

## **РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД С ЦЕЛЬЮ УСТРОЙСТВА ТРЕЩИНОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ**

И.И. Леонович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой "Строительство и эксплуатация дорог" Белорусского национального технического университета

Ю.Г. Бабаскин, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры "Строительство и эксплуатация дорог" Белорусского национального технического университета

Л.И. Шевчук, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры "Свойства и сопротивление материалов и теории упругости" Белорусского национального технического университета

### **ОСОБЕННОСТИ ДОРОЖНЫХ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ**

Дорожная сеть Республики Беларусь имеет протяженность 83640 км, в том числе 15426 км – республиканских и 68214 км местных дорог. Все магистральные дороги имеют участки с цементобетонным покрытием. Общая протяженность дорог с жестким покрытием, по состоянию на 01.01.2007, различной технической категории составляет 1441 км, в том числе республиканских дорог 580 км, местных 861 км. Наибольшее количество дорог с цементобетонным покрытием находится в Минской области – 537 км, в том числе 151 км республиканских дорог.

Цементобетонные покрытия имеют ряд преимуществ:

- большую прочность цементобетона в сравнении с асфальтобетоном;
- стабильность деформативных свойств цементобетона при изменении температуры;
- рост прочности цементобетона во времени при благоприятных условиях эксплуатации;
- доступность оборудования для скоростного строительства бетонных покрытий с высокими показателями ровности;
- высокую морозостойкость бетона при применении суперпластификаторов и воздухововлекающих добавок;
- срок службы покрытий до капитального ремонта при высоком качестве строительства и нормальной эксплуатации может достигать 50 лет;
- стабильность коэффициента сцепления покрытия с колесами автомобилей, слабую его зависимость от степени увлажнения.

Кроме того, основные преимущества дорожных одежд с цементобетонными покрытиями и основаниями заключаются в том, что, при примерно одинаковой строительной стоимости, они обеспечивают значительно более длительный срок службы по сравнению с нежесткими дорожными одеждами (в среднем в

3 раза и более). Следовательно, цементобетонные покрытия требуют значительно меньших затрат на ремонт, а также обеспечивают более высокий уровень транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог.

Следует учитывать экономику данного вопроса. Основной вяжущий материал — цемент является более доступным для условий Республики Беларусь, чем битум, получаемый из нефти, дефицит которой ощущается с каждым годом.

К жестким дорожным одеждам предъявляются особые требования:

— по трещиностойкости покрытия и конструктивных слоев, способных сопротивляться изгибу (оценивается допусκαемым напряжением растяжения при изгибе);

— по прочности дорожной одежды в целом (оценивается допускаремым напряжением сдвига в грунтах земляного полотна);

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

— по морозоустойчивости дорожной одежды (оценивается допускаремым минимальным вспучиванием покрытия);

— по шероховатости поверхности покрытия (оценивается допускаремым коэффициентом сцепления колеса с покрытием).

Дорожное цементобетонное покрытие можно представить в виде отдельных плит, защемленных по плоскости разлома бетона. Каждая плита имеет три плоскости касания, причем две плоскости в сумме равны третьей. При воздействии нагрузки на плиту самыми неблагоприятными точками являются точки расположенные на коротких сечениях. Это вызвано режимом движения автомобиля по дорожному покрытию и участием в деформации плиты соседних плит.

## **ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕФЕКТОВ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ И ПРИЧИНЫ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ**

Опыт эксплуатации автомобильных дорог с цементобетонным покрытием показывает, что под воздействием автомобильного движения и погодноклиматических факторов происходит постепенное ухудшение состояния покрытия, в результате образования различных видов дефектов. Основные дефекты цементобетонных покрытий это:

— трещины: поперечные сквозные и поверхностные, на краевых участках вдоль швов; продольные сквозные и косые на угловых участках; волосяные усадочные;

— вертикальные смещения плит;

— разрушение кромок и заполнителя швов;

— коробление плит;

- шелушение, выбоины и раковины;
- просадка и вспучивание.

Причины возникновения трещин подразделяются на:

- а) технологические, связанные с несвоевременной и некачественной резкой деформационных швов;
- б) эксплуатационные, вызванные изменением температуры покрытия, а также воздействием транспортных средств с нагрузками, превышающими несущую способность покрытия.

