

quality of a sample but also considerably improved an exterior form design of a drill. All this will allow increasing the competitive strength of a sample on a home market.

УДК 625.855.003.13

РАСЧЕТ АРМИРОВАННЫХ ГЕОСЕТКАМИ КОНСТРУКЦИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НЕЖЕСТКОГО ТИПА ПО КРИТЕРИЮ ИХ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ

А.В. Бусел, А.И. Смыковский

Одной из важнейших дорожно-эксплуатационных проблем является обеспечение трещиностойкости дорожных покрытий. По данным Кретова В.А., до 80 % протяженности покрытий дорог России имеют поперечные трещины, при этом до 20 % трещин имеют ширину раскрытия более 5 мм и являются сквозными [1]. Похожая ситуация наблюдается и на дорогах Республики Беларусь. Данный дефект существенно влияет на режим работы покрытия, приводя к очевидному ухудшению технико-эксплуатационных параметров дорог.

До недавнего времени основным способом, использовавшимся для предотвращения образования трещин, было усиление существующих конструкций новыми слоями асфальтобетона толщиной не менее 15 см, что приводило к значительному удорожанию ремонтных мероприятий, не решая при этом задачи обеспечения требуемых транспортно-эксплуатационных показателей (появление колеяности и т.п.).

Исследованиями, проводившимися в странах Западной Европы и Америки, было установлено, что применение армирующих прослоек (АП) в асфальтобетонных покрытиях позволяет получить существенный экономический эффект в виде увеличения межремонтных сроков службы покрытий со значительным улучшением технико-эксплуатационных показателей дорожных одежд [2].

Принцип армирования асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог и аэродромов начал использоваться с 30-х годов XX века и в настоящее время получил широкое распространение особенно на грузонапряженных маршрутах.

Первоначально в качестве армирующих изделий использовались металлические сетки, однако их широкое применение сдерживалось склонностью к коррозии и высокой стоимостью, что потребовало изыскания более эффективных решений. Наиболее эффективным решением оказалось использование геосеток из синтетического или стекловолокна.

В Республике Беларусь вопросам трещиностойкости асфальтобетона уделяется большое внимание. Так, при реконструкции автомобильной дороги М1/Е30 под руководством д.т.н. Яромко В.Н. были разработаны и применены методы снижения образования отраженных трещин с использованием геотекстильных материалов [3].

Номенклатура применяемых геосеток для армирования дорожных покрытий весьма широка. Для их изготовления применяются стеклянные волокна, синтетические полимеры: полиэфир, полипропилен и т.д. Волокна могут быть предварительно пропитаны синтетическими смолами, клеями, битумом и т.п.

Для широкого применения геосеток в дорожном строительстве важным является то, чтобы параметры, характеризующие работоспособность геосеток в конструкциях дорожных одежд и зависящие от вида волокон, ячеистости и т.п. соответствовали условиям их работы в дорожной конструкции.

Для определения параметров работоспособности геосеток был разработан ряд методик.

Яромко В.Н. [3] предложил методику, основанную на сопоставлении данных армирующего эффекта (прирост количества трещин, их длины). Эти показатели используются для комплексного анализа эффективности мероприятий по борьбе с

образованием отраженных трещин. По этой методике определяют коэффициент эффективности (K) применения АП:

$$K = L / \gamma \cdot h^2, \quad (1)$$

где $L = 1\text{ м}$ – эталонная длина участка покрытия;

γ – удельная длина трещин, м;

h – толщина нового слоя асфальтобетона, м.

Однако для реализации данной методике необходимы большие затраты на опытное строительство. Кроме того, эта методика не учитывает влияние прочностных и деформационных свойств АП на характер совместной работы системы «слой усиления – АП – существующий асфальтобетон (цементобетон)», т.е. не позволяет выбрать приемлемый вариант армирующего материала.

