



**ТИПОВЫЕ СХЕМЫ РАЗРУШЕНИЯ И КРИТЕРИИ
НОРМИРОВАНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ПО
РЕЗУЛЬТАТАМ ОБСЛЕДОВАНИЯ СБОРНЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ**

П.К. КУЗЬМИН, соискатель,
ООО «Промтехэкспертиза», e-mail: KuzminPK@mail.ru.

Статья содержит результаты обследования автором состояние сборных железобетонных плит покрытий на разных участках дорог после длительного (более 20 лет) срока эксплуатации. Определено влияние на трещиностойкость времени эксплуатации, характер и накопление повреждений после длительного срока воздействия технологических, техногенных, климатических факторов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дорожные плиты, трещина, ширина трещины, поверхностный слой, схемы разрушения, критерии оценки.

Характеристика объектов обследования. Цель и задачи.

Анализ напряженно деформированного состояния жестких покрытий относится в основном или к эксплуатируемым участкам взлетно посадочных полос (ВПП) и дорог или к опытным специально построенным. Основное внимание исследователей было сосредоточено на изменение свойств покрытий в зависимости от уровня силового воздействия, величины и чистоты проходов подвижной нагрузки в ограниченное по времени срок проведения испытаний без учета дополнительных факторов влияния, включая климатический. Основным критерием состояния является накопление повреждений в виде образования остаточных прогибов и ширины раскрытия трещин преимущественно в растянутой зоне. Автору не известны исследования состояний жестких покрытий после расчетного срока эксплуатации в условии воздействия силовых, климатических и техногенных факторов. Этим определяется цель и задачи, решение которых изложены в настоящей главе.

Основной целью обследований ставилось оценить фактическое и эксплуатационное состояние дорожных покрытий с применением сборных железобетонных плит, меру и причины накопления ущерба после длительного срока эксплуатации; установить не использованные резервы несущей способности; выявить типовые схемы разрушений и способы восстановления эксплуатационной пригодности.

Для обследования были выбраны участки подъездной дороги с Волоколамского шоссе к поселку Ручьи, с Щелковского шоссе в микрорайон им. Гагарина г. Балашихи и покрытия межпоселковых дорог в районе г. Таруса Калужской области.

Во всех случаях конструкции дорожных одежд состояли из сборных плит ПАГ, уложенных на слой песчаного основания от 30-60 см на тяжелом суглинке.

Общие вопросы методики обследования. Инструментальное обеспечение.

Метод обследования – инструментально- визуальный.

Визуально обследовались разрушения поверхностного слоя в пределах видимости на микроскопическом уровне с разрешающей способностью человеческого глаза 0.05 мм. и с использованием трубки Бриннеля - 0.005 мм.

Исследования микроразрывов сплошности осуществлялось способом «мокрых пятен» Пробста. Измерение трещин на микроскопическом уровне раскрытия производились с помощью мерных луп с точностью 0.1 мм.

На макроскопическом - линейкой, с ценой деления 1мм. Габаритные измерения производились рулеткой.

В настоящее время для исследования прочности бетона в конструкций наибольшее применение получили приборы механического действия и

ультразвуковой дефектоскопии. Натурные испытания прочности бетона в плитах покрытий требует проведения предварительных исследований с целью выбора способа измерений в наибольшей степени отвечающих условиям работы и состоянию покрытия, влияющих на точность измерения. С этой целью проведены испытания различных способов и приборов различного принципа действия в зависимости от погодных факторов, положения поверхности измерений, влажного состояния покрытия. Исследование проводилось на плитах покрытия типа ПАГ и ПДГ, находящихся за пределами механического воздействия транспорта.

Сравнительные результаты испытаний показали, что применение приборов ультразвуковой дефектоскопии не дают объективных показателей реальной прочности в следствии влияния влажностного состояния. Скорость прохождения ультразвука на базе измерений зависящая от плотности материала изменялась в зависимости от влажности при водонасыщении в 1,2-1,5 раза.

Достоверность полученных данных в полевых условиях была подтверждена испытанием в лаборатории призм бетона размерами 30х30х60 из 6 образцов.

Результаты обследования.

Износ и разрушение поверхностного слоя.