Вертикальное смещение плит приводит к образованию неровностей и порогов. Наличие уступов между соседними плитами приводит к скалыванию краевых участков. Причинами этих деформаций являются: некачественное уплотнение подстилающего слоя грунта или основания; пучение грунта зимой; вымывание материала основания из-под покрытия.

Разрушение заполнителя швов может быть вызвано старением герметизирующего материала, плохой деформативностью при отрицательных температурах, низкой термоустойчивостью.

Коробление плит приводит к потере продольной устойчивости и может быть вызвано температурными напряжениями и некачественным выполнением стыковых соединений.

Шелушение, как правило, вызвано нарушением технологии приготовления и укладки бетонных смесей; низким качеством ухода за твердеющим бетоном; использованием противогололедных химических реагентов.

Просадка и вспучивание приводит к резкому искажению профиля покрытия и может быть вызвано переувлажнением грунтов земляного полотна, наличием пучинистых грунтов и глубоким промерзанием земляного полотна.

Причины возникновения этих дефектов можно классифицировать следующим образом.

- 1) Возникновение температурных напряжений в цементобетонной плите, приводящих к образованию разнообразных 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. Следовательно, недостаточный учет температурных деформаций в покрытии, приводит к преждевременному разрушению автомобильной дороги.

Это подтверждается результатами исследований колебания температуры в течение летнего дневного периода. Колебания температуры верха покрытия за счет нагрева от солнечной радиации в дневное время и остывания в ночное составляет порядка  $20^{\circ}\text{C}$ . Можно обозначить периоды времени, в течение которых температура верха плиты больше, чем температура ее основания. Следовательно, бетонная плита будет иметь разнопеременные деформации по всей толщине.

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

3) Возникновение внутренних коррозионных процессов, которые в основном являются следствием первых двух причин, но в некоторых случаях при использовании некачественного материала при приготовлении бетона, могут начать проявлять свое агрессивное воздействие на деструктуризацию цементного камня с самого начала эксплуатации дороги. Наиболее ярко этот процесс проявляется при таком дефекте, как шелушение. Кроме того, широкое использование противогололедных солей, способствует коррозионным процессам.

## КОНСТРУКЦИИ УСИЛЕНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Предметом исследования являлся такой вид дефекта дорожной цементобетонной плиты, как вертикальное смещение плит. При разрушении швов происходит смещение отдельных плит, приводящее к образованию уступов и дальнейшему разрушению краев под динамическим воздействием транспортной нагрузки. Аналогичные деформации могут образовываться в трещинах. Постепенно происходит разрушение арматуры (из-за больших нагрузок и коррозии металла) и откол нижней части бетонных плит (рис. 1)

С целью определения состояния основания был произведен подъем двух плит размером каждой 3,75 м (ширина) на 5,35 м (длина), разрезанной на 24 фрагмента. Для удобства демонтажа ее отдельных частей, во фрагментах были просверлены 58 отверстий. Под всеми отверстиями наблюдался откол нижней части плиты в виде усеченной пирамиды высотой около 5 см.

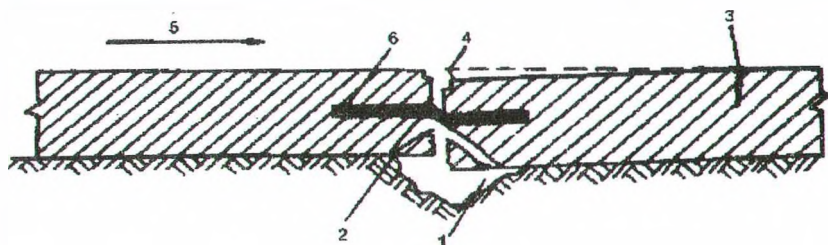


Рисунок 1 – Схема разрушения бетонного покрытия в шве:  
1-деформация основания; 2-разлом; 3-трещина; 4-уступ; 5-направление движения транспортных средств; 6-арматура

Основание дорожной одежды, после подъема фрагментов имело разный цвет, в результате процессов размораживания верхнего слоя основания и многолетней фильтрации воды в основании и вымывания продуктов разрушения.

