

# ИСТОРИЯ, ФАКТЫ, ОЦЕНКА...

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ ОБХОДА СОЧИ, СДАННЫХ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ДО НАЧАЛА СТРОИТЕЛЬСТВА ОЛИМПИЙСКИХ ОБЪЕКТОВ

**Проведение в 2014 году Олимпиады в Сочи привлекло особое внимание к развитию инфраструктуры города, включая объекты дорожного строительства в этом регионе.**

К началу основного масштабного строительства были сданы в эксплуатацию первая и вторая очереди обхода Сочи – объект «Автомобильная дорога Джубга – Сочи до границы с Республикой Грузия (на Тбилиси, Баку) на участке обхода г. Сочи ПК0–ПК194 (пусковой комплекс № 2 – ПК45–ПК82 и пусковой комплекс № 3 – ПК82–ПК134)». Этому объекту и пришлось взять на себя основную нагрузку по перевозке всех материалов и конструкций для олимпийского строительства и послужить своеобразным испытательным полигоном для определения работы асфальтобетонных покрытий на всех

дорожных сооружениях в условиях критических перегрузок и ускоренных процессов разрушения.

Начало строительства автодороги приходится на 1988–1991 годы. В этот период работы были сосредоточены на участке от реки Агура (ПК0) до транспортной развязки на ПК45. На остальных участках (ПК45–ПК134) частично выполнялись работы по устройству земляного полотна. В 1999 году началось интенсивное строительство второй очереди объекта, разбитого на два пусковых комплекса, с учетом усилившихся к тому времени требований к экологии

в городе-курорте, а также активизации оползневых процессов. Это привело к необходимости пересмотра целесообразности строительства высоких насыпей и больших выемок. Заказчиком было принято решение о необходимости выполнения корректировки ранее разработанного проекта.

Таким образом, были приняты решения о замене отдельных участков земляного полотна автомобильной дороги эстакадами:

- участок ПК54–ПК57 (насыпь высотой до 30 м с продольным уклоном 56‰ заменить эстакадой с уклоном 56‰);
- участок ПК86–ПК87 (насыпь высотой до 15 м с продольным уклоном 60‰ заменить эстакадой с уклоном 60‰);
- участок ПК98–102 (насыпь высотой до 20 м с продольным уклоном 60‰ заменить эстакадой с уклоном 60‰);

Наименование сооружения	Местоположение		Длина (м)	Ширина (м)	Габариты (м)	Параметры в плане	Параметры в профиле
	ПК начала	ПК конца					
Эстакада на ПК54–ПК57	53+93,74	56+57,86	264,54	15,74	Г–11,5+2*1,5	На прямой и круговой кривой R=2500 м	i=0,0563
Мост через реку Бзугу	57+24,00	61+10,88	386,88	16,14	Г–11,7+2*1,5	На прямой и круговой кривой R=607 м	i=0,0044
Эстакада на ПК71–ПК73	70+94,00	72+60,29	166,34	16,14	Г–11,9+2*1,5	На переходной кривой и круговой кривой R=800 м	i=0,0165 вогнутая кривая R=3500 м
Путепровод на ПК77+48,0	77+20,75	77+75,25	54,5	19,35	Г–15+2*1,5	На переходной кривой	i=0,06
Эстакада на ПК86+76	86+05,72	87+41,33	135,82	19,48–19,72	Г–15+2*1,5	На прямой и переходной круговой кривой	i=0,0598 выпуклая кривая R=10000 м
Эстакада на ПК98–ПК102	98+65,73	102+47,36	367,6	19,62	Г–15,6+2*1,5	На круговой кривой R=875 м	i=0,06
Эстакада на ПК121–131	121+17,25	131+12,88	997,71	19,03 ÷ 24,18	Г–15,25+2*1,5 ÷ Г–20,4+2*1,5	На S-образной кривой R=250 м, круговых кривых R=2000 м и R=500 м и переходных кривых	i=0,05–0,06 выпуклая кривая R=10000 м, вогнутая кривая R=3000 м
Мост через р. Сочи	131+11,77	137+56,70	644,46	11,5–28,49	Г–11,5+1,5+1,0	Переходная кривая	i=0,03 выпуклая кривая R=9000 м, вогнутая кривая R=3000 м