Причины разрушения поверхностного слоя можно разделить на 4 группы факторов воздействия:

1. Технологические - способ производства
2. Климатическое - воздействие вызванное попеременным замораживанием и оттаиванием влаги
3. Техногенная - воздействие агрессивной среды при применении химикатов при борьбе с гололедом и действие выхлопных газов.
4. Механическое- воздействие рабочих органов машин при расчистке дорог от снега и гололеда.

Технологические причины: Общим катализатором процессов разрушения поверхностного слоя является изначальные технологические причины, в том числе способ изготовления вибрированием, при котором происходит миграция вовлеченных пузырьков воздуха из глубины массива бетона к поверхности и химическая усадка бетона в процессе его твердения.

И первый, и второй случай приводят к образованию начальных напряжений и дефектов структуры в виде концентраторов напряжений и разрывов сплошности.

Начальные микроразрывы и полости на поверхности плиты опасны, поскольку являются проводниками вглубь влаги и агрессивных химических реагентов, которые в случае замерзания приводят к разрушению растворной составляющей поверхностного слоя в виде шелушения. При наличии арматуры усадочные напряжения сосредотачиваются вокруг и вдоль

арматурных стержней, препятствующих равномерному развитию деформации.

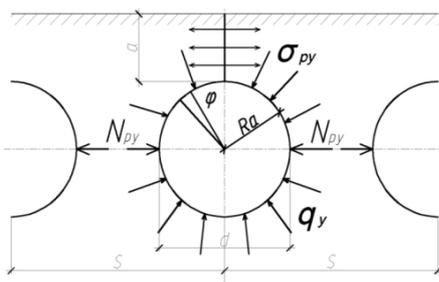


Рис. 1. Схема образования усадочных напряжений в фибровом сечении защитного слоя бетона



Рис. 2. Образование усадочных трещин в зоне арматуры

На рис.1. представлена расчетная схема напряженно-деформированного состояния фибрового сечения вокруг арматуры, где q - усадочное напряжение на поверхности арматуры, N_{py} - равнодействующая горизонтальной проекции, a - высота защитного слоя, R_a -радиус арматуры, S -расстояние между стержнями арматуры, (σ_{py}) - напряжение растяжения в расчетном сечении.

Величина растягивающего усилия, воспринимаемого сечением защитного слоя определяется из условия:

$$N_{py} = \int_0^{2\pi} q \cdot \sin p \cdot dp = q \cdot 2r_a \quad (13)$$

$$\sigma_{py} = \frac{q \cdot d}{a} \quad (14)$$

Условием образованию усадочной трещины будет:

$$\sigma_{py} \leq [R_{br}] \quad (15)$$

Где R_{br} - предельное сопротивление бетона поверхностного слоя на осевое растяжение. Не трудно видеть, что оно зависит только от диаметра арматуры и величины и качества бетона защитного слоя.

На рис. 2. представлена общая картина разрушения поверхностного слоя от усадки.

Разрушение поверхностного слоя от действия климатических факторов.

Изучению сопротивлению бетонов воздействию отрицательных и знакопеременных температур, повышению морозостойкости бетона посвящен ряд исследований, как в России, так и за рубежом. Принято считать, что основной причиной разрушения бетона является изменение фазового состояния воды, находящиеся в трещинах при ее замерзании. При этом разрушение от замерзания может зависеть одновременно от нескольких причин, в том числе от разности температурных деформаций и значения удельной теплоемкости, составляющих компонентов текстуры бетона и

железобетона, от наличия солей, противогололедных смесей (техногенный фактор). Значение коэффициентов температурной деформации и удельной теплоемкости составляющих материалов бетона. Таб.1.

материал	Коэф. температурной деформации	Удельная теплоемкость
Бетон	$10 \cdot 10^{-6}$	1930
Щебень	$4 \cdot 10^{-6}$	770
Песок кварц.	$1.1 \cdot 10^{-6}$	835
Сталь	$11,8 \cdot 10^{-6}$	480

Если разность температурных деформаций вызывает разрушение контактной зоны крупного заполнителя и растворно - песчаной матрицы, то различия показателей теплоемкости приводят при замерзании особенно в раннем возрасте к образованию тонкой ледяной пленки на поверхности заполнителя. Этим объясняется отсутствие следов сцепления с цементным камнем в поверхностном слое

Заметим, что перечисленные факторы климатического воздействия от кристаллизованного давления льда на стенки трещин, различия температурных деформаций и теплоемкостей протекают на макроскопическом уровне, и как правило, проявляются совместно. Вода, находящаяся в результате капиллярного подсоса, находится в связанном состоянии с новообразованиями, при взаимодействии с цементным камнем практически не замерзает при температурах до -30 градусов.