На основании выполненных полевых работ и лабораторных исследований было сделано следующее заключение:

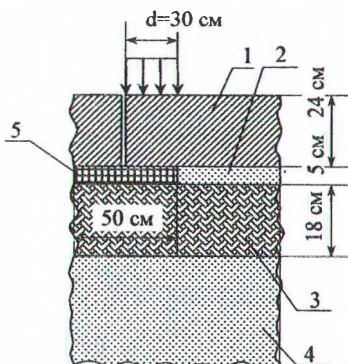
- пустот под швами плит и на всей плоскости основания не обнаружено;
- все основание на глубину от 5 (посередине плиты) до 9 см (по швам) представляет собой рыхлый песчаный слой, хотя по проекту основание представляло собой слой цементогрунта, который характеризуется кристаллической структурой;

- окраска основания свидетельствует об интенсивных процессах фильтрации, проходящих в слоях между нижней плоскостью плиты и верхом основания.

Сделанные выводы свидетельствуют о том, что хотя видимых пустот под швами плит обнаружено не было, тем не менее наличие рыхлого песчаного слоя может привести к деформации основания и колебанию цементобетонной плиты.

Для восстановления несущей способности основания были предложены конструктивные схемы усиления дорожной одежды:

- 1) закрепление рыхлого слоя песка под цементобетонной плитой способом инъектирования раствора мочевиноформальдегидной смолы (рис. 2);
- 2) закрепление, тем же способом и раствором, песка под цементогрунтовым основанием (рис. 3);



1. Цементобетонная плита
2. Слой песка
3. Цементогрунт
4. Песок средней крупности
5. Мочевиноформальдегидная подушка

Рисунок 2 – Конструкция усиления дорожной одежды слоем смологрунта в основании плиты

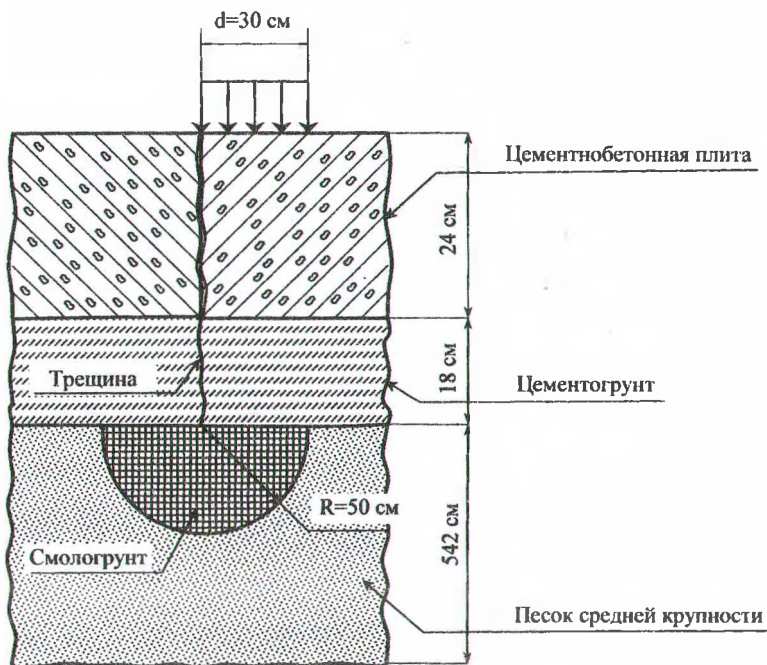


Рисунок 3 – Конструкция усиления дорожной одежды, слоем смологрунта в песчаном основании

3) цементобетонная плита разрушается, а сверху полученного искусственного щебня укладывается слой из асфальтобетона.

Для расчета прогибов дорожного покрытия, лежащего на предложенных усиленных основаниях были сформулированы условия расчета:

- плита: толщина – 0,24 м; размер в плане 7,0 x 3,5 м; модуль упругости материала – 40 ГПа; коэффициент Пуассона материала – 0,18;
- песок, закрепленный мочевиноформальдегидной смолой: модуль упругости – 6 ГПа; коэффициент Пуассона – 0,20;
- цементогрунт: модуль упругости – 400 МПа; коэффициент Пуассона – 0,18;
- песок средней крупности: модуль упругости – 130 МПа; коэффициент Пуассона 0,27.