Другие исследователи, в частности, сотрудники фирмы «Hüesker» (ФРГ) [4], предлагают метод расчета эффективности использования геосеток в дорожных конструкциях на основании лабораторных испытаний, однако предложенная схема испытаний на изгиб не соответствует реальной работе слоя усиления покрытия, поскольку покрытие испытывает внецентренное растяжение [5].

Методика испытаний геосеток, предложенная специалистами ГП «ГосдорНИИ» (Россия) намного больше соответствует работе дорожного покрытия [6], однако испытание сетчатых материалов на предложенном приборе затруднено по причине несовершенства испытательного оборудования.

Общим недостатком указанных методик является то, что результаты испытаний не применимы в типовых расчетах дорожных конструкций.

Наиболее соответствует фактическим условиям эксплуатации дорог методика расчета толщины асфальтобетонных слоев усиления по критерию их температурной трещиностойкости, разработанная в РУП «БелдорНИИ» Корюковым В.П. [7]. Она учитывает, что максимальные температурные напряжения возникают в асфальтобетонном покрытии при максимальной амплитуде колебания температуры в течение суток в холодное время года. Поэтому было принято, что материал нового асфальтобетонного слоя, обладая вязко-упругими свойствами, является линейным терморологически простым телом. В то же время материал старого покрытия принимается упругим и лежащим на абсолютно жестком дорожном основании.

Суммарные максимальные температурные напряжения растяжения, которые имеют место над трещиной основания в новом слое покрытия, равны

$$\sigma_T = \sigma_{T_1} + \sigma'_{T_0} + \sigma''_{T_0}, \quad (2)$$

где σ_{T_1} – растягивающие напряжения, которые возникают при отрицательных температурах в новом покрытии;

σ'_{T_0} – растягивающие напряжения в новом покрытии, которые обусловлены раскрытием трещины при сокращении длины блока основания;

σ''_{T_0} – растягивающие напряжения в новом покрытии, возникающие на участке l_{np} над трещиной, где устроена армирующая прослойка и снижено сцепление между покрытием и основанием.

Было принято, что отраженных трещин в асфальтобетонном покрытии не образуется, если

$$\sigma_T \leq R^0, \quad (3)$$

где R^0 – предел прочности асфальтобетона при растяжении при 0°C .

Определяя необходимые параметры формулы (2), Корюковым В.П. была получена зависимость для расчета толщины асфальтобетонного слоя усиления дорожной одежды по критерию его температурной трещиностойкости

$$h = \frac{E_o h_o \Delta l \left(1 - \frac{l_{np}}{l}\right)}{\left(R^o - E_n \cdot \alpha_n \cdot \Delta T_n - E_o \cdot \alpha_o \cdot \Delta T_o \frac{l_{np}}{l} f\right) \cdot l} \quad (4)$$

где E_o , E_n – модули остаточной деформации асфальтобетонного основания и покрытия, МПа;

h_o – толщина асфальтобетонного трещиноватого основания, см;

Δl – ширина раскрытия трещин в асфальтобетонном основании, см;

l_{np} – ширина АП, см;

l – длина асфальтобетонного блока в основании, см;

α_n , α_o – коэффициенты линейной температурной деформации асфальтобетонного покрытия и основания, см;

R^o – предел прочности асфальтобетона при растяжении при 0 °С, МПа;

ΔT_n , ΔT_o – максимальная суточная амплитуда колебания температуры соответственно на поверхности покрытия и основания, град;

f – коэффициент сцепления между слоем усиления и асфальтобетонным основанием в месте укладки АП.

Однако и в данной методике основным недостатком является отсутствие учета армирующего эффекта от применения геосеток, который очевидным образом влияет на прочность слоя усиления дорожной одежды [8].

Для устранения вышеуказанных недостатков и получения достоверной методики расчета конструкций усиления примем, что армирующую способность прослоек можно определить через отношение прочностных показателей армированного покрытия к неармированному с получением *коэффициента армирования покрытия* (K_a). Очевидно, что применение прослоек в конструкциях усиления дорожных одежд будет оправданным, если $K_a \geq 1$ (прочность армированного слоя усиления должна быть выше прочности неармированного), а предпочтение, при соответствующем технико-экономическом обосновании, необходимо отдавать тому материалу АП, K_a которого выше.