К климатическим факторам воздействия следует отнести влияние физической усадки связанное с деформациями, вызванными неравномерным распределением влажности по высоте сечения. Измерениями установлен крайне неравномерный характер распределения ее величины по высоте сечения плит: от 7.4 % на поверхности до 3.3 % в нижнем сечении при влажном состоянии. И от 2.7 % на поверхности до 4.6 % при высыхании. Более интенсивная физическая усадка при высыхании вызывает появление растягивающих напряжений. Водонасыщение создает противоположный эффект. Превышение влажности на периферии не только снижает начальные растягивающие напряжения но, при определенных условиях может вызвать некоторое обжатие поверхностного слоя бетона. На рис.3 и рис.4 приведена общая картина разрушения поверхностного слоя.



Рис. 3. Разрушение поверхностного слоя сборных ж/б плит



Рис. 4. Разрушение поверхностного слоя плит ПАГ

Деформации и разрушение покрытий от силовых напряжений транспортными средствами.

Установлено 2 основные схемы разрушения дорожных плит от силового воздействия; от общего действия подвижной нагрузки, при котором объем разрушений зависит от времени эксплуатации и местного действия при наезде колесной опоры, не зависящего от времени.

Для системного изложения результатов обследования случаев силовых разрушений плит на рис.5. приведены эпюры моментов и поперечных сил для различных случаев расположения колес движению, в зависимости от расстояния до обочины.

Схема разрушения от общего действия.

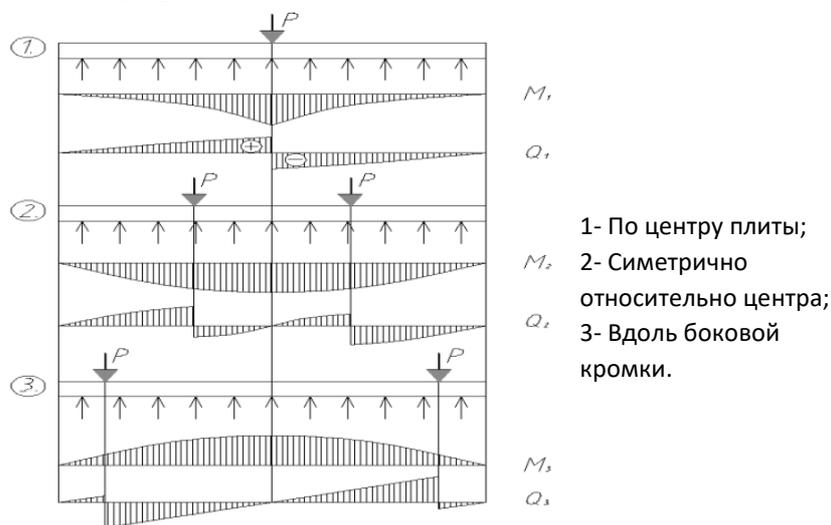


Рис. 5. Расчетные схемы распределения эпюр моментов и поперечных сил для разных случаев положения колес движения

В первом и втором случаях трещинообразование и разрушение по нормальному сечению от действия изгибающего момента, в третьем- при движении вдоль обочины, от совместного действия изгибающего момента и поперечной силы. Для иллюстрации схемы Рис 6 приведена фотография динамики появления и раскрытия трещин в процессе испытания опытного участка покрытий на нижней поверхности сборных железобетонных плит типа ПАГ 14, динамика их развития в зависимости от числа проходов установки ИУ-70, выполненные в ЦНИИ-26.

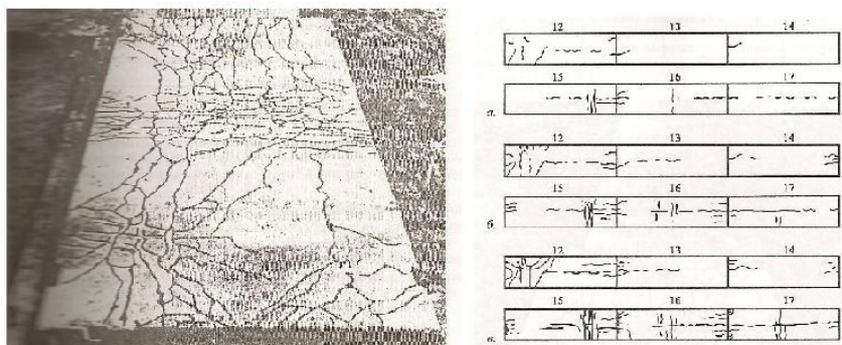


Рис 6. а. Образование трещин от действия подвижной нагрузки на нижней поверхности

б. Схема развития трещин

Испытания показали, что в процессе приложения многократно повторяющейся нагрузки вначале появляются поперечные трещины, от действия максимального изгибающего момента, а только потом продольные.

