элемента по меньшей мере 1,0 мм, предпочтительно по меньшей мере 1,1 мм, более предпочтительно по меньшей мере 1,2 мм и наиболее предпочтительно по меньшей мере 1,3 мм.

Георешетка может иметь, по существу, постоянную толщину. В таких вариантах осуществления, толщины удлиненных элементов и узлов георешетки приблизительно одинаковые. Такая толщина обеспечивает лучший контакт георешетки с поверхностью под ней.

Инженерная конструкция может дополнительно содержать геотекстиль, прикрепленный к многоосной георешетке. Это образует геокомпозит, содержащий геотекстиль и георешетку, что позволяет предотвратить полное прохождение связанного заполнителя через отверстия в георешетке во время укладки. Это также улучшает контакт георешетки с поверхностью под ней. Геотекстиль может быть прикреплен к георешетке посредством термического соединения. Другие приемлемые способы включают склеивание, соединение растворителем, ультразвуковую сварку и связывание. Геотекстиль особенно полезен при сочетании с георешетками постоянной толщины, поскольку прочность связи между компонентами улучшается.

Геотекстильный элемент, сам по себе, за исключением георешетки, может иметь массу продукта по меньшей мере $0,080 \text{ кг/м}^2$, предпочтительно от $0,100 \text{ до } 0,200 \text{ кг/м}^2$, более предпочтительно от $0,110 \text{ до } 0,180 \text{ кг/м}^2$. Альтернативно, геотекстильный элемент может иметь массу продукта от $0,03 \text{ до } 0,4 \text{ кг/м}^2$.

Георешетка может иметь ось, параллельно которой в машинном направлении проходят удлиненные элементы, содержащие георешетку. Обычно, изготовление цельных многоосных георешеток включает стадию растяжения исходного полимерного листа. Следует понимать, что машинное направление (MD) представляет собой направление, в котором лист проходит через оборудование, используемое для растяжения исходного полимерного листа и поперечное направление (TD) является перпендикулярно MD. Другими словами, георешетка может содержать набор удлиненных элементов, которые во время изготовления георешетки были растянуты в машинном направлении. Многоосные георешетки, особенно трехосные георешетки, с набором удлиненных элементов, проходящих в машинном направлении, менее подвержены эффектам проката боковых граней (вызванных во время производства или при сворачивании для хранения), чем георешетки с наборами удлиненных элементов, проходящих только в других направлениях, что позволяет георешетке лежать ровнее и иметь лучший контакт с подложкой и связанным заполнителем при раскатывании.

Инженерная конструкция может дополнительно содержать по меньшей мере один дополнительный слой, выбранный из земляного полотна, слоя основания, частично измельченного связанного заполнителя и выравнивающего слоя. В одном варианте осуществления, инженерная конструкция дополнительно содержит частично

измельченный связанный заполнитель. В другом варианте осуществления, инженерная конструкция дополнительно содержит частично измельченный связанный заполнитель и выравнивающий слой. В еще одном варианте осуществления, инженерная конструкция дополнительно содержит слой основания, частично измельченный связанный заполнитель и выравнивающий слой. В еще одном варианте осуществления, инженерная конструкция дополнительно содержит земляное полотно, слой основания, частично измельченный заполнитель и выравнивающий слой. В альтернативном осуществления, инженерная конструкция дополнительно содержит земляное полотно и слой основания. В предыдущих вариантах осуществления, по меньшей мере, один дополнительный слой может быть расположен под многоосной георешеткой, и/или дополнительные слои могут быть расположены в указанном порядке (при этом самый ранний из упомянутых дополнительных слоев является самым нижним). Указанные дополнительные слои придают инженерной конструкции повышенные физические характеристики, например, земляное полотно и слой основания могут компенсировать неблагоприятную геологию, при этом выравнивающий слой обеспечивает удерживание георешетки в плоском положении, обеспечивая эффективную передачу усилия внутри нее. Частично измельченный связанный заполнитель может быть расположен в местах, где инженерная конструкция образована за счет восстановления ранее существующей конструкции.

Инженерная конструкция может дополнительно содержать поверхностное покрытие, такое как связующий слой, между георешеткой и по меньшей мере одним дополнительным слоем. В вариантах осуществления, содержащих дополнительных слоев, поверхностное покрытие может быть расположено между самым верхним дополнительным слоем и георешеткой. Поверхностные покрытия могут оказывать ряд полезных воздействий на инженерную конструкцию. Например, связующий слой усиливает адгезию георешетки (и слоя связанного заполнителя, где он контактирует по меньшей мере с одним дополнительным слоем через отверстия в георешетке) по меньшей мере с одним дополнительным слоем. Использование связующего слоя особенно полезно при использовании геокомпозитов, включающих многоосную георешетку и геотекстиль, так как геотекстиль (смежный с самым верхним дополнительным слоем, предпочтительно, частично измельченным слоем) увеличивает контакт с связующим слоем, который может проникать в геотекстиль для дополнительного повышения адгезии геокомпозита к дополнительному слою.

Слой связанного заполнителя может представлять собой асфальтобетон. Асфальтобетон представляет собой композиционный материал заполнителя, связанный в битумной матрице. Размер частиц заполнителя может составлять от 5 до 35 мм, предпочтительно от 10 до 32 мм. Альтернативно, размер частиц заполнителя может составлять до 11 мм, до 16 мм, до 22 мм или до 32 мм. Среднее расстояние между многоосной георешеткой и поверхностью заполнителя находится в диапазоне от 300 мм до 60 мм, предпочтительно от 250 мм до 60 мм, более предпочтительно от 200 мм до 60 мм,

еще более предпочтительно от 150 до 60 мм, наиболее предпочтительно от 100 мм до 60 мм. Эти расстояния могут быть приравнены к глубине залегания георешетки под поверхностью слоя связанного заполнителя. Следует понимать, что среднее расстояние между поверхностью связанного заполнителя и георешеткой выбирают в зависимости от котором используется инженерная конструкция. применения, вариантах осуществления, в которых георешетка расположена на нижней поверхности слоя связанного заполнителя, эти расстояния эквивалентны толщине слоя связанного заполнителя. Следует понимать, что минимальная необходимая толщина слоя связанного заполнителя будет уменьшена, в настоящем изобретении, где многоосная полимерная георешетка, по меньшей мере, частично встроена в связанный заполнитель по сравнению с инженерной конструкцией без георешетки.

В качестве неограничивающего примера инженерной конструкции, содержащей асфальтобетон без георешетки и предназначенной для поддержания нагрузки до 2,5 миллионов эквивалентных одноосных нагрузок (ESALS) на оси в 100 кН, требует толщины асфальтобетона 160 мм (под слоем несвязанного заполнителя толщиной 20 см) для достижения приемлемой усталостной долговечности. В идентичной инженерной конструкции, дополнительно содержащей многоосную георешетку, встроенную в асфальтобетон, толщина асфальтобетона может быть уменьшена на 20-40 мм при сохранении приемлемой усталостной долговечности.

Следует понимать, что вышеупомянутые признаки первого аспекта представленного изобретения могут быть использованы в сочетании с последующими аспектами представленного изобретения.

Второй аспект представленного изобретения касается способа изготовления инженерной конструкции, включающий в себя стадии: а) обеспечения многоосной полимерной георешетки на подложке; b) нанесения слоя заполнителя, для по меньшей мере частичного встраивания георешетки в слой заполнителя; и с) связывания слоя заполнителя с образованием слоя связанного заполнителя, в который по меньшей мере частично встроена георешетка. Георешетка может быть полностью встроена в слой связанного заполнителя. Георешетка может быть цельной георешеткой (то есть, георешеткой, образованной из одного листа полимерного исходного материала). Геотекстиль может быть прикреплен к георешетке.

Третий аспект представленного изобретения касается способа обеспечения инженерной конструкции, демонстрирующей улучшенную усталостную долговечность путем, по меньшей мере, частичного встраивания многоосной полимерной георешетки в заполнитель перед связыванием заполнителя с образованием слоя связанного заполнителя, содержащего инженерную конструкцию. Георешетка может быть полностью встроена в слой связанного заполнителя. Под улучшенной усталостной долговечностью подразумевается, улучшенная усталостная долговечность инженерной конструкции по сравнению с эквивалентной инженерной конструкцией такой же или большей толщины, в которой отсутствует георешетка. Георешетка может быть цельной георешеткой (то есть,

георешеткой, образованной из одного листа полимерного исходного материала). Геотекстиль может быть прикреплен к георешетке.