Другой немаловажной особенностью, влияющей на возможность использования армирующих прослоек в дорожном строительстве, является их способность локально снижать сцепление старого покрытия и слоя усиления. Данный параметр обозначают как *коэффициент сцепления* (f). Применение прослойки в конструкциях дорожных одежд будет эффективным, если $f \leq 1$ (способность распределять нагрузку на большую площадь армированного слоя усиления должна быть выше, чем у неармированного).

Поскольку параметр R^o в формуле (4) зависит от армирующей способности применяющихся АП, то для корреляции параметров R^o и K_a необходимо предусмотреть ввод коэффициента приведения этих показателей друг к другу. Коэффициент приведения обозначим « ζ » и с учетом этого формулу (4) можно представить в виде:

$$h = \frac{E_o h_o \Delta l \left(1 - \frac{l_{np}}{l}\right)}{\left(R^o \cdot K_a \cdot \zeta - E_n \cdot \alpha_n \cdot \Delta T_n - E_o \cdot \alpha_o \cdot \Delta T_o \frac{l_{np}}{l} f\right) \cdot l} \quad (5)$$

где $\zeta = 0,85$ (расчитан по данным лабораторных испытаний).

В предлагаемом расчете нашли отражение как физико-механические, деформационные и реологические характеристики нового асфальтобетона, так и параметры состояния существующего покрытия. Например, использование в формуле модулей остаточной деформации (E_o) и (E_n) позволяет учитывать

реологические характеристики асфальтобетона, поскольку, в соответствии с данными д.т.н. Яромко В.Н. [3] модуль остаточной деформации асфальтобетона является характеристикой, учитывающей его вязко-упругие свойства.

В соответствии с результатами исследований Радовского Б.С. и Мозгового В.В. [9] линейный характер зависимости (5) определяется из условия работы конструкции усиления дорожной одежды в суточном ритме колебания температур в зимний период года и соответствия модуля упругости асфальтобетона дорожного покрытия его мгновенному значению. Это позволяет рассматривать поведение асфальтобетонного слоя усиления дорожного покрытия в рамках его вязко-упругих свойств в виде модели среды Максвелла, что и предопределяет хрупкий характер разрушения материала покрытия.

Опытная проверка разработанной методики расчета конструкций усиления дорожных одежд нежесткого типа по критерию температурной трещиностойкости была проведена в процессе опытно-технологических работ по устройству конструкции усиления дорожной одежды автомобильной дороги М1/Е30 (участок «Тельмы-Козловичи»).

Опытный участок состоял из 4 опытных секций (см. рис.1), включающих проведение мероприятий, устраняющих отраженные трещины и контрольного участка, отремонтированного по традиционной технологии.

Секция № 1 представляла собой участок, где проведено разделение существующего покрытия на более мелкие блоки путем устройства прорезей с обеих сторон от температурной трещины на расстоянии 0,5 м.

Секция № 2 включала армирующую прослойку из стеклосетки. Параметры работоспособности стеклосетки: коэффициент армирования $K_a = 1,93$, коэффициент сцепления $f = 0,79$.