В расчете предусмотрено последовательное вертикальное нагружение дорожной плиты силой 150 кН в трех точках поперечного шва: внешний край плиты (точка А), посередине плиты (точка Б), край плиты, соприкасающийся с соседней плитой (точка В). Нагрузка приложена к поверхности плиты и передается через круговую площадку диаметром 0,30 м.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПРОГИБА ДОРОЖНОЙ ЦЕМЕНТОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ

Толщину сжимаемого слоя основания определяли по деформационной эквивалентности. Расчет дорожной плиты выполнен с помощью программного комплекса Лира-8. Расчетные значения прогиба плиты в точке нагружения приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Прогибы дорожной плиты в точках нагружения

Расчетная точка	Без усиления			С усилением		
	Координаты точки		Прогиб плиты, мм	Координаты точки		Прогиб плиты, мм
	X, м	Y, м		X, м	Y, м	
Первая конструктивная схема усиления						
А	0,00	0,00	1,597	0,00	0,00	1,001
Б	0,00	1,75	0,874	0,00	1,75	0,701
В	0,00	3,50	1,597	0,00	3,50	0,930
Вторая конструктивная схема усиления						
А	0,00	0,00	1,582	0,00	0,00	1,058
Б	0,00	1,75	0,867	0,00	1,75	0,560
В	0,00	3,50	1,582	0,00	3,50	0,836
Третья конструктивная схема усиления						
А	0,00	0,00	3,97	-	-	-

Сравнение прогибов дорожной плиты при первой конструктивной схеме усиления показывает, что закрепление песка мочевиноформальдегидной смолой непосредственно под плитой понижает прогиб плиты в точке А на 18,4 %, Б – 20,6 %, В – 40,0 %.

Если учитывать динамику накатывания колеса на край плиты, то рассматриваем нагрузку как мгновенно приложенную. Приближенно, динамический коэффициент принимаем равным двум. С учетом этого показателя прогибы увеличиваются.

Вторая конструктивная схема представляет собой усиление дорожной одежды в месте копирования трещины в основании цементобетонного покрытия. С этой целью, смологрунтовая подушка моделируется плитными конечными элементами, аналогично как это делалось для самой плиты. Так как смологрунтовая подушка имеет разную толщину по своей ширине, то эквивалентная толщина моделирующих ее конечных элементов принята по площади сечения.

Результаты расчетов показывают, что усиление основания конструкции в месте копирования трещины смологрунтовым слоем, имеющим полуцилиндрическую форму радиусом 0,5 м, уменьшает осадку плиты при воздействии колесной нагрузки в точке А на 33,1 %, Б – 35,4 %, В – 45,9 %.

В последнее время на дорогах Беларуси нашел применение способ деструктуризации цементобетона, имеющего достаточное количество дефектов и виде трещин. Этот способ основан на применении бетоноломной машины.

Слой дорожной одежды, полученный путем разрушения цементобетонной плиты, представляет собой сложную систему по гранулометрии, поскольку искусственный щебень находится в заклинивающем состоянии с различной величиной зерен по толщине слоя, а пустоты между ними заполнены песчано-пылеватыми частицами. Паутинообразное распределение трещин образует структуру, в которой все раздробленные кусочки сцепляются между собой, а основные разрушения происходят в плоскостях сдвига, расположенных под углом 30...50 градусов. Такое взаимно заклинивающее расположение отдельных фрагментов способствует распространению нагрузки на большую площадь, чем это бывает у обычного щебеночного основания. При низкоамплитудном высокочастотном резонансном ударном разрушении плиты внедрение обломков в материал основания не происходит, и оно остается таким же гладким, каким было до разрушения плиты.

Дорожная одежда (третья конструктивная схема усиления, рис. 4.) состоит из шести слоев, имеющих различные механические характеристики.

1. Верхний слой асфальтобетона толщиной 4 см, характеризуемый модулем упругости 3200 МПа.

2. Нижний слой асфальтобетона толщиной 6 см, с модулем упругости 2000 МПа.

3. Верхний слой искусственного щебня крупностью 3...5 см, толщиной 8 см, с модулем упругости 180 МПа.

4. Средний слой искусственного щебня крупностью 5...10 см, толщиной 8 см, с модулем упругости 300 МПа.

