



# Асфальтовая арматура из стекловолокна и углеродного волокна

Легкоукладываемый материал, позволяющий избежать распространения трещин и образования желобков на дорожном полотне

А. Бруггер и дипломированный инженер Д. Груневальд, Крифтель

## Введение

Принцип действия асфальтовой арматуры из стекла или стали известен. Однако сбыт таких арматур на рынке в прошлом сдерживался в связи с трудностями при укладке этого материала и отсутствием послойной конструкции для поглощения усилий. Арматурные решетки, предварительно пропитанные битумом (патентная заявка подана фирмой S&P), легко укладываются и обеспечивают необходимое сцепление при сдвиге с подстилающим грунтом. Асфальтовую арматуру кладут поверх существующего покрытия, в котором уже имеются трещины, еще до укладки верхнего битумного слоя. Для получения хорошего сцепления слоев после укладки покрытия следует предотвращать движение арматурной решетки во время укладки покрытия.

Сцепление обычных решеток из полиэфирных материалов (сложный полиэфир), полипропилена или стекла со старым слоем покрытия является недостаточным. Во время укладки покрытия из-за неровностей подстилающего грунта на арматурной решетке образуются волнистые участки. Это ведет к образованию дефектов дорожного полотна и ухудшает сцепление слоев. На участках наклона дороги, узких радиусах кривой, а также при использовании укладочных машин с гусеницами, следует учитывать возможность движения в арматурной решетке во время укладки верхнего асфальтового слоя и, как следствие – ухудшение сцепления слоев.

Примерно шесть лет назад на рынке появилось новое поколение асфальтовой арматуры из стекла. Поверхность решеток, предварительно пропитанных вместе с нетканым материалом покрытия полимерным битумом, посыпается кварцевым песком. С нижней стороны имеется обожженная пленка. Процесс укладки можно сравнить с укладкой уплотняющего слоя (полимерный битум) - см. рис. 1. Любое движение арматуры покрытия при укладке верхнего слоя асфальта, благодаря оптимальному сцеплению слоев исключается. Сцепление двух асфальтовых слоев хорошее. Дополнительный полимерный битум, укладываемый вместе с асфальтовой арматурой, подвергнутой предварительной пропитке, увеличивает прочность сцепления.

В 2001 году впервые вместо пропитанного битумом стекловолокна для упрочнения асфальтовых покрытий было использовано пропитанное битумом углеродное волокно (С-волокно). Ниже приводится сравнение арматуры из углеродного волокна и обычных арматур.

## Асфальтовая арматура

В основном различают два вида асфальтовой арматуры:

- асфальтовая арматура для статического усиления.  
На практике используются решетки из следующих видов исходного волокна:
  - сталь;
  - стекло;
  - полиэфирный материал (сложный полиэфир) / полипропилен;
  - углеродное волокно (новинка).
- промежуточные слои для снятия напряжения (уплотнительные мембраны SAMI).

Используются нетканые материалы покрытия из следующих видов исходного волокна:

- PP (полипропилен);
- PES (полиэфирный материал — сложный полиэфир);
- стекло.

На рынке имеются и комбинированные материалы (решетки из нетканых материалов). В комбинированных материалах решетка принимает на себя статическую функцию (арматура), а нетканый материал действует как уплотнительная мембрана SAMI.

Исходные волокна с высоким модулем упругости могут поглощать усилия при малых растяжениях и поэтому могут использоваться в качестве асфальтовой арматуры. Волокна с низким модулем упругости следуют за растяжениями, прежде чем усилия могут быть поглощены. Кроме того, имеются волокна, которые не могут поглощать поперечные (изгибающие) усилия, они рецикличны и в принципе пригодны для использования в асфальтовой арматуре.

В таблице 1 показано, что углеродное волокно может превосходно использоваться в асфальтовой арматуре. Идеальный вариант – это нетканое волокно покрытия, изготовленное из стекловолокна или полипропиленового волокна. Стекловолокно пригодно для применения в качестве арматуры и в качестве нетканого волокна покрытия. Асфальтовая арматура используется для предотвращения образования желобков на дорожном полотне, а также распространения существующих трещин в новом верхнем слое. Исходное волокно для асфальтовой арматуры должно быть целевым образом оптимизировано.

Таблица 1

Обзор модулей упругости / рецикличности усилительного волокна

Тип волокна	Модуль упругости (Н/мм <sup>2</sup> )	Волокно рециклично (не может поглощать поперечные усилия)	Пояснения
Углеродное волокно	240 000	да	Материал идеален в качестве асфальтовой арматуры
Арамид (кевлар)	120 000	нет	Материал не пригоден в качестве асфальтовой арматуры
Стекло	65 000	да	Материал идеален в качестве асфальтовой арматуры или нетканого покрытия
Полиэфирный материал (сложный полиэфир)	15 000	нет	Материал не пригоден в качестве асфальтовой арматуры
Полипропилен	12 000	да	Материал идеален в качестве нетканого покрытия
Сталь (сравнение)	210 000	нет	Материал мало-пригоден в качестве асфальтовой арматуры

## Оптимизация асфальтовой арматуры

В оптимизированной асфальтовой арматуре фирмы S&P используются различные виды волокна:

- в долевом направлении: недорогое стекловолокно;

- в поперечном направлении (перпендикулярно трещине или желобку):

дорогое углеводородное волокно.

Продукция предлагается в виде арматурных решеток, предварительно пропитанных полимерным битумом Glasphalt G / Carbophalt G, или в виде комбинированных нетканых решетчатых материалов Glasphalt bit. Фиксирование материалов, предварительно пропитанных битумом, на основании осуществляется путем обжигания защитной пленки. Затем материал укатывается. Сразу после укатывания асфальтовой арматуры разрешается движение по ней транспортных средств.