Четвертый аспект представленного изобретения касается способа обеспечения инженерной конструкции уменьшенной глубины путем, по меньшей мере, частичного встраивания многоосной полимерной георешетки в заполнитель перед связыванием заполнителя с образованием слоя связанного заполнителя, содержащего инженерную конструкцию. Георешетка может быть полностью встроена в слой связанного заполнителя. Под уменьшением глубины подразумевается, уменьшение глубины инженерной конструкции, в частности слоя связанного заполнителя по сравнению с эквивалентной инженерной конструкцией, в которой отсутствует георешетка, при сохранении усталостной долговечности, по меньшей мере, равной усталостной долговечности эквивалентной инженерной конструкции без георешетки. Георешетка может быть цельной георешеткой (то есть, георешеткой, образованной из одного листа полимерного исходного материала). Геотекстиль может быть прикреплен к георешетке.

В любом из вышеуказанных способов, георешетка может представлять собой трехосную георешетку.

В любом из вышеуказанных способов, георешетка может иметь радиальную секущую жесткость при 0.5% деформации по меньшей мере 100 кH/м, предпочтительно от 200 до 800 кH/м, более предпочтительно от 220 до 700 кH/м, наиболее предпочтительно от 250 до 600 кH/м.

В любом из вышеуказанных способов, георешетка может иметь радиальную секущую жесткость при 2% деформации по меньшей мере 80 кH/м, предпочтительно от 150 до 600 кH/м, более предпочтительно от 170 до 500 кH/м, наиболее предпочтительно от 200 до 450 кH/м.

В любом из вышеуказанных способов, георешетка может иметь коэффициент радиальной секущей жесткости (безразмерный) по меньшей мере 0,5, предпочтительно от 0,6 до 0,95, наиболее предпочтительно от 0,70 до 0,90, наиболее предпочтительно от 0,75 до 0,85.

В любом из вышеуказанных способов, георешетка может иметь эффективность соединения по меньшей мере 90% предпочтительно по меньшей мере 95%, более предпочтительно по меньшей мере 97%, наиболее предпочтительно по меньшей мере 99%, например, 100%.

В любом из вышеуказанных способов, георешетка может иметь шаг (предпочтительно шаг шестигранника) по меньшей мере 30 мм, предпочтительно от 40 до 150 мм, более предпочтительно от 50 до 140, наиболее предпочтительно от 65 до 125 мм.

В любом из вышеуказанных способов, георешетка (при отсутствии геотекстиля) может иметь массу продукта по меньшей мере $0,100~\rm kr/m^2$, предпочтительно от $0,120~\rm до$ $0,400~\rm kr/m^2$, более предпочтительно от $0,150~\rm до$ $0,350~\rm kr/m^2$, наиболее предпочтительно от $0,170~\rm до$ $0,310~\rm kr/m^2$.

Георешетка может иметь соотношение сторон по меньшей мере 0,8,

предпочтительно по меньшей мере 0,9, более предпочтительно по меньшей мере 1,0 и наиболее предпочтительно по меньшей мере 1,1. Следует понимать, что термин *«соотношение сторон»* касается соотношения толщины или высоты поперечного сечения удлиненного элемента к ширине поперечного сечения удлиненного элемента, где толщина относиться к размеру удлиненного элемента, который является нормальным к плоскости георешетки, и ширина, относится к размеру удлиненного элемента, который находится в плоскости георешетки и является нормальным к длине удлиненного элемента, охватывающего соседние узлы.

Георешетка может иметь толщину или высоту удлиненного элемента по меньшей мере 1,0 мм, предпочтительно по меньшей мере 1,1 мм, более предпочтительно по меньшей мере 1,2 мм и наиболее предпочтительно по меньшей мере 1,3 мм.

В любом из вышеуказанных способов, георешетка может иметь, по существу, постоянную толщину. В таких вариантах осуществления, толщины удлиненных элементов и узлов георешетки приблизительно одинаковые.

В любом из вышеуказанных способов геотекстиль может быть прикреплен к многоосной георешетке.

Геотекстильный элемент сам по себе, за исключением георешетки, может иметь массу продукта по меньшей мере $0,080 \text{ кг/м}^2$, предпочтительно от $0,100 \text{ до } 0,200 \text{ кг/м}^2$, более предпочтительно от $0,120 \text{ до } 0,180 \text{ кг/м}^2$. Альтернативно, геотекстильный элемент может иметь массу продукта от $0,03 \text{ до } 0,4 \text{ кг/m}^2$.

Георешетка может иметь ось, параллельно которой в машинном направлении проходят удлиненные элементы, содержащие георешетку. Обычно изготовление цельных многоосных георешеток включает стадию растяжения исходного полимерного листа. Следует понимать, что машинное направление (MD) представляет собой направление, в котором лист проходит через оборудование, используемое для растяжения исходного полимерного листа и поперечное направление (TD) является перпендикулярно MD. Другими словами, георешетка может содержать набор удлиненных элементов, которые во время изготовления георешетки были растянуты в машинном направлении. Многоосные георешетки, особенно трехосные георешетки, с набором удлиненных элементов, проходящих в машинном направлении, менее подвержены эффектам проката боковых граней (вызванных во время производства или при сворачивании для хранения), чем георешетки с наборами удлиненных элементов, проходящих только в других направлениях, что позволяет георешетке лежать ровнее и иметь лучший контакт с подложкой и связанным заполнителем при раскатывании.

В любом из вышеуказанных способов, может быть предусмотрен по меньшей мере один дополнительный слой, выбранный из земляного полотна, слоя основания, частично измельченного связанного заполнителя и выравнивающего слоя. В одном варианте осуществления, инженерная конструкция дополнительно содержит частично измельченный связанный заполнитель. В другом варианте осуществления, инженерная конструкция дополнительно содержит частично измельченный связанный заполнитель и

выравнивающий слой. В еще одном варианте осуществления, инженерная конструкция дополнительно содержит слой основания, частично измельченный связанный заполнитель и выравнивающий слой. В еще одном варианте осуществления, инженерная конструкция дополнительно содержит земляное полотно, слой основания, частично измельченный И выравнивающий слой. В альтернативном связанный заполнитель варианте осуществления, инженерная конструкция дополнительно содержит земляное полотно и слой основания. В предыдущих вариантах осуществления, по меньшей мере, один дополнительный слой может быть расположен под многоосной георешеткой, и/или дополнительные слои могут быть расположены в указанном порядке (при этом самый ранний из упомянутых дополнительных слоев является самым нижним). Способ может дополнительно включать стадию нанесения по меньшей мере одного дополнительного слоя перед укладкой многоосной полимерной георешетки на подложку. Способ может дополнительно включать стадию нанесения поверхностного покрытия, такого как связующий слой, между георешеткой и по меньшей мере одним дополнительным слоем. В вариантах осуществления, содержащих множество дополнительных слоев, поверхностное покрытие может быть расположено между самым верхним дополнительным слоем и георешеткой. Предусмотренное поверхностное покрытие может содержать нанесение поверхностного покрытия по меньшей мере на один дополнительный слой.

В любом из вышеуказанных способов, слой связанного заполнителя может содержать асфальтобетон. Асфальтобетон представляет собой композиционный материал заполнителя, связанный в битумной матрице.

В любом из вышеуказанных способов, размер частиц заполнителя может составлять от 5 до 35 мм, предпочтительно от 10 до 32 мм. Альтернативно, размер частиц заполнителя может составлять до 11 мм, до 16 мм, до 22 мм или до 32 мм.

В любом из вышеуказанных способов, среднее расстояние между многоосной георешеткой и поверхностью заполнителя может составлять от 300 до 60 мм, предпочтительно от 250 мм до 60 мм, более предпочтительно от 200 мм до 60 мм, еще более предпочтительно от 150 до 60 мм, наиболее предпочтительно от 100 мм до 60 мм.