По направлению и интенсивности распределения трещин в зависимости от числа проходов можно выделить 2 основные группы трещин; поперечные и продольные трещины от действия изгибающего момента и трещины от совместного действия изгибающего момента и поперечной силы.

Динамика появления и раскрытия трещин в процессе увеличения числа проходов показывает, что остаточные трещины и прогибы, а следовательно и потеря напряжения в арматуре происходит уже в начальной стадии эксплуатации дороги (после 500 проходов). Этот результат чрезвычайно важен в сравнительном анализе технико-экономической эффективности предварительно напряженных и не напряженных плит, в результате которого сделан вывод, что предварительное напряжение не дает существенного преимущества.

Характерно, что мере накопления числа проходов реализуется последовательно обе схемы в начале наезда, при положении колес на относительно близком расстоянии, от совместного действия изгибающего момента и поперечной силы, и образование поперечных трещин от преимущественного действия только изгибающего момента за пределом в центре плиты.

На Рис. 7 представлена расчетная схема в виде консольной плиты свисающей над слоем разуплотненного грунта основания вследствие развития деформации ползучести грунта в сторону откоса обочины. Одним из примеров такого разрушения является облом плит.

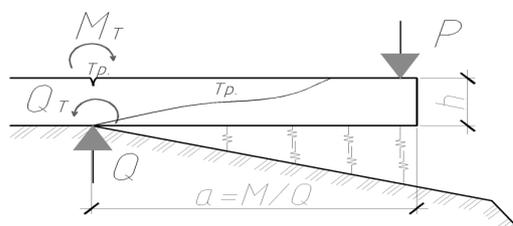


Рис.7. Расчетная схема

Облом углов плит. Причиной разрушения является действие обратного изгибающего момента, когда напряжение в верхней, растянутой зоне бетона превышает предельное растяжение при изгибе. Характерно для неармированного сечения при движении вдоль обочины и по диагонали при наезде транспортного средства на угол плиты (фото рис.8.)

Разрушение от местного действия зоны приложения силы.

Если разрушение от общего действия проявляются и развиваются во времени, то разрушение от местного действия зависит только от величины и условий приложения нагрузки по определению на ограниченном участке.

Основными причинами местного разрушения являются:

- вымывание и просадка грунта в узловых соединениях и примыканиях боковых граней плит, приводящее к образованию прослоек между плитой и основанию;
- превышение нагрузки, носящее, как правило динамический характер при наезде колеса на выступающие грани предельного сопротивления бетона;
- отсутствие армирования краевых граней плит способного воспринимать скалывающие напряжения от действия поперечных сил.

Разрушение от действия поперечной силы сопровождающиеся раздроблением бетона сжатой зоны (фото рис.9).



Рис. 8. Характер разрушения от совместного действия момента и поперечных сил.

Рис.9. Срез кромки боковой поверхности

Вывод:- выполненный анализ позволяет в качестве основного критерия вида разрушения принять относительное плеча среза γ_a .

$$r_a = \frac{a}{h}, \quad a = \frac{m}{Q} \quad (16)$$

- при $t_a \gg 5$ разрушение по нормальному сечению от изгибающего момента; - при $t_a \ll 2 - 5$ от совместного действия изгибающего момента и поперечной силы по наклонному сечению; - при $t_a \ll 1.5 - 2.5$ по наклонному сечению от поперечной силы; - при $t_a \ll 1.5$ - срез.

Результаты обследования выявили многообразие причин и факторов утраты эксплуатационных качеств сборных железобетонных покрытий за период эксплуатации, все они во многом обусловлены ошибками, допущенными при проектировании и низким качеством строительства. С ошибками проектирования, прежде всего, связано несоответствие расчетных схем действительным условиям работы. Расчет плит ведется как жестких бетонных покрытий на упругом основании без учета образования трещин. Рабочая арматура по расчету располагается только в нижней растянутой зоне, верхняя зона в области растягивающих напряжений от обратного прогиба оставлены неармированными. При наезде и съезде транспорта а так же при движении вдоль обочины остается не армировано.

