

УДК 625.75:536.2

Иван Иосифович ЛЕОНОВИЧ,
доктор технических наук,
профессор,
заведующий кафедрой
"Строительство и эксплуатация
дорог"
Белорусского национального
технического университета

Юрий Георгиевич БАБАСКИН,
доцент кафедры
"Строительство и эксплуатация
дорог"
Белорусского национального
технического университета

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ УСИЛЕНИЯ ЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

IMPROVEMENT OF REINFORCING METHODS OF RIGID ROAD CONSTRUCTIONS

Совершенствование методов усиления жестких дорожных конструкций связано с образованием дефектов, возникающих в результате температурных напряжений в цементобетонной плите, и выражается в устранении непосредственного воздействия солнечной радиации на открытую плиту и повышении прочности в местах значительных вертикальных деформаций.

Perfection of methods of strengthening of rigid road designs is connected to formation of the defects, arising as a result of temperature pressure in cement concrete plate, and expressed in elimination of direct influence of solar radiation on an open plate and increase of durability in places of significant vertical deformations.

ВВЕДЕНИЕ

В мировой практике строительство жестких дорожных покрытий является приоритетным направлением расширения сети автомобильных дорог. Жесткие покрытия, к которым относятся цементобетонные, обладают рядом преимуществ перед остальными типами покрытий. Прежде всего, — это высокая прочность и долговечность, определяющие межремонтные сроки больше, чем у нежестких покрытий; это доступность основного вяжущего материала и его сравнительно низкая стоимость с учетом растущей тенденции по увеличению стоимости добываемой нефти; это возможность полной механизации всего технологического процесса — от приготовления бетона до устройства из него дорожного покрытия — и возможность выпуска широкого спектра вяжущего с заранее запрограммированными свойствами для конкретных условий эксплуатации.

ХАРАКТЕРИСТИКА ЖЕСТКИХ ПОКРЫТИЙ И ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ

В Республике Беларусь все магистральные дороги имеют участки с цементобетонным покрытием. Общая протяженность дорог с жестким покрытием различной технической категории по республике составляет около 2 тыс. км.

Жесткими такие покрытия называют потому, что материал — цементный камень — образует кристаллическую структуру — прочную, но одновременно и хрупкую, которая при разрушении не восстанавливается. К жестким дорожным одеждам предъявляются следующие требования:

- по трещиностойкости покрытия в целом и его конструктивных слоев в частности, способных сопротивляться изгибу (оценивается допустимым напряжением растяжения при изгибе);

- по прочности дорожной одежды в целом (оценивается допустимым напряжением сдвига в грунтах земляного полотна);

- по продольной устойчивости покрытия (оценивается критическим напряжением сжатия, возникающим в покрытии при повышении его температуры);

- по морозостойкости дорожной одежды (оценивается допустимым зимним вспучиванием покрытия);

- по шероховатости поверхности покрытия (оценивается допустимым коэффициентом сцепления колеса с покрытием).

Опыт эксплуатации автомобильных дорог с цементобетонным покрытием показывает, что под воздействием автомобильного движения и погодно-климатических факторов происходит постепенное ухудшение состояния покрытия в результате образования различных видов дефектов. Причины возникновения этих дефектов можно классифицировать следующим образом.

1. Возникновение температурных напряжений в цементобетонной плите, приводящих к образованию различного вида трещин. Одновременно с появлением трещин в покрытии начинается процесс постепенного смещения частей плит по вертикали, приводящий к образованию ступеней и перекосов плит. В результате ровность покрытия становится неудовлетворительной.

2. Постоянно растущая осевая нагрузка от автомобильного транспорта с учетом ее динамического воздействия в отдельных случаях превышает расчетные показатели и приводит к раскалыванию плиты. Особенно этот процесс усугубляется в весенний период, когда прочность грунтов земляного полотна заметно уменьшается. В настоящее время по дорогам республики перемещаются автомобили с нагрузкой на заднюю спаренную ось, достигающую до 282 кН. Например, автомобиль с формулой по УЕ: 3P (26 т) — до 190 кН; 2С + 2N (26 т) — до 200 кН; 3С + 3N (44 т) — до 240 кН (282 кН), где P — нагрузка на ось, С — число осей тягача, N — число осей полуприцепа.