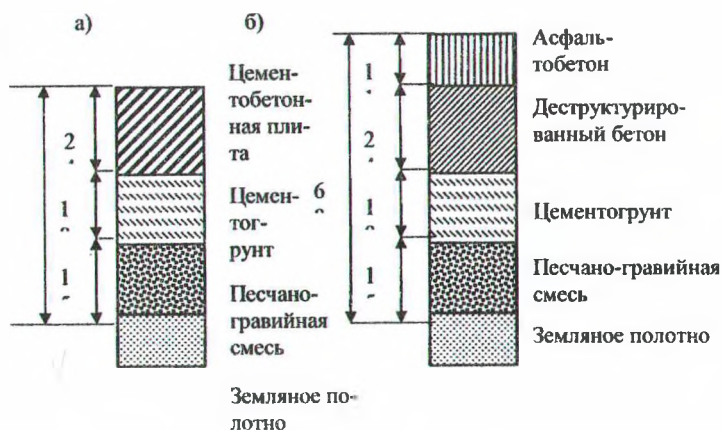


Рисунок 4 – Конструкции дорожных одежд до (а) и после (б) реконструкции



5. Нижний слой искусственного щебня крупностью 10...15 см, толщиной 8 см, с модулем упругости 350 МПа.

6. Основание из цементогрунта толщиной 18 см с модулем упругости 400 МПа.

Расчет проведен для наиболее опасного варианта приложения нагрузки на угол плиты, когда проявляются самые большие прогибы. Для узлов, расположенных под нагруженным углом плиты рассчитаны значения вертикальных перемещений, горизонтальных нормальных и вертикальных касательных напряжений. Результаты расчета свидетельствуют о том, что величина прогиба в месте приложения нагрузки возрастает более чем в 3 раза по сравнению с первым вариантом усиления и почти в 4 раза по сравнению с третьим вариантом. Вблизи края плиты появляются вертикальные перемещения, направленные вверх, что свидетельствует о выпоре щебня.

Таким образом, исследование работы дорожной цементобетонной плиты заключалось в определении величины деформации плиты, лежащей на упругом основании. В качестве основания рассмотрены варианты многослойной конструкции однородного характера, имеющего место при строительстве автомобильной дороги, и неоднородного, что возможно при ремонте основания с отраженными трещинами. Анализ теоретических расчетов показал, что величина деформации зависит от жесткости основания и размеров плиты, а закономерность изменения деформации от точек приложения нагрузки остается неизменной. Деструктуризация бетона понижает прочностные свойства дорожной одежды более чем в три раза.

## **ОБОСНОВАНИЕ ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОРОГОВ НА ДОРОЖНОМ ЦЕМЕНТОБЕТОННОМ ПОКРЫТИИ**

Рассмотрим две плиты лежащие впритык независимо друг от друга. Такое допущение принимаем исходя из того, что при устройстве поперечных швов, часть плиты надрезается, а остальная часть трескается под нагрузкой, и таким образом, две плиты разделены швом, плоскость которого на 1/3 гладкая и на 2/3 шероховатая. В течение длительного срока эксплуатации шероховатость шва стирается, а полученный пылеватый материал оседает в основании шва. На основании такого допущения можно предположить, что каждая плита будет самостоятельно реагировать на нагрузку.

Рассмотрим последовательные стадии воздействия нагрузки (колеса автомобиля, движущегося с определенной скоростью) на каждую плиту (рис. 5).

Колеса автомобиля, находясь посередине плиты (поз. 1), вызывает деформацию основания, описываемую криволинейной эпюрой с максимальной высотой посередине и минимальной по краям. По мере перемещения колеса от середины к краю эпюра изменяет свой вид (поз. 2), а величина деформации достигает своего максимального значения в сечении, проходящем через точку нахождения колеса. Когда колесо находится на краю плиты (поз. 3), деформация