Не учтены дополнительным армированием, ставшими типовые, случаи местного разрушения. С чем связано образование обломов, сколов и срезов покрытия. Неоправданно размещение монтажных и петлевых соединений в углах плит.

Низкое качество строительства дорог с покрытием из сборных железобетонных плит включает 2 составляющих:- заводской брак изделий и низкое качество производства работ.

К производственному фактору, прежде всего, относится низкая прочность бетона, не соответствующая расчетной. В таблице помещены средние данные результатов испытаний прочности бетона методом отрыва со скалыванием и упругого отскока при обследовании.

Результаты испытаний прочности бетона.

Табл. 2.

Тип плит	Состояние поверхности		Кол-во опытов	Предельное сопротивление		Отношение фактической R к проектной
	Сухое	Водонасыщ.		отрыву	сжатию	
ПАГ 14	1,8%	6,8%	10	1,65	17,5	0,79
				1,87	19,2	0,87
ПБ-30	2,82%	7,4%	10	1,2	15,6	0,76
				1,58	17,1	0,95

Как видно из таблицы не в одном из результатов фактическая прочность приповерхностного слоя не соответствовала расчетной. В меньшей степени расхождения выявлены у плит типа ПАГ с рефленной поверхностью, при формовке которых расположенной внизу на поддоне опалубки. В обычных плитах это расхождение в разных случаях составляло от 0,5 до 0,8. Другой причиной брака является не соответствие фактического армирования проекту. В отличии от плит междуэтажных перекрытий, дорожные при разрушение не падают на голову. По этому для армирования про-

изводственники, прежде всего, используют отходы арматуры. С этим связано большое количество уложенных в дорогу обычных плит с нарушением требуемого положения арматуры по высоте сечения, отклонения от проектного значения диаметра, превысив в 2-3 раза.

Общим признаком брака при изготовлении предварительно напряженных плит является разрушение анкерной зоны в случае передачи напряжения с упоров опалубки на бетон до набора требуемой прочности бетона. Все, что связано с преждевременным разрушением сборных плит покрытий на дорогах является следствием низкого качества строительства грунтового основания, а именно:

- несоблюдение требований норм и правил при выполнении отдельных видов работ, технологического потока при подготовке грунтового основания, отсыпки и уплотнения рабочего слоя.

- отступление от проекта при устройстве откосов, насыпей и обочин в виде превышения крутизны уклона, уменьшение высоты рабочего слоя и равномерности его распределения.

Низкая технологическая дисциплина, выраженная в нарушении очередности выполнения и составов работ, предусмотренных графиками технологических потоков.

- нарушение водно-теплового режима в результате отсутствия или некачественного выполнения элементов водоотвода от дороги.

- отсутствие сварных соединений плит в покрытии.

Литература

1. Майоров В. И. Влияние времени нагружения на сопротивление бетона при растяжении при изгибе. Автомобильные дороги №3, 1990.
2. Майоров В.И. Кузьмин П.К. От условной к точной модели расчета трещиностойкости железобетонных сечений. //Строительная механика железобетонных конструкций и сооружений.- 2007.- №2,-С. 22-28.
3. Майоров В. И. Расчет граничных значений относительной высоты сжатой зоны и процента армирования по деформационной модели //Строительная механика инженерных конструкций и сооружений № 3. 2008.-С.32-37.
4. Мурашев В.И. Теория появления и раскрытия трещин, расчет жесткости железобетонных элементов и строит. Промышленность. – 1940-№11-с-6-18.

STANDARD SCHEMAS OF DESTRUCTION AND ROTATION CRITERION OF LIMITING STATE AS A RESULT OF PRECAST PAVING SLAB INVESTIGATION

P. K. KUZMIN, *graduate student*
Peoples' Friendship University of Russia
LLC «Promtehekspertiza»

The article contains the investigation author results of precast paving slab conditions on different road sections after long exploitation term (over 20 years). Defined the impact on the exploitation term of crack resistance, damage ability and accumulation after long technological effects and climatic factors.

KEYWORDS: pavement plates, crack, crack width, surface layer, destructions schemas, assessment criterion.