3. Возникновение внутренних коррозионных процессов (являющихся в основном следствием первых двух причин, но в некоторых случаях, — при использовании некачественного материала при приготовлении бетона) может начать проявлять свое агрессивное воздействие на деструктуризацию цементного камня с самого начала эксплуатации дороги. Наиболее ярко этот процесс проявляется при таком дефекте, как шелушение.

Основные виды коррозии можно подразделить на три группы. Первая группа объединяет процессы разрушения, возникающие при контакте цементобетона с водой, которая растворяет, вымывает и уносит составляющие цемента (таблица 1), т. е. СаО переходит в раствор и ослабляет прочность цементного камня (таблица 2).

Таблица 1. Реакция вяжущих веществ с водой

Реакция	Молекулярная масса исходных и образующихся веществ	Плотность каждого вещества, г/см ³	Абсолютный объем исходных и образующихся веществ, см ³	Объемное отношение образующейся твердой фазы к исходной фазе
CaO + H ₂ O = Ca(OH) ₂	56,08+18,016= 74,096	3,35	16,74+18,016= 34,756	1,98
		1,00		
		2,24		

Таблица 2. Снижение прочности цементобетона

Потеря CaO, %	10	20	33
Снижение прочности, %	10	25	Полное разрушение

В этом случае большое значение имеет химический состав цемента [1]. Такая коррозия является опасной для дорожных плит, если верхняя часть покрытия не защищена гидрофобным материалом или не имеет повышенной плотности. Скорость коррозии, относящейся к первой группе, уменьшается за счет карбонизации бетона, т. е. образования нерастворимых соединений



Вторая группа объединяет процессы воздействия химических веществ (возможно, растворенных в воде) на компоненты, составляющие структуру цементного камня. При этом происходит разрушение структуры гидратированных частиц цемента. К этой группе относят процессы коррозии, связанные с воздействием на бетон различных кислот или солей. Практически любая кислота растворяет цементный камень

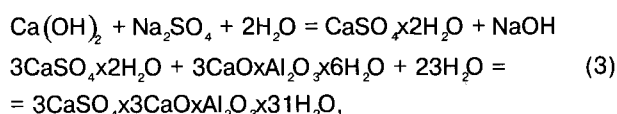


где CaCl₂ — легкорастворимый хлористый кальций.

Механизм воздействия солей можно пронаблюдать на процессе гидролиза трехкальцевого силиката с образованием гидрата окиси кальция, который взаимодействует с солью с образованием хлористого кальция и щелочи. Хлористый кальций сравнительно легко растворяется в воде, а гидрат окиси натрия (см. (3)) выпадает в осадок в виде рыхлой и плохо растворимой в воде массы. Причем необходимо учитывать, что влияние на цементный камень катионов натрия и калия меньше, чем магния, который вызывает магниезально-сульфатную коррозию. На дорожный цементобетон такое влияние оказывает воздействие противогололедных реагентов в зимний период эксплуатации. Поэтому, большое значение имеет химический состав применяемых противогололедных смесей.

Третья группа объединяет процессы, вызванные обменными реакциями с составляющими цементного камня, дающими продукты, которые, кристаллизуясь в порах и капиллярах, разрушают его. К этому виду относятся: коррозия выщелачивания, кислотная (при pH < 7), углекислотная, сульфатная, магниезально-сульфатная коррозия.

Поступление, например, сульфата в грунтовые и поверхностные воды происходит за счет растворения сернокислых кальция, натрия и магния



где 3CaSO₄·3CaO·Al₂O₃·31H₂O — гидросульфатоалюминат кальция, объем которого увеличивается в 2 раза, в результате чего возникают напряжения.

К этой же группе относятся процессы воздействия малорастворимых солей, накапливаемых в порах и капиллярах бетона и вызывающих возникновение напряжений, которые приводят к разрушению бетона. При этом виде коррозии происходит взаимодействие щелочей с заполнителями, содержащими реакционноспособный кремнезем, который присутствует в средних и кислых эффузивных породах магматического происхождения. Реакция щелочи с кремнеземом протекает в две стадии: вначале происходит нейтрализация поверхности кремнезема, а затем разрыв кремнекислородных связей. Поверхность кремнезема вступает в реакцию с ионами одновалентных щелочных металлов.