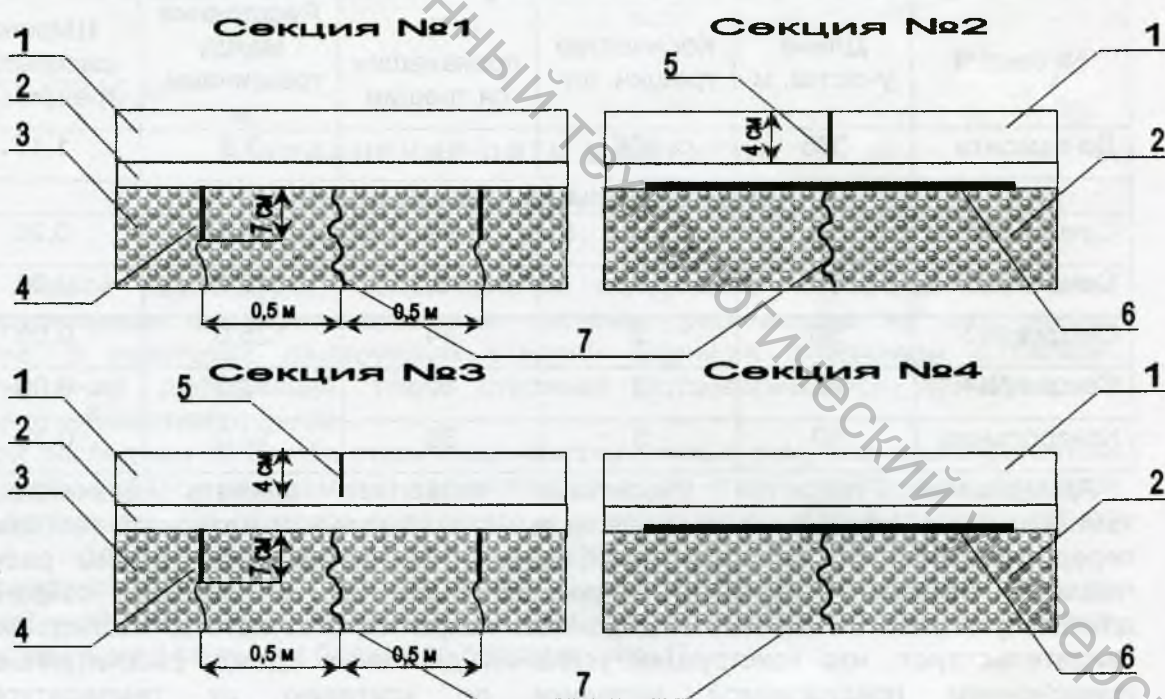


Рисунок 1 - Схема устроенных опытных конструкций дорожного покрытия

1 – асфальтобетонный слой усиления; 2 – выравнивающий слой; 3 – существующее асфальтобетонное покрытие; 4 – прорези в существующем покрытии; 5 – деформационный шов; 6 – стеклосетка; 7 – температурная трещина

Конструкция слоя усиления на секции № 2 отличается тем, что в новом покрытии над температурными трещинами нарезают прорези на глубину 4 см.

На секции № 3 было произведено разделение существующего покрытия на более мелкие блоки для снижения максимальных растягивающих напряжений, возникающих при низких температурах в старом асфальтобетоне и передающихся на слои усиления.

Устройство прорезей производилось на расстоянии, равном 0,5 м с обеих сторон от температурной трещины. Затем в новом покрытии устраивали деформационный шов над трещиной в старом покрытии.

Секция № 4 включала армирующую прослойку из стеклосетки без нарезки деформационных швов в новом асфальтобетонном покрытии.

На соседнем участке (контрольном) ремонт был устроен по традиционной технологии (наращивание толщины покрытия).

Толщина верхнего асфальтобетонного слоя усиления на данном участке, рассчитанная по предлагаемой методике при использовании стеклосетки с указанными параметрами составила 8 см из мелкозернистого асфальтобетона типа «А» по действующим нормативным документам.

В процессе эксплуатации опытного участка дороги проводилось систематическое наблюдение за состоянием покрытия, наличием и развитием температурных трещин.

Обследование опытного участка после 2 лет показало, что он находится в удовлетворительном состоянии (см. табл.). Приведенные результаты обследований опытного участка подтверждают эффективность применения предложенных ремонтных мероприятий с применением геосеток с заранее известными параметрами работоспособности.