Табл. 1






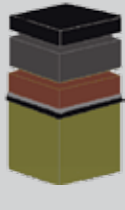


№№	Наименование сооружения	Конструкция дорожной одежды	
1	Эстакада на ПК54–ПК57		ЩМА-20 Н = 5 см Мелкозернистый плотный асфальтобетон тип «Б» I марки Н = 5 см Защитный слой бетон Н = 4 см Металлическая решетка 100×100 мм Гидроизоляция наплавляемая «Техноэластомост» Бетонная плита
2	Мост через реку Бзугу		ЩМА-20 Н = 5 см Мелкозернистый плотный асфальтобетон тип «Б» I марки Н = 5 см Защитный слой бетон Н = 4 см Металлическая решетка 100×100мм Гидроизоляция наплавляемая «Техноэластомост» Бетонная плита
3	Эстакада на ПК71–ПК73		ЩМА-20 Н = 5 см Мелкозернистый плотный асфальтобетон тип «Б» I марки Н = 5 см Защитный слой бетон Н = 4 см Металлическая решетка 100×100 мм Гидроизоляция наплавляемая «Техноэластомост» Бетонная плита
4	Путепровод на ПК77+48,0		ЩМА-20 Н = 5 см Мелкозернистый плотный асфальтобетон тип «Б» I марки Н = 5 см Защитный слой бетон Н = 4 см Металлическая решетка 100×100 мм Гидроизоляция наплавляемая «Техноэластомост» Бетонная плита
5	Эстакада на ПК86+76		ЩМА-20 Н = 5 см Мелкозернистый плотный асфальтобетон тип «Б» I марки Н = 5 см с добавкой РТЭП Защитный слой бетон Н = 4 см Металлическая решетка 100×100 мм Гидроизоляция наплавляемая «Техноэластомост» Бетонная плита
6	Эстакада на ПК98–ПК102		ЩМА-20 Н = 5 см Крупнозернистый плотный асфальтобетон тип «Б» I марки Н = 7 см с добавкой РТЭП Защитный слой бетон Н = 4 см Металлическая решетка 100×100 мм Гидроизоляция наплавляемая «Техноэластомост» Бетонная плита
7	Эстакада на ПК121–131		ЩМА-20 Н = 5 см Мелкозернистый плотный асфальтобетон тип «Б» I марки Н = 6 см с добавкой РТЭП Гидроизоляция напыляемая «Полиуря» Бетонная плита
8	Мост через р. Сочи		ЩМА-20 Н = 5 см Мелкозернистый асфальтобетон тип «Б» I марки Н = 6 см с добавкой РТЭП Гидроизоляция наплавляемая «Техноэластомост» Металлическая плита

Табл. 2

Вид транспортных средств	II пусковой	III пусковой
	%	
Легковые	73,2	75,7
Грузовые	25,2	22,9
Микроавтобусы	1,2	1,1
Автобусы	0,4	0,3

Табл. 3

■ участок ПК121–ПК128 (насыпь высотой до 30 м с уклоном 70‰ заменить эстакадой с уклоном 70‰).

Уже на стадии разработки рабочей документации, по требованию ГИБДД ГУВД Краснодарского края, в продольный профиль автомобильной дороги на участке ПК121–ПК131 были внесены изменения по уклону с 70‰ до 50–60‰. Положение проектной линии в продольном направлении всех эстакад было определено ранее построенными сооружениями на граничных участках. Снижение уклона продольного профиля на новых искусственных сооружениях с доведением их до величин, оговоренных пунктом 1.7\* СНиП 2.05.03-84\* «Мосты и трубы», не представлялось возможным; продольный уклон на них остался соответствующим уклону земляного полотна. Технические характеристики искусственных сооружений приведены в табл. 1.

Конструкции дорожной одежды проезжей части мостовых конструкций представлены в табл. 2.

Как видно из представленных таблиц, только один объект – мост через реку Сочи – имеет ортотропную плиту и только на одном объекте (эстакада на ПК121–131) наплавляемая гидроизоляция «Техноэластомост» заменена на напыляемую гидроизоляцию «Полиурия».

Наблюдения за поведением и работой асфальтобетонных покрытий на всех рассматриваемых мостовых сооружениях пусковых комплексов № 2 и № 3 проводились в течение всего срока строительства олимпийских объектов. Анализ эксплуатационного состояния дорожных одежд, построенных в период с 2005 по 2010 годы, с целью определения эффективности проектных решений, проведенный ООО «ДорТрансНИИ» (Ростов-на-Дону) (3), позволил выявить повышение интенсивности движения в период строительства и основной со-

став технических средств. На стадии проектирования автомобильной дороги предполагалось, что среднегодовая интенсивность движения транспортных средств составит 12 600 авт./сут. на втором пусковом комплексе и 8300 авт./сут. на третьем пусковом комплексе со среднегодовым приростом в 3%. При определении интенсивности движения в 2011 году были получены следующие данные:

II пусковой комплекс – 41 900 авт/сут;  
III пусковой комплекс – 21 176 авт/сут.

Состав транспортных средств на тот период представлен в табл. 3.

При таких нагрузках и интенсивности движения износ покрытия происходил ускоренными темпами, и в результате можно было для всех сооружений установить характерные разрушения и деформации, такие как пластическое колееобразование, разрушения от динамических нагрузок, сдвиговые деформации, выкрашивания и разрушения, определенные как виброрезонансные.

Пластическое колееобразование может произойти в одном или более слоях и обычно сопровождается образованием вдавливания на поверхности и выпорами смеси с обеих сторон колеи. Такой вид деформации распространен в районах с жарким климатом (или при установившихся длительных высоких температурах), при загруженности полосы тяжелым транспортом и частыми автомобильными пробками, вызывающими передвижение рывками, способствующее возникновению дополнительных сдвиговых усилий.