4. Возникновение дефектов основания, которые могут быть вызваны или процессами фильтрации, протекающими в высоких насыпях и сопровождающиеся суффозионными явлениями, или капиллярным водонасыщением основания за счет применения грунтов пылеватых разновидностей, приводящих к механической поглотительной способности, проявляющейся в заиливании. Эти же процессы могут протекать непосредственно под основанием цементобетонной плиты — непосредственно в выравнивающем слое или в верхнем слое основания, который в результате морозобойного растрескивания потерял прочность и перешел в состояние сыпучего материала. Дефект основания выражается в образовании зоны разуплотнения или пустоты в теле насыпи или непосредственно под плитой в сечении шва. Наличие таких дефектов приведет к колебанию плиты при наезде колеса автомобиля на поперечный шов. Причем, эта деформация со временем будет прогрессировать, если не заполнить образовавшуюся пустоту вяжущим материалом, создав дополнительную опору, или не закрепить рыхлый, сыпучий, мелкозернистый материал вяжущим веществом.

Из обозначенных причин возникновения дефектов на первое место следует поставить температурные напряжения, которые возникают в цементобетонном покрытии на протяжении всего периода эксплуатации.

В строительной теплотехнике разделяют три вида теплопередачи [2-4]:

— лучистый или радиационный поток, связанный с нагреванием открытой поверхности сооружения. Для автомобильной дороги, представляющей собой протяженную, широкую, тонкую конструкцию, этот вид теплопередачи является основным. Кроме того, для такой конструкции важной характеристикой является теплоемкость, т. е. свойство материала при нагревании поглощать определенное количество тепла, оцениваемое коэффициентом теплоемкости, или количеством тепла, которое необходимо затратить для изменения температуры тела на 1 °С (прибор НТУ-1). Удельная теплоемкость — это теплоемкость единицы массы вещества;

— теплопроводность или кондукция, характеризуется относительно плавным изменением температур в конструкции. Этот вид теплопередачи важен для характеристики теплового режима внутренних слоев дорожной одежды или земляного полотна автомобильной дороги. Теплопроводность — это свойство материала передавать тепло, при котором теплообмен происходит только между смежными частицами тела. Экспериментальные методы определения коэффициента теплопроводности основаны на измерении количества тепла, проходящего через испытуемый образец нормированных размеров за определенное время при заданном перепаде температур (прибор КФ-1 К.Ф.Фокина, прибор Бока, прибор ВТИ, прибор НИИСМИ типа УТ-1-72);

— конвекция, представляющая собой перенос тепла за счет жидкости или газов.

Известно, что расширение материалов при нагревании оценивается коэффициентами линейного и объемного расширения, показывающими величину изменения длины или объема данного материала при нагревании на 1 °С

$$\Delta L = L_0 (1 + \alpha t), \quad (4)$$

$$\Delta V = V_0 (1 + \beta t), \quad (5)$$

где L_0 — начальная длина изделия;

α — температурный коэффициент линейного расширения;

t — изменение температурного режима;

V_0 — начальный объем изделия;

β — коэффициент объемного расширения, который в 3 раза больше коэффициента линейного расширения.

Чтобы представить процессы, ведущие к разрушению цементобетона, рассмотрим вначале теплотехнические особенности самого бетона, как искусственного материала, состоящего из компонентов с различными теплопроводящими характеристиками. На основании [5] можно определить теплотехнические показатели для отдельных материалов (таблица 3).

На основании приведенных значений можно сделать следующие выводы:

— способность бетона при воздействии радиационного потока поглощать тепло является почти постоянной величиной для всех входящих в него компонентов, а это значит, что бетонная поверхность дорожного покрытия нагревается равномерно;

— коэффициент теплопроводности имеет существенные отличия для компонентов цементобетона. Наибольшие значения характерны для гранита (3,49 Вт/м·°С), имеющего прочную, полнокристаллическую структуру, с пределом прочности при сжатии для гранита Украинского кристаллического щита равным 140—300 МПа и модулем упругости около 7500 МПа. Для мрамора, относящегося к метаморфическим горным породам и имеющего зернисто-кристаллическую структуру, коэффициент теплопроводности не превышает 2,91 Вт/м·°С. Для цементно-песчаного раствора этот показатель составляет 0,58, а для песка 0,35 Вт/м·°С. Для бетона на гравии или щебне из природного камня коэффициент теплопроводности равен 1,51 Вт/м·°С, что является усредненным показателем коэффициентов теплопроводности для различных компонентов бетона с учетом их процентного содержания;