Практика показывает, что отрывание этой предварительно битуминированной решетки под действием транспортного движения уже невозможно. Приведем пример из практики: однажды был получен неверный прогноз погоды, и уложенная асфальтовая арматура в течение двух недель в дождливое время года пролежала под открытым небом, прежде чем начались работы по укладке асфальта. В течение этого периода времени тысячи единиц транспорта, в том числе мотоциклов, проехали по влажной поверхности армированного покрытия. Посыпанная песком поверхность решетки обеспечивала сцепление полотна, предназначенного для укладки поверх него асфальтового покрытия. Ни водители автомобилей, ни мотоциклисты не жаловались на шероховатость уже армированной асфальтовой поверхности. И только через две недели предварительно битуминированные решетки были покрыты верхним слоем.

Если имеется возможность не допускать в течение нескольких часов транспортного движения по дорожному полотну, то нетканые материалы Glasphalt GS / Carbophalt GS можно класть на предварительно нанесенную битумную эмульсию. Предварительное битумное покрытие обычно состоит из 1,5 кг/м<sup>2</sup> 70 %-ной эмульсии или 1 кг/м<sup>2</sup> горячего битума. Решетка из нетканых материалов обеспечивает статическое усиление и действует как дополнительная уплотнительная мембрана SAMI.

### Армированные асфальтовые слои при длительной динамической нагрузке

Голландская фирма - инженерное бюро и исследовательская лаборатория NPC (Netherlands Pavement Consultants) - занимается исключительно битумными покрытиями. Специалистами этой фирмы был разработан метод тестирования предела прочности асфальтовых слоев под динамической нагрузкой. Исследовалось действие различных асфальтовых арматур. В отчете об испытаниях (NPC № 018463) впервые отмечалось отличное действие материала Carbophalt G (предварительно битуминированная решетка из углеродного волокна).

На существующее асфальтовое покрытие толщиной 3 см была уложена арматура покрытия в соответствии с данными фирмы-производителя. Поверх арматуры был уложен и уплотнен слой асфальта толщиной 6 см. Динамической нагрузке с определенной частотой подвергалась четырехточечная траверса. Температура окружающей среды образца покрытия постоянно держалась на уровне 5° С. Воздействие динамической нагрузки продолжалось до излома или до необратимой деформации – 35 мм – испытуемого образца. Измеренное количество движений является сравнительным критерием (ожидаемый срок службы испытуемого образца).

### Результаты испытаний

В процессе испытаний было установлено, что асфальтовая арматура замедляет процесс образования трещин. Проникание трещины через новый слой асфальта ведет к необратимой деформации - к излому образца асфальта. Таким образом, полученный результат может указывать на ожидаемый срок службы асфальтового покрытия. Эти выводы носят чисто теоретический характер и не учитывают абразию (истирание), износ, а также другие негативные воздействия, например, опускание подстилающего грунта.

Образцы асфальта, армированные материалом Carbophalt G, показали отличные свойства по образованию трещин при длительном воздействии нагрузки. Ожидаемый срок службы при длительной динамической нагрузке асфальтовых покрытий, армированных углеродным волокном, теоретически в 35 раз выше, чем срок службы не армированных асфальтовых покрытий. Кроме того, при использовании этих новых, предварительно битуминированных, арматур из углеродного волокна можно рассчитывать на существенное снижение образования желобков на дорожном полотне.

Углеродное волокно в любом случае должно укладываться перпендикулярно (поперек) к направлению движения транспорта. Чтобы углеродное волокно могло поглощать усилия, совершенно необходимо безупречное сцепление между двумя асфальтовыми слоями. В процессе испытаний до поджигания асфальтовой арматуры укладывали 300 г/м<sup>2</sup> битумной добавки (эмульсии), улучшающей сцепление.

На рис. 3 показаны пояснения к результатам, отраженным в таблице 2, и к показателям быстрого поглощения силы карбоновым волокном в связи с высоким модулем упругости.

На рис. 4 показано, что растягивающие усилия от моделированного давления колеса поглощаются углеродным волокном. Эти силы передаются (как напряжения при сдвиге) в верхний и нижний асфальтовые слои слоистой конструкции дорожной одежды. При проблемах со сцеплением между слоями возникает опасность роста трещин вдоль контактной поверхности двух асфальтовых слоев и их дальнейшего распространения в конце решетки.

Решетки из углеродного волокна должны покрывать, помимо поверхности полосы движения (проезжей части), и зону анкерного крепления с двух сторон – на ширину 0,5 м с каждой стороны. Идеально, чтобы вся поверхность проезжей части была покрыта арматурой из углеродного волокна. При использовании арматурных материалов с более низким модулем упругости, например, из стекла, возможно использование локальных усилений. При использовании усилений с предварительно битуминированной стеклянной решеткой Glasphalt G в процессе испытаний было установлено, что ожидаемый теоретический срок службы асфальтового образца увеличился на коэффициент 6.

### **Слоистая конструкция армированных асфальтовых покрытий**

Специалисты фирмы Consultest AG, института испытания материалов (Оринген-Швайц), провели испытания сцепления различных армированных асфальтовых слоев. Существующий асфальтовый слой толщиной 3 см был срезан фрезой на 3 см в глубину, а затем поверх него был уложен асфальтовый слой толщиной 3 см (гранулометрический состав 11 мм). Битумный слой до укладки асфальтовой арматуры состоял из лакового битума 150 - 200 г/м<sup>2</sup>.

Строительство опытного участка дороги производилось с помощью обычных укладочных и уплотнительных машин. Различные, предварительно битуминированные, решетки из стекловолокна и углеродного волокна и не пропитанные битумом решетки из стекла были уложены в качестве промежуточного слоя, затем проводились испытания сцепления.