Пятый аспект представленного изобретения касается применения многоосной полимерной георешетки для улучшения усталостной долговечности инженерной конструкции, содержащей многоосную полимерную георешетку, по меньшей мере, частично встроенную в слой связанного заполнителя. Георешетка может быть полностью встроена в слой связанного заполнителя. Под уменьшением глубины подразумевается, уменьшение глубины инженерной конструкции, в частности слоя связанного заполнителя по сравнению с эквивалентной инженерной конструкцией, в которой отсутствует георешетка, при сохранении усталостной долговечности, по меньшей мере, равной усталостной долговечности эквивалентной инженерной конструкции без георешетки. Георешетка может быть цельной георешеткой (то есть, георешеткой, образованной из одного листа полимерного исходного материала). Геотекстиль может быть прикреплен к георешетке.

Шестой аспект представленного изобретения касается применения многоосной полимерной георешетки для уменьшения глубины инженерной конструкции, содержащей многоосную полимерную георешетку, по меньшей мере, частично встроенную в слой связанного заполнителя. Георешетка может быть полностью встроена в слой связанного заполнителя. Под улучшенной усталостной долговечностью подразумевается, улучшенная усталостная долговечность инженерной конструкции по сравнению с эквивалентной инженерной конструкцией такой же или большей толщины, в которой отсутствует георешетка. Георешетка может быть цельной георешеткой (то есть, георешеткой, образованной из одного листа полимерного исходного материала). Геотекстиль может быть прикреплен к георешетке.

Для любого из указанных выше применений, георешетка может представлять собой трехосную георешетку.

Для любого из указанных выше применений, георешетка может иметь радиальную секущую жесткость при 0.5% деформации по меньшей мере 100 кH/м, предпочтительно от 200 до 800 кH/м, более предпочтительно от 220 до 700 кH/м, наиболее предпочтительно от 250 до 600 кH/м

Для любого из указанных выше применений, георешетка может иметь радиальную секущую жесткость при 2% деформации по меньшей мере 80 кH/м, предпочтительно от 150 до 600 кH/м, более предпочтительно от 170 до 500 кH/м, наиболее предпочтительно от 200 до 450 кH/м.

Для любого из указанных выше применений, георешетка может иметь коэффициент радиальной секущей жесткости (безразмерный) по меньшей мере 0,5, предпочтительно от 0,6 до 0,95, наиболее предпочтительно от 0,70 до 0,90, наиболее предпочтительно от 0,75 до 0,85.

Для любого из указанных выше применений георешетка, может иметь эффективность соединения по меньшей мере 90% предпочтительно по меньшей мере 95%, более предпочтительно по меньшей мере 97%, наиболее предпочтительно по меньшей мере 99%, например, 100%.

Для любого из указанных выше применений, георешетка может иметь шаг (предпочтительно шаг шестигранника) по меньшей мере 30 мм, предпочтительно от 40 до 150 мм, более предпочтительно от 50 до 140, наиболее предпочтительно от 65 до 125 мм.

Для любого из указанных выше применений, георешетка (при отсутствии геотекстиля) может иметь массу продукта по меньшей мере $0,100~{\rm kr/m^2}$, предпочтительно от $0,120~{\rm дo}~0,400~{\rm kr/m^2}$, более предпочтительно от $0,150~{\rm дo}~0,350~{\rm kr/m^2}$, наиболее предпочтительно от $0,170~{\rm дo}~0,310~{\rm kr/m^2}$.

Георешетка может иметь соотношение сторон по меньшей мере 0,8, предпочтительно по меньшей мере 0,9, более предпочтительно по меньшей мере 1,0 и наиболее предпочтительно по меньшей мере 1,1. Следует понимать, что термин «соотношение сторон» касается соотношения толщины или высоты поперечного сечения удлиненного элемента к ширине поперечного сечения удлиненного элемента, где толщина

относиться к размеру удлиненного элемента, который является нормальным к плоскости георешетки, и ширина, относится к размеру удлиненного элемента, который находится в плоскости георешетки и является нормальным к длине удлиненного элемента, охватывающего соседние узлы.

Георешетка может иметь толщину или высоту удлиненного элемента по меньшей мере 1,0 мм, предпочтительно по меньшей мере 1,1 мм, более предпочтительно по меньшей мере 1,2 мм и наиболее предпочтительно по меньшей мере 1,3 мм.

Для любого из указанных выше применений, георешетка может иметь, по существу, постоянную толщину.

Для любого из указанных выше применений, инженерная конструкция может дополнительно содержать геотекстиль, прикрепленный к многоосной георешетке.

Геотекстильный элемент сам по себе, за исключением георешетки, может иметь массу продукта по меньшей мере $0,080 \, \text{кг/m}^2$, предпочтительно от $0,100 \, \text{до} \, 0,200 \, \text{кг/m}^2$, более предпочтительно от $0,110 \, \text{до} \, 0,180 \, \text{кг/m}^2$, наиболее предпочтительно от $0,120 \, \text{до} \, 0,150 \, \text{кг/m}^2$. Альтернативно, геотекстильный элемент может иметь массу продукта от $0,03 \, \text{до} \, 0,4 \, \text{кг/m}^2$.

Георешетка может иметь ось, параллельно которой в машинном направлении проходят удлиненные элементы, содержащие георешетку. Обычно изготовление цельных многоосных георешеток включает стадию растяжения исходного полимерного листа. Следует понимать, что машинное направление (MD) представляет собой направление, в котором лист проходит через оборудование, используемое для растяжения исходного полимерного листа и поперечное направление (TD) является перпендикулярно MD. Другими словами, георешетка может содержать набор удлиненных элементов, которые во время изготовления георешетки были растянуты в машинном направлении. Многоосные георешетки, особенно трехосные георешетки, с набором удлиненных элементов, проходящих в машинном направлении, менее подвержены эффектам проката боковых граней (вызванных во время производства или при сворачивании для хранения), чем георешетки с наборами удлиненных элементов, проходящих только в других направлениях, что позволяет георешетке лежать ровнее и иметь лучший контакт с подложкой и связанным заполнителем при раскатывании.

Для любого из указанных выше применений, инженерная конструкция может дополнительно содержать по меньшей мере один дополнительный слой, выбранный из земляного полотна, слоя основания, частично измельченного связанного заполнителя и выравнивающего слоя. В одном варианте осуществления, инженерная конструкция дополнительно содержит частично измельченный связанный заполнитель. В другом варианте осуществления, инженерная конструкция дополнительно содержит частично измельченный связанный заполнитель и выравнивающий слой. В еще одном варианте осуществления, инженерная конструкция дополнительно содержит слой основания, частично измельченный связанный заполнитель и выравнивающий слой. В еще одном варианте осуществления, инженерная конструкция дополнительно содержит земляное полотно, слой основания, частично измельченный связанный заполнитель

выравнивающий слой. В альтернативном варианте осуществления, инженерная конструкция дополнительно содержит земляное полотно и слой основания. В предыдущих вариантах осуществления, по меньшей мере, один дополнительный слой может быть расположен под многоосной георешеткой, и/или дополнительные слои могут быть расположены в указанном порядке (при этом самый ранний из упомянутых дополнительных слоев является самым нижним). Инженерная конструкция может дополнительно содержать поверхностное покрытие, такое как связующий слой, между георешеткой и по меньшей мере одним дополнительным слоем. В вариантах осуществления, содержащих множество дополнительных слоев, поверхностное покрытие может быть расположено между самым верхним дополнительным слоем и георешеткой.

В любом из вышеприведенных применений, слой связанного заполнителя может содержать асфальтобетон.

В любом из указанных выше применений, размер частиц заполнителя может составлять от 5 до 35 мм, предпочтительно от 10 до 32 мм. Альтернативно, размер частиц заполнителя может составлять до 11 мм, до 16 мм, до 22 мм или до 32 мм.

В любом из указанных выше применений, среднее расстояние между многоосной георешеткой и поверхностью заполнителя находится в диапазоне от 300 до 60 мм, предпочтительно от 250 мм до 60 мм, более предпочтительно от 200 мм до 60 мм, еще более предпочтительно от 150 до 60 мм, наиболее предпочтительно от 100 мм до 60 мм.