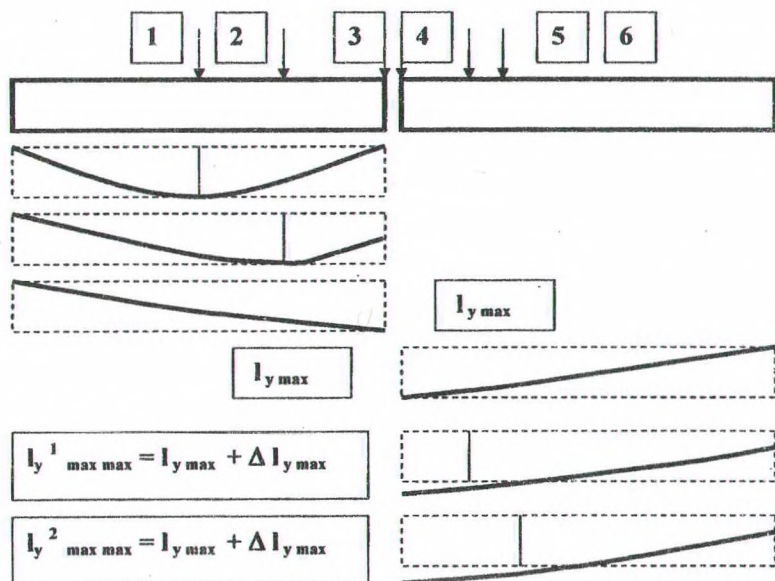


Рисунок 5 – Стадии изменения деформации плиты под воздействием динамической нагрузки с учетом жесткости плиты и инерции нагрузки.

достигает максимального значения, которое больше деформации в любой точке первой плиты, а также на краю второй плиты, поскольку между соседними плитами, в сечении поперечного шва, также существуют вертикальные смещения. Можно предположить, что в этот момент возникает порог с превышением края второй плиты над первой. Экспериментально подтвердить этот факт крайне трудно, ввиду кратковременности его существования.

Следующая стадия - это перенесение нагрузки от колеса автомобиля с края первой плиты на край второй (поз. 4). Эпюры деформаций и напряжений поменяли свое положение относительно оси симметрии, совпадающей с поперечным швом. Особенностью перехода нагрузки с первой плиты на вторую, является передача нагрузки через удар. Первая плита, освободившись от нагрузки, за счет упругих сил возвращается в состояние покоя. Такое допущение является весьма условным, поскольку воздействие второй плиты будет в определенной мере влиять на возвращение первой плиты в состояние покоя. Нагрузка, передаваемая через плиту на основание, соответствует точкам приложения нагрузки, рассмотренным в разделе 4. Следует отметить, что при нахождении нагрузки на краю первой или второй плиты, возникает деформация, являющаяся расчетной, а, следовательно, просадка плиты отсутствует.

Следующая стадия связана с перемещением колеса от края плиты примерно до  $1/4 \dots 1/5$  ее длины (поз. 5). Наблюдается «эффект наезда» нагрузки на плиту. Колесо, смещаясь от края к середине (поз. 6), продолжает воздействовать на краевую точку плиты и, учитывая увеличение плеча относительно поперечного шва, момент будет продолжать возрастать, и достигнет наибольшего значения при нахождении колеса примерно на  $1/4 \dots 1/5$  длины плиты. Следовательно, произойдет приращение вертикальной деформации. Это происходит в виду различной работы плиты под воздействием наезда и съезда колеса с плиты:

- при съезде идет постоянное увеличение деформации с достижением максимальной величины при нахождении колеса на краю плиты;
- при наезде происходит «задавливание» плиты за счет нарастания момента.

Если наши рассуждения верны, то в третье условие устойчивости плиты необходимо внести корректировку, которая будет учитывать не только коэффициент постели, но и динамическое нагружение плиты с учетом ее жесткости. Третье условие устойчивости плиты состоит в том, что вертикальное смещение наиболее нагруженного угла плиты определяется с учетом наибольшего напряжения и коэффициента постели грунта, представляющего собой показатель пропорциональности, численно равный нагрузке, приложенной к единице площади основания, создающей единичную вертикальную деформацию.

К дорожной плите прикладывалась вертикальная нагрузка в виде сосредоточенных сил. Нагрузка на дорожную плиту собрана в вертикальные силы, прикладываемые к четырем (либо к двум) узлам на каждом из двух контактов колеса и дорожного покрытия.

Динамическое воздействие на плиту учитывается по двум факторам – мгновенное приложение нагрузки и воздействия сил инерции за счет удара колеса по неровности расположения плит на их стыках.

Для учета мгновенно приложенной нагрузки вначале выполнен статический расчет плиты, а затем его результаты умножались на динамический коэффициент равный  $k_d = 2$  (табл. 2).