Таблица 3. Теплотехнические показатели материалов

Материал	Характеристика материала в сухом состоянии			Расчетное массовое отношение влаги в материале, %	Расчетный коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С
	Плотность, г/см ³	Удельная теплоемкость, кДж/кг·°С	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С		
Бетон на гравии или щебне из природного камня (цементобетон)	2,4	0,84	1,51	3	1,86
Цементно-песчаный раствор	1,8	0,84	0,58	4	0,93
Песок, известь, цемент	1,7	0,84	0,52	4	0,70
Песок	1,6	0,84	0,35	2	0,58
Гранит, гнейс, базальт	2,8	0,88	3,49	0	3,49
Мрамор	2,8	0,88	2,91	0	2,91
Известняк	2,0	0,88	0,7	3	1,28
Битумы нефтяные	1,0	1,68	0,17	0	0,17
	1,2	1,68	0,22	0	0,22
	1,4	1,68	0,27	0	0,27
Асфальтобетон	2,1	1,08	1,05	0	1,05

Примечание — Расчетное массовое отношение влаги в материале и расчетный коэффициент теплопроводности приведены для условия эксплуатации Б (влажный, мокрый).

— битум, применяемый для поверхностной обработки, сам по себе является более теплоемким материалом (1,68 кДж/кг·°C) даже по сравнению с цементобетоном (0,84 кДж/кг·°C), поэтому он сильно размягчается при активном воздействии солнечной радиации. Однако, коэффициент теплопроводности битума (0,17—0,27 Вт/м·°C) в 5—7 раз ниже, чем такой же показатель у жесткого покрытия (1,51 Вт/м·°C). Следовательно, битум может использоваться в качестве защитного материала от тепловой радиации цементобетонного покрытия.

Помимо свойств самого материала необходимо учитывать его цвет, который влияет на теплопоглощительную способность конструкции. Если принять для сравнения коэффициент поглощения для черного цвета равным 1,0, то для темно-серого, темно-коричневого и синего цветов он будет в пределах 0,90—0,85; для коричневого и серого — 0,85—0,70; красного и зеленого — 0,7—0,5; для светлых тонов — 0,5—0,4; белого — 0,3. Увлажнение поверхности увеличивает соответствующий показатель примерно на 0,1.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Бетон, уложенный в конкретную конструкцию, становится элементом этой конструкции и, при изменении температуры окружающей среды, в нем развиваются соответствующие деформации и напряжения. Если бетон не защищен, деформации в виде трещин, по данным [6], проявляются в первые 2 сут, т. е. преимущественно в результате суточного колебания температуры среды с учетом природной радиации. Вероятность образования трещин в начальный период твердения бетонной смеси очень высока, поскольку формируются жесткие структурные связи, а прочность цементного камня сравнительно мала. Изменение средних температур воздуха за относительно короткие сроки (до 1 мес) значительно меньше суточных.

Асфальтобетонные покрытия также склонны к образованию трещин за счет температурных напряжений, однако, этот период смещен в зону более низких температур, когда в осенне-зимний период происходит значительное понижение температуры окружающей среды. В этот период возрастает хрупкость материала из-за увеличения модуля упругости в 30—50 раз (до 2000— 2500 МПа) по сравнению с его значениями в теплый период.

По результатам исследований колебания температуры в течение летнего (июль) дневного периода можно построить график изменения температуры в различных точках дорожной одежды (рисунок 1).

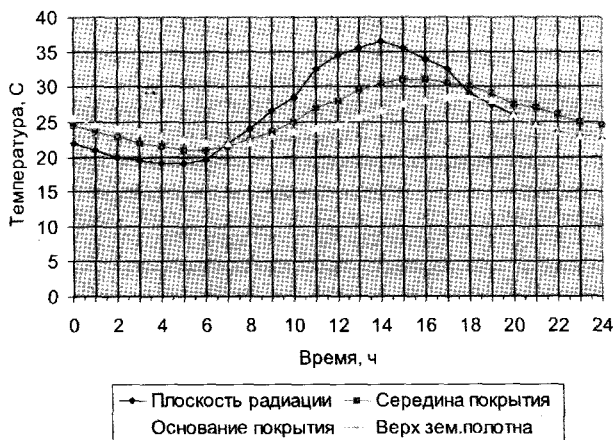


Рисунок 1. Изменение температуры слоев дорожной конструкции в течение суток

Дорожная конструкция представляет собой цементобетонное покрытие толщиной 22 см, уложенное на слое грунта толщиной 13 см, укрепленного цементом, и основание из щебня толщиной 20 см. Таким образом, общая толщина дорожной одежды составляет 55 см. Анализ полученных величин позволил сделать следующее заключение:

— колебание температуры верха покрытия за счет нагрева от солнечной радиации в дневное время (14-15 ч — 36 °C-37 °C) и остывания в ночное (5 ч — 17 °C-18 °C) составляет около 20 °C. Кроме того, открытая поверхность покрытия в теплотехническом отношении характеризуется определенным сопротивлением теплопереходу, что означает наличие перепада температур на границе раздела сред;

— середина бетонного покрытия (глубина 10—11 см), за счет изменения теплопроводности по глубине плиты, имеет меньший перепад температур в течение суток [7] и составляет соответственно в 5 ч—22 °C и в 16 ч — 31 °C-32 °C со сдвижкой во времени на 1—2 ч;

— основание цементобетонного покрытия (глубина 22 см) имеет аналогичные параметры (23 °C и 26 °C-27 °C) и ту же временную сдвижку на 1—2 ч;

— можно обозначить периоды времени (от 7 до 19 ч), в течение которых температура верха плиты больше, чем температура ее основания. Следовательно, бетонная плита в летний период будет иметь разнопеременные деформации в течение суток одинаковой продолжительности;

— график не имеет единой точки, характеризующей одну и ту же температуру для верха, середины и низа бетонной плиты;

— температура верха земляного полотна (глубина 55 см) была стабильна и составляла 22 °C-23 °C;

— подставив полученные значения температур в формулы (4) и (5), можно получить следующие величины деформаций:

а) деформацию за счет разности температур верхней и нижней плоскостей покрытия, что приведет к выпуклости плиты в летний период времени и вогнутости в зимний;

б) деформацию верхней части плиты за счет разности температур в ночное и дневное время суток.

Изложенные случаи деформации свидетельствуют о том, что плита постоянно находится в движении, т. е. она "дышит", постоянно изменяя свои линейные и объемные размеры.

Рассмотрим два состояния плиты. Первое — плита в виде единичного элемента располагается на поверхности и открыта для солнечной радиации. Такая плита не имеет ограничений в линейном и объемном расширении, и в ней присутствуют все виды деформации, изложенные ранее. Температурные напряжения в плите будут складываться из напряжений, возникающих за счет разности температур, а также напряжений, возникающих в бетоне как искусственном материале, состоящем из компонентов с различными коэффициентами теплопроводности. Такое состояние плиты будет характеризоваться минимизированными величинами напряжений.

Второе состояние плиты характеризуется ее заземлением с тремя соседними плитами, которые не позволяют ей увеличиваться в размерах при температурном расширении. Это состояние можно изобразить в виде графика, представленного на рисунке 2.

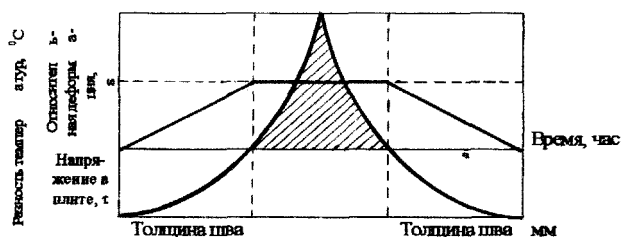


Рисунок 2. Изменение относительной деформации и напряжения в дорожной плите

При повышении температуры плита начинает увеличиваться в размерах до тех пор, пока не возникнет контакт с соседними плитами, в результате чего произойдет защемление плит. При этом будут развиваться деформации, описанные для первого состояния плиты. Как только произойдет защемление плит, температурные напряжения начнут возрастать многократно с повышением температуры. Описанные процессы сопровождаются возникновением трещин как внутри бетона, на границе заполнителей с цементным камнем, так и на поверхности бетонной плиты в результате разнопеременных относительных деформаций между верхом и основанием.