Краткое описание чертежей

На фигуре 1 показана схема инженерной конструкции по представленному изобретению. Слои (сверху вниз) представляют собой: слой связующего асфальтобетона, многоосную полимерную георешетку, выравнивающий слой асфальтобетона, частично измельченный асфальтобетон, несвязанный слой основания и земляное полотно.

На фигуре 2A показана схема бокового вида асфальтобетонной балки по представленному изобретению. Балка имеет длину, L, глубину H и ширину, не изображенные на фигуре, и является, по существу, постоянной по составу по длине и по ширине, но изменяется по составу по глубине, будучи образованной из различных слоев. Слои (сверху вниз): связующий слой асфальтобетона, многоосная полимерная георешетка, к которой прикреплен геотекстиль, и выравнивающий слой асфальтобетона.

На фигуре 2В показана схема бокового вида сравнительной асфальтобетонной балки (то есть, без многоосной георешетки). Балка имеет длину, L, глубину H и ширину, не изображенные на фигуре и является, по существу, постоянным по составу по длине и по ширине, но изменяется по составу по глубине, образованной из различных слоев. Слои (сверху вниз): связующий слой асфальтобетона и выравнивающий слой асфальтобетона.

На фигуре 3 показана схема бокового вида устройства для 4-точечного изгиба, используемого для оценки бетонных балок, с указанием расположения точек контакта на балке. Верхние точки разделены расстоянием А (247 мм), и нижние точки разделены расстоянием В (740 мм). На балку прикладывается сила, обозначенная стрелкой F. Испытываемые балки имели длину L (850 мм), ширину S (170 мм) и высоту Н (100 мм).

На фигуре 4 показана относительная усталостная долговечность балок по представленному изобретению (то есть включающих георешетку) и сравнительной балки без георешетки, определенная при испытании на 4-точечный изгиб.

Подробное описание изобретения

Георешетки

Георешетки представляют собой хорошо известный класс продуктов, используемых для стабилизации сыпучих материалов в строительстве. Как правило, георешетки представляют собой плоские сетчатые структуры, состоящие из удлиненных элементов (например, пряди), соединенные узлами, причем эти части определяют стороны и углы отверстий в георешетке. Для формирования георешеток могут быть использованы различные материалы, такие как металлы, натуральные волокна и стекловолокно. Полимеры представляют особый интерес в данной области благодаря их выгодным физическим характеристикам и относительно низкой стоимости. В зависимости от способов, используемых для их создания, полимеры внутри полимерных георешеток могут быть молекулярно ориентированы, улучшая их свойства, такие как прочность на растяжение или жесткость. Как правило, молекулярная ориентация в полимере достигается посредством растяжения нагретого полимерного листа. Это может быть выполнено с полимерным листом с отверстиями для одновременного формирования удлиненных элементов и узлов и индуцирования в них молекулярной ориентации.

Одноосные георешетки содержат удлиненные элементы, проходящие параллельно одной оси (следовательно, одноосные) и прикрепленные каждым концом к стержню, который может рассматриваться как непрерывный узел, проходящий поперек одной оси. Удлиненные элементы, как правило, образуют непрерывный сквозной проход вдоль длины георешетки, проходящий через стержни.

Двухосные георешетки содержат удлиненные элементы, каждый из которых проходит параллельно одной из двух осей (следовательно, двухосный). Там, где сходятся концы удлиненных элементов, образуются узлы. Как правило, удлиненные элементы, проходящие параллельно каждой оси, расположены на одинаковом расстоянии друг от друга, и расстояние является одинаковым для удлиненных элементов, проходящих параллельно каждой из двух осей. Обычно оси перпендикулярны друг другу, в результате чего георешетка имеет отверстия прямоугольной или квадратной формы. Могут быть использованы другие углы, приводящие к георешетке с отверстиями, которые имеют форму параллелограмма или ромба.

Георешетки, согласно представленному изобретению, представляют собой многоосные георешетки, которые определены в настоящем документе как георешетки, содержащие удлиненные элементы, каждый из которых проходит параллельно одной из по меньшей мере трех осей. Например, трехосные георешетки имеют удлиненные элементы, каждый из которых проходит параллельно одной из трех осей. Как правило, расстояние между удлиненными элементами, проходящими параллельно каждой оси, является равным и это расстояние является одинаковым для удлиненных элементов, проходящих

параллельно каждой из трех осей. Обычно, оси расположены под взаимным углом 60°, так что удлиненные элементы образуют равносторонние треугольники, собранные в шестигранники. Такое расположение позволяет георешетке распределить нагрузку более равномерно по всей своей конструкции. Трехосные георешетки и способы их получения описаны в WO 2004/003303, включенным в настоящий документ посредством ссылки.

Георешетки характеризуются большим количеством параметров, таких как:

Масса продукта, указанная в пересчете на вес на единицу площади. Типичные массы продукта георешетки по меньшей мере предпочтительно составляют от 0,120 до 0,400 кг/м², более предпочтительно от 0,150 до 0,350 кг/м², наиболее предпочтительно от 0,170 до 0,310 кг/м², например от 0,180 до 0,300 кг/м².

Шаг, георешетки имеют повторяющуюся структуру, и шаг георешетки представляет собой размер повторяющейся единицы. В трехосной георешетке повторяющаяся единица представляет собой шестигранник, и расстояние шага шестигранника представляет собой разделение параллельных сторон шестигранника. Шаг обычно составляет по меньшей мере 30 мм, предпочтительно от 40 до 150 мм, более предпочтительно от 50 до 140, наиболее предпочтительно от 65 до 125 мм.

Эффективность соединения, являющаяся прочностью узла, выражена в процентах от прочности удлиненных элементов и указывает на способность георешетки передавать нагрузки между удлиненными элементами в каждом узле (месте соединения). Приемлемые эффективности соединения составляют по меньшей мере 90%, предпочтительно по меньшей мере 95%, более предпочтительно по меньшей мере 97%, наиболее предпочтительно по меньшей мере 99%, например, 100%.

Радиальная секущая жесткость, которая является мерой общей реакции георешетки на определенное усилие, включая как упругую, так и неупругую деформацию. Обычно, георешетка обладает радиальной секущей жесткостью при 0,5% деформации по меньшей мере 100 кН/м, предпочтительно от 200 до 800 кН/м, более предпочтительно от 220 до 700 кН/м, наиболее предпочтительно от 250 до 600 кН/м. Дополнительно или альтернативно, георешетка может иметь радиальную секущую жесткость при 2% деформации по меньшей мере 80 кН/м, предпочтительно от 150 до 600 кН/м, более предпочтительно от 170 до 500 кН/м, наиболее предпочтительно от 200 до 450 кН/м.Коэффициент радиальной секущей жесткости (безразмерный) может составлять по меньшей мере 0,5, предпочтительно от 0,6 до 0,9, наиболее предпочтительно от 0,70 до 0,85, наиболее предпочтительно от 0,75 до 0,80.

Георешетки, как правило, имеют непостоянную толщину, обусловленную процессами, используемыми при их изготовлении, при этом узлы являются толще чем удлиненные элементы. В некоторых вариантах осуществления, используют георешетки, которые имеют, по существу, постоянную толщину, для обеспечения наилучшего возможного контакта между георешеткой и полотном для мощения во время процесса термического соединения. Многоосные георешетки постоянной толщины и способы их изготовления описаны в WO 2019/058113, включенном в настоящий документ посредством ссылки.

Связанный заполнитель

Связанный заполнитель, как правило, представляет собой асфальтобетон, включающий частицы измельченного щебня, удерживаемые в твердой битумной матрице. Альтернативно или дополнительно, связанный заполнитель представляет собой другой композиционный материал, содержащий заполнитель и связующее, приемлемое для использования в качестве слоя износа (то есть верхнего слоя инженерной конструкции). Специалисту в данной области техники будет понятно, что другие материалы в виде частиц, встроенные в другие связующие вещества, будут получать те же преимущества от представленного изобретения что и асфальтобетон.

Размер частиц заполнителя, как правило, находится в диапазоне от 5 до 35 мм, предпочтительно от 10 до 32 мм. Альтернативно, размер частиц заполнителя может составлять до 11 мм, до 16 мм, до 22 мм или до 32 мм.