Для динамической импульсной нагрузки приняты следующие данные:

- вес ударяющего тела, приходящийся на один узел конечно-элементной сетки  $750 \text{ кг}$ ;
- усредненная величина силы импульса на каждом узле сетки  $3000 \text{ кг}$ ;
- продолжительность воздействия  $0.01 \text{ с}$ ;
- период повторения воздействия (не задается)  $0.0$ ;
- количество повторений воздействия  $1$ ;
- изменение импульса принята в форме прямоугольника.

Таблица 2 – Прогибы дорожной плиты при наезде колес автомобиля на край плиты

Координаты точки		Прогибы от нагрузки, мм		
X, м	Y, м	статической	мгновенно приложенной	с учетом импульсной
0,00	0,00	1,996	3,992	4,391
3,50	0,00	0,312	0,624	0,686
7,00	0,00	0,089	0,178	0,197
0,00	1,75	1,351	2,702	2,973
3,50	1,75	0,290	0,580	0,638
7,00	1,75	0,089	0,178	0,196
0,00	2,00	1,337	2,674	2,942
3,50	2,00	0,286	0,572	0,629
7,00	2,00	0,089	0,178	0,195

По результатам расчетов получены значения прогибов плиты для статической, динамической (мгновенно приложенной) нагрузок, а также с учетом импульсной нагрузки и распределение прогибов по площади плиты (рис. 6).

Сравнение результатов расчета дорожной плиты показывает, что учет динамики при наезде на край плиты колес большегрузного автомобиля приводит к значительному увеличению расчетных осадок. Так увеличение осадки угла плиты за счет учета динамики составило 120 %.

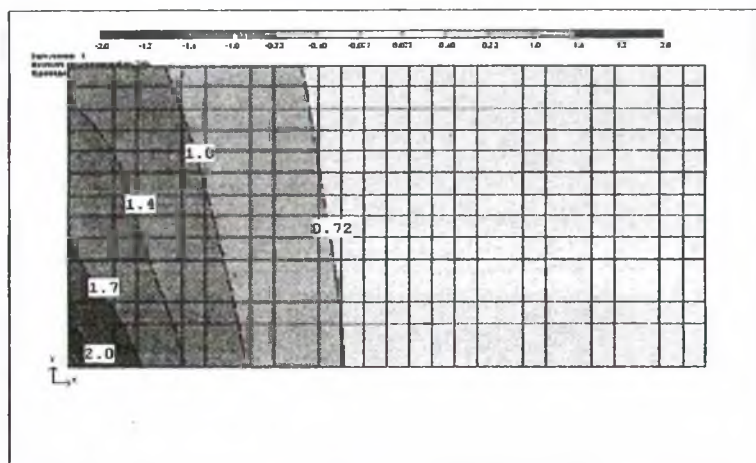


Рисунок 6 – Карта изолиний прогибов плиты в зависимости от статически приложенной нагрузки

Следовательно, гипотеза образования порогов на цементобетонном покрытии может быть сформулирована следующим образом. Причиной образования порогов на дорожном цементобетонном покрытии, заключающейся в различ-

ном режиме работы плиты под действием перемещения нагрузки от начала плиты к ее концу, является совокупность динамического нагружения плиты и жесткости ее конструкции, приводящие к увеличению деформации начального края плиты по ходу движения колеса автомобиля и достижения максимального момента при величине плеча равном  $1/4 \dots 1/5$  длины плиты.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов расчетов и экспериментальных измерений можно сделать следующие выводы:

трещина является сопровождающим фактором всех видов дефектов на дорожном цементобетонном покрытии;

предложенные конструктивные схемы усиления дорожной одежды в местах образования трещины или существующих продольных или поперечных швов, позволяют уменьшить деформацию цементобетонной дорожной плиты;

деструктуризация цементобетонной плиты и укладка асфальтобетона на слой искусственного щебня уменьшают примерно в два с половиной раза прочностные показатели жесткого дорожного покрытия;

существующие методы расчета жесткого дорожного покрытия недостаточно полно отражают работу цементобетонных плит под воздействием возросшей динамической нагрузки. Чтобы устранить этот недостаток необходимо внести в методы расчета показатели, отражающие инерцию воздействия динамической нагрузки с учетом жесткости плиты. В конструктивном плане это отразится на прочности основания жесткого дорожного покрытия;

сформулирована гипотеза возникновения порогов на дорожном цементобетонном покрытии под действием динамической нагрузки и с учетом жесткости плиты.