Таким образом, рассмотренные доказательства свидетельствуют о том, что температурные напряжения в жестком дорожном покрытии являются доминирующими по отношению к другим видам деформаций и коррозии, в случае эксплуатации автомобильной дороги с нагрузками, не превышающими расчетных значений. Следовательно, предложенные решения по совершенствованию методов усиления жестких дорожных конструкций касаются обеспечения эксплуатации цементобетонной плиты в улучшенных температурных режимах. Это возможно, если уменьшить воздействие солнечной радиации на открытую поверхность плиты. Могут быть рассмотрены следующие варианты конструкций, обеспечивающих режим теплового равновесия (рисунок 3) [8].

Схема 1. При строительстве монолитного цементобетонного покрытия верх плиты обрабатывают синтетическим вяжущим с добавлением фрикционного материала, например, синтетических смолами, обеспечивающими хорошую адгезию, с добавлением мелкого щебня, в комплексе создающими шероховатость покрытия. При возникновении трещины до нанесения синтетического вещества обработку можно производить растворами двойной консистенции. Вначале смолой, разбавленной водой в соотношении 1:1, а затем смолой, смешанной с гравийным материалом. Учитывая хорошую растворимость карбамидной смолы в

воде, разбавленный раствор заполнит все образовавшиеся трещины и склеит их. При отверждении смолы образуется гидрофобная поверхность, которая способна отталкивать воду. Таким образом, обработка поверхности цементобетона полимерными материалами типа синтетических смол позволит создать на поверхности пленку, уменьшающую воздействие солнечной радиации и склеивающую мелкие трещины на бетонной поверхности.

Схема 2. В результате температурных напряжений в бетонном покрытии образовались продольные и поперечные трещины, которые под воздействием осевой нагрузки, превышающей нормативную, привели к возникновению зон разуплотнения под поперечными швами. Этот вид деформации бетонного покрытия вызывает продольное колебание плиты при наезде колеса автомобиля на ее край. Ликвидация такого дефекта осуществляется в несколько стадий. Во-первых, производится ремонт трещин и заделка объемных дефектов. Во-вторых, закрепляется основание плиты, создавая дополнительную опору под поперечным швом или трещиной путем закрепления разуплотненного материала. В-третьих, на поверхности бетонного покрытия устраивается поверхностная обработка по мембранной технологии, которая улучшает тепловой режим цементобетона и закрывает места устранения дефектов, создавая покрытие однородного цвета.

Схема 3. В результате несвоевременного проведения ремонтных работ трещина от покрытия прогрессировала и перешла в основание, разрушив насквозь жесткое покрытие. Этот дефект привел к образованию вертикального смещения слоев конструкции, что привело к образованию порога на покрытии. Ликвидация этого дефекта, также как и предыдущего, состоит из работ, выполняемых поэтапно. Во-первых, закрепляется основание бетонной конструкции, создавая дополнительную опору в песчаном слое. Во-вторых, производится ремонт бетонного покрытия путем заделки крупных и мелких дефектов по общепринятым технологиям. В-третьих, усиливается разрушенное бетонное покрытие путем укладки асфальтобетонных слоев (одного, двух).

Схема 4. В настоящее время устройство монолитных цементобетонных покрытий предусматривает строительство однослойной конструкции, что сопряжено с целым рядом трудностей при проведении ремонтных работ [9, 10]. Анализ глубины разрушения верхней части цементобетонного покрытия (шелушение, выбоины, начальная стадия появления трещин) свидетельствует о том, что среднестатистическое значение этой величины соответствует 0,05 м. Температурные напряжения, возникающие в плите, максимальных значений достигают в верхних и нижних слоях бетонной плиты и способствуют своему раз-