Необходимая глубина связанного заполнителя будет зависеть от цели и технических характеристик инженерной конструкции. Как правило, глубина слоя связанного заполнителя составляет от 300 мм до 60 мм, при этом для поддержания более тяжелой нагрузки требуется более толстый слой связанного заполнителя. Предпочтительно глубина слоя связанного заполнителя составляет от 250 мм до 60 мм, более предпочтительно от 200 мм до 60 мм, еще более предпочтительно от 150 до 60 мм, наиболее предпочтительно от 100 мм до 60 мм.

Геокомпозит

В вариантах осуществления представленного изобретения, георешетка крепится к геотекстилю, такому как полотно для мощения, и располагается таким образом, чтобы георешетка находилась между геотекстилем и связанным заполнителем. Как правило, георешетка и геотекстиль скрепляются путем термического соединения, но может использоваться любая подходящая технология (например, склеивание, соединение растворителем, ультразвуковая сварка и завязывание).

Геотекстиль предотвращает прохождение частиц заполнителя через георешетку и последующее поднятие георешетки при укладке асфальта. Важно, чтобы георешетка поддерживалась, по существу, ровной для обеспечения эффективной передачи усилий по всей георешетке. Геотекстиль также обеспечивает хороший контакт между геокомпозитом и подложкой, на которую он укладывается, что особенно важно, при использовании поверхностных покрытий (таких как связующий слой).

Геотекстили могут быть изготовлены из любого приемлемого материала и, как правило, являются полимерами, такими как полипропилен или полиэфир. Геотекстиль может представлять собой спанбонд или иглопробивной нетканый материал, кроме того, одна или обе стороны геотекстиля могут быть каландрированы, или ни одна сторона не каландрирована.

Усталостная долговечность

Усталостная долговечность является общим термином, обозначающим продолжительность времени, в течение которого объект может выдерживать заданную силу

перед разрушением и, следовательно, является ключевым параметром для описания инженерных конструкций, таких как тротуары и дорожные покрытия, поскольку он определяет срок службы конструкции. Усталостная долговечность определяется в настоящем документе как количество циклов нагрузок и разгрузок, которые образец может выдерживать до того, как обнаруженный модуль жесткости S, уменьшится до 50% от исходного модуля жесткости. Усталостная долговечность может быть определена с помощью испытания на четырехточечный изгиб при контролируемой деформации.

По сравнению с эквивалентной инженерной конструкцией, не имеющей георешетки, инженерные конструкции по представленному изобретению, в которых георешетка, по меньшей мере, частично встроена в слой связанного заполнителя, демонстрируют улучшенную усталостную долговечность. При микродеформации 130, усталостная долговечность может быть увеличена приблизительно в 10 раз. При микродеформации 100, усталостная долговечность может быть увеличена приблизительно в 14 раз. При микродеформации 70, усталостная долговечность может быть увеличена приблизительно в 22 раза.

Инженерная конструкция

Один пример инженерной конструкции по представленному изобретению схематически показан на фигуре 1. Связующий слой 100 композита представляет собой асфальтобетон, образованный из заполнителя, встроенного в битумную матрицу. Связующий слой 100 имеет геокомпозит 110, частично встроенный в его нижнюю поверхность.

Геокомпозит 110 содержит трехосную полимерную георешетку, термически присоединенную к нетканому полотну для мощения, и расположена георешеткой вверх, так что георешетка является вплетенной в связующий слой 100. Вплетение георешетки в слой связанного заполнителя означает, что частицы заполнителя частично проникают в отверстия георешетки, тем самым механически сцепляя георешетку и слой связанного заполнителя обеспечивая эффективную передачу усилий Высокосимметричный характер многоосных полимерных георешеток означает, что любые внеплоскостные силы, приложенные к инженерной конструкции, распределяются по всей своей массе через удлиненные элементы георешетки. Георешетка и нетканое полотно для мощения прикреплены друг к другу посредством термического соединения, хотя может быть использован любой другой приемлемый способ, например, склеивание, ультразвуковая сварка или завязывание.

Толщина связующего слоя 100 может быть выбрана в зависимости от требований к его применению. Как правило, толщина будет варьироваться от 300 до 60 мм. В некоторых применениях, толщина связующего слоя 100 снижена по сравнению с толщиной связующего слоя без опоры в той же области применения, сохраняя при этом такую же усталостную долговечность. Это преимущественно снижает количество асфальтобетона, необходимое для формирования инженерной конструкции. В некоторых применениях, толщина связующего слоя 100 сопоставима с толщиной связующего слоя без опоры в той

же области применения, что приводит к улучшению усталостной долговечности инженерной конструкции. Это преимущественно увеличивает срок службы инженерной конструкции. В некоторых применениях, толщина связующего слоя 100 снижена по сравнению с толщиной связующего слоя без опоры, в той же области применения, при этом улучшается усталостная долговечность инженерной конструкции. Это преимущественно уменьшает требуемое количество асфальтобетона, а также продлевает срок службы инженерной конструкции.

Георешетки, как правило, имеют непостоянную толщину за счет процессов, используемых при их производстве. В некоторых вариантах осуществления, используют георешетки, которые имеют, по существу, постоянную толщину, для обеспечения наилучшего возможного контакта между георешеткой и полотном для мощения в процессе термического соединения. Многоосные георешетки с постоянной толщиной и способы их изготовления описаны в WO 2019/058113, включенном в настоящий документ посредством ссылки.

В инженерную конструкцию может быть включен ряд необязательных подслоев для улучшения ее свойств и/или компенсации неоптимальной геометрии. В некоторых случаях, указанные подслои могут быть предусмотрены специально для инженерной конструкции по представленному изобретению. В других случаях, данные подслои могут быть остатками предыдущей инженерной конструкции, которая заменена инженерной конструкцией по представленному изобретению.

Первый необязательный подслой, расположенный под геокомпозитом 110, является выравнивающим слоем 120. Такие слои используются для обеспечения ровной поверхности, на которую может быть нанесен геокомпозит и связующий слой. Искажения внутри подложки, на которую уложена георешетка, будут уменьшать плоскостность георешетки, тем самым снижая ее эффективность в передаче усилий и могут привести к более низкой прочности на сдвиг между слоями. В частности, зазоры в подложке непосредственно под георешеткой и связующим слоем могут приводить к отражательному растрескиванию.

Второй необязательный подслой, расположенный под геокомпозитом 110, является частично измельченным, предшествующим слоем асфальтобетона 130. Обычно асфальтобетон требует восстановления и/или замены. Для этого существующий слой асфальта удаляют с использованием одного из нескольких процессов измельчения для обнажения поддерживающих слоев под ними. В некоторых случаях является предпочтительным лишь частичное измельчение существующего слоя асфальтобетона, что приводит к наличию частично измельченного слоя асфальтобетона 130.

Третий и четвертый необязательные подслои, расположенные под геокомпозитом 110, представляют собой слой основания 140 и земляное полотно 150. Указанные слои содержат уплотненный заполнитель, обычно без связующего, для обеспечения ровной и твердой поверхности для укладки асфальтобетона. Необходимость и требуемые характеристики данных слоев зависят от функции инженерной конструкции и геологии

коренных отложений.