Таблица – Результаты визуального обследования опытного участка

№ секции	Длина участка, м	Количество трещин, шт.	% проявившихся трещин	Расстояние между трещинами, м	Ширина раскрытия трещин, см
До ремонта	335	108	-	3,5	1,17
Участок покрытия после ремонта					
Секция №1	50	4	29	12,5	0,20
Секция №2	85	2	8	42,5	0,03
Секция №3	50	2	14	25,0	0,05
Секция №4	100	3	10	33,3	0,05
Контрольная	50	5	36	10,0	0,30

Армирование покрытий геосетками позволяет снижать возникающие температурные напряжения, погашая их в высокомодульном материале геосетки и перераспределяя по площади армирования, что нормализует режим работы покрытия, повышает надежность дорожной конструкции и позволяет сохранять длительную работоспособность дорожных покрытий. Результаты исследований свидетельствуют, что конструкции усиления дорожных одежд, рассчитанные с применением предлагаемой методики по критерию их температурной трещиностойкости с использованием параметров работоспособности геосеток, позволяют решить задачу по снижению количества отраженных трещин.

Список использованных источников

1. Кретов В.А., Крамер Е.Л., Руденский А.В. Отраженное трещинообразование в асфальтобетонных покрытиях // Наука и техника в дорожной отрасли - М., №1, 1998. - С. 3 - 6.
2. Мерзликин А.Е., Гладков В.Ю., Гамеляк И.П. Армирование асфальтобетонных покрытий с помощью прослоек // Автомобильные дороги. Обзорная информация, М. 1990 - Вып.5. – С. 6-20.

3. Яромко В.Н. Реабилитация дорожных покрытий. – Минск, 2002. – 106 с.
4. Армирование асфальтобетона // Буклет фирмы «Hüesker», Gescher, 2001.
5. Салль А.О. Оценка температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий // Автомобильные дороги. - М. 1988. - №2. – С. 11-12.
6. Перков Ю.Р., Фомин А.П. «Применение трещинопрерывающих прослоек из геотекстильных материалов при усилении дорожной одежды» - Сб. научн. тр./ГП РОСДОРНИИ, вып.8, М.-1996.- С. 109-117.
7. Рекомендации по расчету и технологии устройства конструкций усиления дорожных одежд нежесткого типа, снижающих образование отраженных трещин // Корюков В.П., Смыковский А.И. и др. – Минск, БелдорНИИ, 2004. – 28 с.
8. Кураго П. А. Применение стеклосетки во Владимирской области // Сб. науч. тр./ СоюздорНИИ. – М. 2001. - С.136-138.
9. Радовский Б.С., Мозговой В.В. Температурные напряжения в асфальтобетонном покрытии, лежащем на основании с трещинами либо швами // Повышение долговечности дорожных конструкций / Труды СоюздорНИИ, М.-1986. - С. 29- 46.

SUMMARY

Well-known methods of calculation of roads constructions don't take into account the influence of arming elements.

The main parameter of suitability of geonets is ability for increase the durability of road surfacing because of its arming.

We offer a methodic of calculation of roads constructions with according their temperature of steadiness, were are used parameters of capacity for work of geonets.

УДК 620.10 (07)

УРАВНЕНИЕ ПЯТИ МОМЕНТОВ

*А.А. Калинин, Д.А. Глинский,
Д.А. Гогорев, О.В. Янушонок*

В первой части курса "Сопротивление материалов" изучаются статически неопределимые шарнирно-стержневые системы, работающие на растяжение-сжатие. В некоторых конструкциях стержни шарнирно соединены с балкой. Соотношение деформаций таких стержней устанавливаются при условии абсолютной жесткости балки.

При исследовании изгиба статически неопределимых рам, или многопролетных неразрезных балок методом сил предполагается, что опоры конструкции являются неподатливыми. На практике представляет интерес неразрезная многопролетная балка, опирающаяся на упругие шарнирные опоры.

Предлагается типовой расчет такой балки с пролетами равной длины, нагруженной произвольной нагрузкой, в том числе и сосредоточенными силами, приложенными к сечениям балки над опорами (рис. 1).