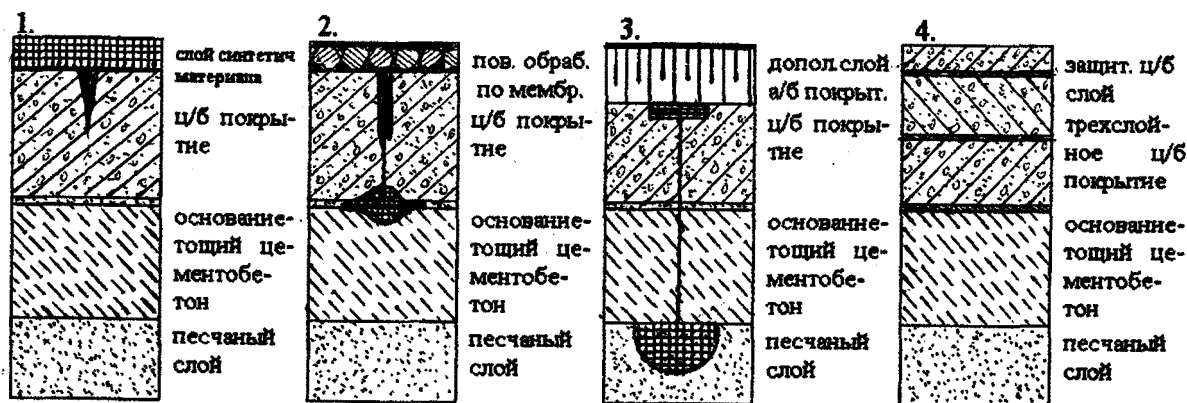


Рисунок 3. Схемы усиления жесткого покрытия

виту за счет неоднородности материала. Следовательно, для устранения или уменьшения этих недостатков плиту можно устраивать из слоев, отличающихся друг от друга количеством и видом заполнителя, отделенных друг от друга пленкой (прослойкой) вещества, которая позволяет линейно деформироваться каждому из уложенных слоев в своем режиме теплонагрева. Нижний слой бетонного покрытия может быть устроен из плотной щебеночной смеси, поры которой заполнены цементным камнем (т. е. максимум щебня при минимуме цемента), а верхний — с максимально возможным количеством цементного камня (типа железнения), обеспечивающим наибольшую жесткость и прочность бетонной плиты. Кроме того, устройство прослоек между слоями позволит, с одной стороны, деформироваться слоям самостоятельно без передачи напряжений от слоя к слою, с другой, — осуществлять ремонт изношенной или наиболее подвергшейся трещинообразованию верхней части бетонного покрытия на глубину до 0,05 м при использовании ямочной технологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 На основании результатов проведенных исследований можно заключить, что температурные напряжения, возникающие в жестком цементобетонном покрытии, являются доминирующими на начальной фазе эксплуатации дорожных цементобетонных покрытий. Совершенствование методов усиления конструкций дорожных одежд основывается не только на обеспечении эксплуатации цементобетонной плиты в улучшенных температурных режимах за счет уменьшения непосредственного воздействия солнечной радиации на открытую поверхность плиты, но и на повышении прочности в местах значительных вертикальных деформаций.

2 Все рассмотренные варианты усиления конструкций основаны на сохранении существующей кристаллической структуры цементобетона, как самого прочного дорожного материала, без его разрушения и получения на его основе искусственного щебня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. — М.: Стройиздат, 1986. — 464 с.
2. Леонович И.И. Дорожная климатология. — Мн.: БНТУ, 2005. — 485 с.
3. Яромко В.Н. Дорожные насыпи на болотных грунтах. Научные основы ускоренных методов проектирования и строительства. — Мн., 1998. — 400 с.
4. Сиденко В.М., Батраков О.Т., Покутнев Ю.А. Дорожные одежды с парогидроизоляционными слоями. — М.: Транспорт, 1984. — 144 с.
5. СНБ 2.04.01-97 Строительная теплотехника. — 32 с.
6. Михайлов А.В., Коцюбинский Т.А. Строительная теплотехника дорожных одежд. — М.: Транспорт, 1986. — 149 с.
7. Лещинский М.Ю. Испытание бетона. — М.: Стройиздат, 1980. — 360 с.
8. Бабаскин Ю.Г. Укрепление грунтов инъектированием при ремонте автомобильных дорог. / Под ред. И.И. Леоновича. — Мн.: УП "Технопринт", 2002. — 177 с.
9. Леонович И.И., Богданович С.В., Голубев В.В., Нестерович И.В., Чернюк Н.И. Диагностика и управление качеством автомобильных дорог. — Мн.: БНТУ, 2002. — 357 с.
10. Леонович И.И. Содержание и ремонт автомобильных дорог. Ч. 1. Общие вопросы содержания и ремонта дорог, машины и материалы. — Мн.: БНТУ, 2003. — 270 с.

Статья поступила в редакцию 17.04.06.