Обработка поверхности может присутствовать между любым из этих слоев, по желанию. Обычно, связующий слой наносят на подслой непосредственно под геокомпозитом для обеспечения хорошей адгезии георешетки и/или полотна для мощения с подслоем, тем самым увеличивая прочности на сдвиг поверхности раздела. Связующий слой, как правило, наносят при повышенной температуре от приблизительно 55 до приблизительно 90° C, предпочтительно от приблизительно 65 до 85° C и более предпочтительно от приблизительно 65 до 80° C. Связующие слои могут представлять собой битумные эмульсии, в частности катионные битумные эмульсии. Как правило, катионная битумная эмульсия содержит битум в качестве связующего вещества, но может содержать модифицированный полимером битум. Битум в эмульсии может представлять собой любой приемлемый битум, но предпочтительно он имеет проникающую способность при 25° С (как определено в BS EN 12849:2009) от приблизительно 100 до приблизительно 220, предпочтительно от приблизительно 100 до приблизительно 180. Как правило, катионная битумная эмульсия имеет показатель разрушения (как определено в BS EN 13075-1:2016 или BS EN 13075-2:2016 по мере необходимости) от приблизительно 70 до приблизительно 155 г/100 г, предпочтительно от приблизительно 80 до приблизительно 150 г/100 г и более предпочтительно от приблизительно 90 до приблизительно 135 г/100 г, например от приблизительно 100 до приблизительно 120 г/100 г. Катионные битумные эмульсии могут иметь содержание битума от приблизительно 60 до приблизительно 75 мас.%, предпочтительно от приблизительно 63 до приблизительно 71 мас.%, более предпочтительно от приблизительно 65 до приблизительно 70 мас.%, наиболее предпочтительно от приблизительно 67 до приблизительно 69 мас.%, например, 69 мас.%.

Изготовление инженерной конструкции

Ниже приведен примерный способ изготовления инженерной конструкции. Данный пример касается изготовления инженерной конструкции, в которой связанный заполнитель представляет собой асфальтобетон, включающий заполнитель и битумное вяжущее. Специалисту в данной области техники будет понятно, что этот способ может быть адаптирован для изготовления инженерных конструкций, содержащих другие связанные заполнители, такие как заполнители и жидкие полимерные вяжущие.

Геокомпозит, содержащий многоосную полимерную георешетку, термически связанную с нетканым материалом, наносят на подложку, такую как один из необязательных подслоев, описанных выше, георешеткой вверх. Обычно, инженерная конструкция изготавливается in situ, то есть георешетка располагается в предполагаемом месте инженерной конструкции и на ней возводится инженерная конструкция. Однако, следует понимать, что в некоторых ситуациях предпочтительно «предварительно отлить» инженерную конструкцию в другом месте (например, с использованием пресс-формы) и доставить готовую инженерную конструкцию в предназначенное место.

Затем несвязанный заполнитель укладывается на георешетку для встраивания георешетки в слой заполнителя. Как правило, несвязанный заполнитель содержит

заполнитель и несхватившееся вяжущее, хотя в некоторых случаях несхватившееся вяжущее может быть добавлено после укладки заполнителя. Связанный заполнитель представляет собой асфальтобетон, включающий заполнитель и битум, вязкость которого была снижена до жидкого или полутвердого состояния, обеспечивая возможность асфальтобетону течь. Указанное может быть достигнуто множеством способов, таких как повышение температуры битума, разбавление битума растворителем и/или эмульгирование битума в воде.

В большинстве вариантов применения, заполнитель и несхватившееся вяжущее затем уплотняют для обеспечения хорошего контакта с геокомпозитом и удаления по меньшей мере части любых пустот в асфальтобетоне перед связыванием. Уплотнение также оставляет гладкую поверхность на связанном заполнителе.

Затем слой заполнителя с встроенной георешеткой связывают, путем укладки вяжущего. Данный процесс варьируется в зависимости от того, насколько была снижена вязкость битума. Например, в «горячем» процессе асфальтобетона, асфальтобетону просто дают остыть, в результате чего битум затвердевает и связывает заполнитель. В способах приготовления асфальтобетона на основе растворителя и эмульсий, растворителю и/или воде дают испариться для достижения того же результата. В некоторых вариантах осуществления, схватывание вяжущего и уплотнение может происходить одновременно.

Повышение усталостной долговечности инженерной конструкции

В настоящем документе раскрыт примерный способ улучшения усталостной долговечности инженерной конструкции. За счет встраивания многоосной полимерной георешетки в заполнитель перед связыванием заполнителя, полученная инженерная конструкция, а именно ее слой связанного заполнителя, имеет улучшенную усталостную долговечность по сравнению с эквивалентной инженерной конструкцией, в которую не встроена многоосная полимерная георешетка.

Многоосные полимерные георешетки могут быть использованы для улучшения усталостной долговечности инженерной конструкции путем встраивания в слой связанного заполнителя, из которого состоит инженерная конструкция.

Встраивание георешетки в связанный заполнитель увеличивает усталостную долговечность слоя связанного заполнителя по сравнению со связанным заполнителем без встроенной в него многоосной полимерной георешетки. Это преимущественно увеличивает время между операциями по ремонту и/или операциями по восстановлению покрытия. Не ограничиваясь теорией, можно предположить, что использование многоосной полимерной георешетки позволяет получить более изотропное плоскостное распределение нагрузок к поверхности инженерной конструкции. Это, в свою очередь, снижает нагрузку на любую часть инженерной конструкции, повышая ее усталостную долговечность.

Уменьшение глубины инженерной конструкции

В настоящем документе раскрыт примерный способ уменьшения глубины инженерной конструкции. За счет встраивания многоосной полимерной георешетки в заполнитель перед связыванием заполнителя, полученная инженерная конструкция, в

частности слой связанного заполнителя, имеет меньшую толщину по сравнению с инженерной конструкцией, в которую не встроена многоосная полимерная георешетка, при сохранении усталостной долговечности, по меньшей мере, равной усталостной долговечности инженерной конструкции, в которую не встроена многоосная полимерная георешетка.

Многоосные полимерные георешетки могут быть использованы для уменьшения глубины инженерной конструкции путем встраивания в слой связанного заполнителя, из которого состоит инженерная конструкция. За счет встраивания многоосной полимерной георешетки в слой связанного заполнителя, улучшается усталостная долговечность инженерной конструкции, содержащей слой связанного заполнителя. Усталостная долговечность слоя связанного заполнителя пропорциональна его глубине. Таким образом, использование георешетки позволяет снизить глубину связанного слоя для достижения желаемой усталостной долговечности по сравнению с глубиной связанного слоя, необходимой для достижения такой же усталостной долговечности при отсутствии многоосной полимерной георешетки.

Для каждого из вышеуказанных случаев, уменьшение глубины уменьшает требуемое количество связанного заполнителя, тем самым снижая стоимость материала и энергию, необходимую для формирования инженерной конструкции.

Примеры

Далее изобретение будет разъяснено со ссылкой на следующие примеры. Следует понимать, что данные примеры являются всего лишь иллюстрацией изобретения и не предназначены для его ограничения.

Получение образцов

Образцы балок асфальтобетона, как схематически показано на Фигурах 2A и 2B, с длиной 850 мм, шириной 170 мм и толщиной 100 мм были получены, как описано ниже.

После этого, был уложен 30-миллиметровый выравнивающий слой AC 11W 35/50, которому давали застыть. Максимальный размер заполнителя в этом асфальтобетоне составлял 11 мм, а битум имел значение проникновения 35/50. Свойства указанного асфальтобетона приведены в Таблице 1.

Свойства	Способ исследования	Значение	
Плотность (мг/м 3)	PN-EN 12687-5:2019, способ A, в	2,480	
	воде	2,400	
Объемная плотность (мг/м ³)	PN-EN 12697-6:2012, способ B,	2,365	
	насыщенная поверхность сухая	2,303	
Воздушные пустоты, V_{m} (%)	PN-EN 12697-8:2019, раздел 4	4,6	
Пустоты, заполненные битумом,	PN-EN 12697-8:2019, раздел 5	70,9	
VFB (%)	FN-EN 12097-8.2019, pasgest 5	10,9	
Пустоты в минеральном	PN-EN 12697-8:2019, раздел 5	15,8	
заполнителе, VMA (%)	111-E11 12097-8.2019, pasgest 5	15,6	
Устойчивость к постоянной	PN-EN 12697-22+A1:2008,		
деформации - Скорость	маленькое устройство, способ В в	0,12	
колееобразования (WTS)	воздухе		
Устойчивость к постоянной	PN-EN 13108-20, D.1.6, 60°C, 10,000	5,6	

деформации - Пропорциональная глубина колеи (PRD)	циклов	
Чувствительность к воде - Коэффициент прочности на растяжение (ITSR) (%)	PN-EN 12697-12:2018, кондиционировано при 40°C с одним циклом замораживания, исследовано при 25°C	84

Таблица 1: Физические свойства AC 11W 35/50

Был предусмотрен геокомпозит, содержащий георешетку, прикрепленную к полотну для мощения. Георешетка представляла собой трехосную полипропиленовую георешетку с ребрами, проходящими в машинном направлении, характеристики которой приведены в Таблице 2.

Свойства (способ исследования)	Единица измерения	Значение
Прочность на растяжение (EN ISO 10319)	кн/м	MD - 16 CMD - 20
Растяжение при максимальной нагрузке (EN ISO 10319)	%	MD - 11 CMD - 11
Температура плавления (EN 3146)	°C	162

Таблица 2: физические свойства используемой трехосной георешетки (MD- ма машинное направление; СMD-поперечное машинное направление)

Полотно для мощения представляет собой нетканое полотно для мощения, характеристики которого приведены в Таблице 3.

<u> </u>			
Свойства	Единица	Значение	
(способ исследования)	измерения	Эпачение	
Устойчивость к статическому проколу (CBR тест) (EN ISO 12236)	кн/м	1,2	
Динамическое сопротивление перфорации (испытание падающим конусом) (EN ISO 13433)	ММ	23	
Удержание битума	кг/м ²	1,5	

Таблица 3: Физические свойства нетканого полотна для мощения

В данном примере, георешетку и полотно для мощения закрепляют с использованием термического соединения с получением геокомпозита. Специалисту в данной области техники будет понятно, что другие многоосные полимерные георешетки, полотна для мощения и способы крепления, могут быть использованы, не выходя за пределы объема представленного изобретения.

На поверхность выравнивающего слоя наносили связующий слой на основе битумной эмульсии С69 В3 РU, и геокомпозит укладывали на выравнивающий слой с полотном для мощения вблизи поверхности выравнивающего слоя. Битумная эмульсия С69 В3 РU представляет собой катионную эмульсию, используемую для поверхностной обработки с содержанием битума 69%.

Шаг георешетки составлял 80 мм, что обеспечивало наличие в образце не менее двух полных повторений шага по всей ширине балки 170 мм.

Связующий слой толщиной 70 мм, содержащий AC 16W 35/50, укладывали на

георешетку и оставляли для полного схватывания. Данный асфальтобетон имел максимальный размер заполнителя 16 мм, и битум имел значение проникновения 35/50. Свойства указанного асфальтобетона приведены в Таблице 4.

Свойства	Способ исследования	Значение
Плотность $(M\Gamma/M^3)$	PN-EN 12687-5:2019, способ A, в воде	2,544
Объемная плотность (мг/м³)	PN-EN 12697-6:2012, способ B,	2,430
OOBEMHAA IIJOTHOETB (MI7M)	насыщенная поверхность сухая	
Воздушные пустоты, V_{m} (%)	PN-EN 12697-8:2019, раздел 4	4,5
Пустоты, заполненные битумом, VFB (%)	PN-EN 12697-8:2019, раздел 5	70,5
Пустоты в минеральном заполнителе, VMA (%)	PN-EN 12697-8:2019, раздел 5	15,2
Устойчивость к постоянной деформации - Скорость колееобразования (WTS)	PN-EN 12697-22+A1:2008, маленькое устройство, способ В в воздухе	0,10
Устойчивость к постоянной деформации - Пропорциональная глубина колеи (PRD)	PN-EN 13108-20, D.1.6, 60°C, 10,000 циклов	5,3
Чувствительность к воде - Коэффициент прочности на растяжение (ITSR) (%)	PN-EN 12697-12:2018, кондиционировано при 40°C с одним циклом замораживания, исследовано при 25°C	93

Таблица 4: Физические свойства AC 16W 35/50

Сравнительную асфальтобетонную балку получали с использованием одной и той же методологии и материалов, без использования геокомпозита.

Испытание на усталость при четырехточечном изгибе.

Для проведения усталостных испытаний с контролем деформации при температуре приблизительно 13°C использовалось устройство для четырехточечного изгиба, схема которого показана на фигуре 3. Точки статического контакта расположены под балкой на расстоянии 740 мм, а точки динамического контакта расположены над балкой на расстоянии 247 мм. Испытываемая балка встраивалась в устройство с выравнивающим слоем, при этом центр балки был равноудален от каждой из точек статического и каждой из точек динамического контакта.

Затем, к балке через точки динамического контакта прикладывалось усилие до необходимой деформации и записывался начальный модуль жесткости (S_{ini}) балки. Затем, повторно применяли ту же деформацию с измерением модуля жесткости в каждом цикле. Усталостная долговечность определялась как точка, в которой измеренный модуль жесткости был вдвое меньше значения S_{ini} .

Этот эксперимент проводили как для асфальтобетонных балок, содержащих трехосную полимерную георешетку, так и для контрольных асфальтовых балок без георешетки при деформации 70 мкм (характерна для легкого движения), деформации 100 мкм (характерна для среднего движения) и деформации 130 мкм (характерна для интенсивного движения).

Результаты

Как показано на фигуре 4, включение трехосной полимерной георешетки в асфальтобетонную балку привело к неожиданно большому увеличению усталостной долговечности, с увеличением в 10,4,14,2 и 21,8 раза при деформации 130 мкм, деформации 100 мкм и деформации 70 мкм, соответственно, по сравнению со сравнительной асфальтобетонной балкой. Указанные неожиданные результаты, ясно демонстрируют положительное влияние на усталостную долговечность, полученное за счет включения многоосной георешетки в слой связанного заполнителя. Тот факт, что усталостная долговечность, улучшилась на порядок при всех испытанных нагрузках, был неожиданным и предполагает, что улучшение усталостной долговечности будет обнаружено для любого применения инженерной конструкции от применений, подверженных относительно тяжелым нагрузкам (например, на дорогах), до тех, которые подвержены более низким нагрузкам (например, пешеходных дорожках). Улучшение усталостной долговечности, при включении многоосной георешетки, также выгодно отличается от улучшений, обнаруженных для альтернативных материалов (таких как двухосные георешетки, биологические материалы и стекловолокна), обсуждаемые в разделе «Предшествующий уровень техники» этого патента.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

- 1. Инженерная конструкция, содержащая цельную многоосную полимерную георешетку, по меньшей мере частично встроенную в слой связанного заполнителя, при этом к георешетки прикреплен геотекстиль.
- 2. Инженерная конструкция по пункту 1, в которой георешетка представляет собой трехосную георешетку.
- 3. Инженерная конструкция по пункту 1 или пункту 2, в которой георешетка имеет радиальную секущую жесткость при 0,5% деформации по меньшей мере 100 кН/м.
- 4. Инженерная конструкция по любому из предыдущих пунктов, в которой георешетка имеет радиальную секущую жесткость при 2% деформации по меньшей мере 80 кН/м.
- 5. Инженерная конструкция по любому из предыдущих пунктов, в которой георешетка имеет коэффициент радиальной секущей жесткости (безразмерный) по меньшей мере 0,5.
- 6. Инженерная конструкция по любому из предыдущих пунктов, в которой георешетка имеет эффективность соединения по меньшей мере 90%.
- 7. Инженерная конструкция по любому из предыдущих пунктов, в которой георешетка имеет шаг (предпочтительно шаг шестигранника) по меньшей мере 30 мм.
- 8. Инженерная конструкция по любому из предыдущих пунктов, в которой георешетка имеет массу продукта по меньше мере $0,100~{\rm kr/m^2}.$
- 9. Инженерная конструкция по любому из предыдущих пунктов, в которой георешетка имеет, по существу, постоянную толщину.
- 10. Инженерная конструкция по любому из предыдущих пунктов, в которой ось, параллельно которой проходят удлиненные элементы, составляющие георешетку, проходит в машинном направлении.
- 11. Инженерная конструкция по любому из предыдущих пунктов, дополнительно содержащая по меньшей мере один дополнительный слой, выбранный из земляного полотна, слоя основания, предварительно связанного заполнителя (который может быть частично измельчен) и выравнивающего слоя.
- 12. Инженерная конструкция по пункту 11, в которой по меньшей мере один дополнительный слой расположен ниже многоосной георешетки.
- 13. Инженерная конструкция по пункту 10 или пункту 11, дополнительно содержащая поверхностное покрытие, такое как связующий слой, между георешеткой и по меньшей мере одним дополнительным слоем.
- 14. Инженерная конструкция по любому из предыдущих пунктов, в которой слой связанного заполнителя содержит асфальтобетон.
- 15. Инженерная конструкция по любому из предыдущих пунктов, в которой размер частиц заполнителя находиться в диапазоне от 5 до 35 мм.
- 16. Инженерная конструкция по любому из предыдущих пунктов, в которой среднее расстояние между многоосной георешеткой и поверхностью заполнителя находится в

диапазоне от 300 до 60 мм.

17. Способ изготовления инженерной конструкции, включающий стадии:

обеспечения цельной, многоосной полимерной георешетки к которой на подложку крепится геотекстиль;

нанесения слоя заполнителя, для по меньшей мере частичного встраивания георешетки в слой заполнителя; и

связывания слоя заполнителя с образованием слоя связанного заполнителя, в который по меньшей мере частично встроена георешетка.

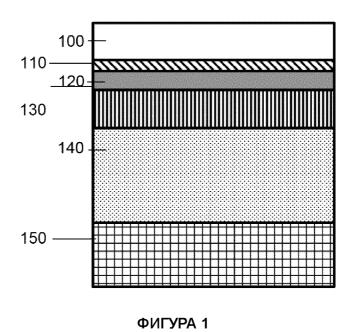
- 18. Способ обеспечения инженерной конструкции, демонстрирующий улучшенную усталостную долговечность, путем по меньшей мере частичного встраивания цельной многоосной полимерной георешетки, к которой прикреплен геотекстиль, в заполнитель, до связывания заполнителя с образованием слоя связанного заполнителя, содержащегося в инженерной конструкции.
- 19. Способ обеспечения инженерной конструкции с уменьшенной глубиной, путем по меньшей мере частичного встраивания цельной многоосной полимерной георешетки, к которой прикреплен геотекстиль, в заполнитель, до связывания заполнителя с образованием слоя связанного заполнителя, содержащегося в инженерной конструкции.
- 20. Способ по любому из пунктов 17-19, в котором георешетка представляет собой трехосную георешетку.
- 21. Способ по любому из пунктов 17-20, в котором георешетка имеет радиальную секущую жесткость при 0,5% деформации по меньшей мере 100 кН/м.
- 22. Способ по любому из пунктов 17-21, в котором георешетка имеет радиальную секущую жесткость при 2% деформации по меньшей мере 80 кН/м.
- 23. Способ по любому из пунктов 17-22, в котором георешетка имеет коэффициент радиальной секущей жесткости (безразмерный) по меньшей мере 0,5.
- 24. Способ по любому из пунктов 17-23, в котором георешетка имеет эффективность соединения по меньшей мере 90%.
- 25. Способ по любому из пунктов 17-24, в котором георешетка имеет шаг (предпочтительно шаг шестигранника) по меньшей мере 30 мм.
- 26. Способ по любому из пунктов 17-25, в котором георешетка имеет массу продукта по меньше мере $0,100~{\rm kr/m^2}.$
- 27. Способ по любому из пунктов 17-26, в котором георешетка имеет, по существу, постоянную толщину.
- 28. Способ по любому из пунктов 17-27, в котором ось, параллельно которой проходят удлиненные элементы, составляющие георешетку, проходит в машинном направлении.
- 29. Способ по любому из пунктов 17-28, в котором предусмотрен по меньшей мере один дополнительный слой, выбранный из земляного полотна, слоя основания, предварительно связанного заполнителя (который может быть частично измельчен) и выравнивающего слоя.

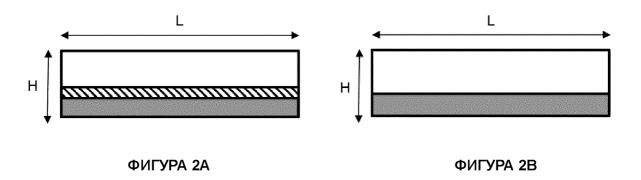
- 30. Способ по пункту 29, в котором по меньшей мере один дополнительный слой предусмотрен ниже многоосной георешетки.
- 31. Способ по пункту 29 или пункту 30, дополнительно содержащий поверхностное покрытие, такое как связующий слой, между георешеткой и по меньшей мере одним дополнительным слоем.
- 32. Способ по любому из пунктов 17-31, в котором слой связанного заполнителя содержит асфальтобетон.
- 33. Способ по любому из пунктов 17-32, в котором размер частиц заполнителя находиться в диапазоне от 5 до 35 мм.
- 34. Способ по любому из пунктов 17-32, в котором среднее расстояние между многоосной георешеткой и поверхностью заполнителя находится в диапазоне от 300 до 60 мм.
- 35. Применение цельной, многоосной полимерной георешетки к которой прикреплен геотекстиль, для повышения усталостной долговечности инженерной конструкции, при этом инженерная конструкция содержит многоосную полимерную георешетку, по меньшей мере, частично встроенную в связанный слой заполнителя.
- 36. Применение цельной, многоосной полимерной георешетки к которой прикреплен геотекстиль, для уменьшения глубины инженерной конструкции, при этом инженерная конструкция содержит многоосную полимерную георешетку, по меньшей мере, частично встроенную в связанный слой заполнителя.
- 37. Применение по пункту 35 или пункту 36, в котором георешетка представляет собой трехосную георешетку.
- 38. Применение по любому из пунктов 35-37, в котором георешетка имеет радиальную секущую жесткость при 0,5% деформации по меньшей мере 100 кН/м.
- 39. Применение по любому из пунктов 35-38, в котором георешетка имеет радиальную секущую жесткость при 2% деформации по меньшей мере 80 кН/м.
- 40. Применение по любому из пунктов 35-39, в котором георешетка имеет коэффициент радиальной секущей жесткости (безразмерный) по меньшей мере 0,5.
- 41. Применение по любому из пунктов 35-40, в котором георешетка имеет эффективность соединения по меньшей мере 90%.
- 42. Применение по любому из пунктов 35-41, в котором георешетка имеет шаг (предпочтительно шаг шестигранника) по меньшей мере 30 мм.
- 43. Применение по любому из пунктов 35-42, в котором георешетка имеет массу продукта по меньше мере $0,100~{\rm kr/m^2}$.
- 44. Применение по любому из пунктов 35-43, в котором георешетка имеет, по существу, постоянную толщину.
- 45. Применение по любому из пунктов 35-44, в котором ось, параллельно которой проходят удлиненные элементы, составляющие георешетку, проходит в машинном направлении.
 - 46. Применение по любому из пунктов 35-43, в котором инженерная конструкция

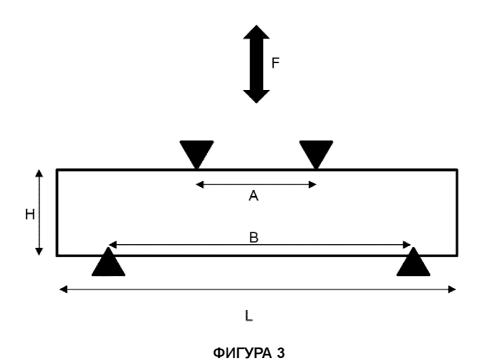
дополнительно содержит по меньшей мере один дополнительный слой, выбранный из земляного полотна, слоя основания, предварительно связанного заполнителя (который может быть частично измельчен) и выравнивающего слоя.

- 47. Применение по пункту 46, в котором по меньшей мере один дополнительный слой предусмотрен ниже многоосной георешетки.
- 48. Применение по пункту 46 или пункту 47, в котором инженерная конструкция дополнительно содержит поверхностное покрытие, такое как связующий слой, между георешеткой и по меньшей мере одним дополнительным слоем.
- 49. Применение по любому из пунктов 35-48, в котором слой связанного заполнителя содержит асфальтобетон.
- 50. Применение по любому из пунктов 35-49, в котором размер частиц заполнителя находиться в диапазоне от 5 до 35 мм.
- 51. Применение по любому из пунктов 35-50, в котором среднее расстояние между многоосной георешеткой и поверхностью заполнителя находится в диапазоне от 300 до 60 мм.

По доверенности









ФИГУРА 4