Ударные воздействия динамического характера способствуют образованию трещин и выбоин, которые при дальнейшем выкрашивании приводят к образованию ям на всю толщину покрытия. Обычно такие дефекты возникают на контактных границах асфальтобетона с деформационными швами и при не-

ровностях покрытия. Сдвиговые деформации образовались в результате совместного воздействия (от колес автомобилей) горизонтальных и вертикальных сил, которые зависят от величины скорости движения перед началом торможения, интенсивности торможения и значения продольного уклона участка автомобильной дороги. При этом сдвиговые образования делятся на два вида:

- трещины и волновые образования, возникшие от сдвига дорожной одежды на предельных уклонах, при потере прочности сцепления на контактах между слоями,
- волновые образования и наплывы при нарушении сдвигоустойчивости непосредственно внутренних связей слоя асфальтобетона.

Многочисленные исследования показали, что через мостовое сооружение на покрытие передается сложное колебательное воздействие, обусловленное следующими факторами:

- интенсивностью, составом и скоростными режимами движения транспортного потока;
- колебательным движением автомобиля, связанным с колебаниями кузова и неподрессоренной массы автомобиля при проезде по неровной поверхности (деформационные швы на мостах, мелкие выбоины);
- собственной вибрацией транспортных средств (работа двигателя и т.д.);
- собственной вибрацией мостового сооружения.

При этом амплитуды ускорения колебаний достигают 0,25 м/с<sup>2</sup> при проезде легкового автомобиля; 0,6 м/с<sup>2</sup> – при проезде двухосного грузового автомобиля и 0,8 м/с<sup>2</sup> – при проезде четырехосного автомобиля. Максимальные вертикальные смещения в основном вызваны низкочастотными колебаниями. При этом наиболее значительные амплитуды колебаний наблюдаются за несколько метров до и после проезда транспортного средства.

Обычно виброрезонансные разрушения начинаются в точках с наибольшим наложением перекрестных частот, зависящих от расположения, наклона, длины пролетного строения, расстояния между опорами и интенсивности движения. Начинаются разрушения с потери сцепления между слоями, нижним слоем и

изоляция, а также изоляцией и бетоном. Если нижний слой устроен из плотного асфальтобетона, то именно он будет подвержен разрушению на следующем этапе, так как внутренние связи между щебнем и сами щебенки не выдерживают постоянной вибрирующей нагрузки. На этой стадии можно заметить на покрытии локальные скопления трещин по верхнему слою, которые могут мгновенно раскрыться («взорваться») и сразу образовать дефект в виде ям различного диаметра. В отличие от выкрашиваний, начинающихся по полосе наката, эти образования могут находиться в любом месте мостового полотна.

Выкрашивания происходят при потере когезионных свойств битума под воздействием динамических факторов, погодных условий, солнечной радиации, антигололедных реагентов или других химических веществ, попадающих на покрытие при

перевозке. В отличие от виброрезонансных разрушений, они начинаются в верхней части покрытия с мелких выбоин и постепенно превращаются в значительные локальные деформации. Обычно слабым местом является полоса наката.

Учитывая разделение условий движения по группам сложности на автомобильных дорогах, можно составить соответствующую таблицу для условий движения по мостовым переходам, добавив соответствующие им характеристики. Табл. 5 учитывает все особенности конструкции и расположения мостовых сооружений по типам сложности строения (номер мостового сооружения соответствует порядковому номеру по ходу пикетажа с ПК45+00).

Как видно из табл. 4 и 5, при одной конструкции дорожной одежды, одной и той же интенсивности движения,

одинаковых климатических условиях непосредственно сказываются на работе покрытия геометрическое положение сооружения в плане и расстояние между опорами, близость развязок и тоннелей, замедляющих движение. Наибольшее количество разрушений отмечается именно на мостовых сооружениях с осложненными условиями движения. Мост-эстакада через реку Бзугу по ходу движения на Адлер сразу переходит в тоннель. Это приводило к образованию пробок на правой стороне в период строительства олимпийских объектов. Здесь наблюдается такой вид деформации, как колей пластичности от длительного приложения статической нагрузки. Объект находится на втором пусковом комплексе, интенсивность которого была выше, чем на третьем. То, что на третьем пусковом комплексе интенсивность была несколько ниже и в состав асфальтобетона входила мо-

Наименование сооружения	Обнаруженные деформации и разрушения				
	Колея	Сдвиги	Виброрезонансные разрушения	Динамический фактор	Выкрашивания
Эстакада на ПК54–ПК57					
Мост через реку Бзугу					
Эстакада на ПК71–ПК73					
Путепровод на ПК77+48,0					
Эстакада на ПК86+76					
Эстакада на ПК98–ПК102					
Эстакада на ПК121–131					
Мост через реку Сочи					

Табл. 4

Условия движения	Характеристика проезжей части мостовых сооружений	№№ сооружений по табл. 2							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Легкие (группа 1)	Прямые пролетные строения длиной до 100 м или на кривых с радиусом не менее 1000 м, горизонтальные участки или с продольным уклоном не более 30%, при уровнях загрузки не более 0,3 ( без образования пробок), малый уровень вибрации (длина пролета между опорами до 50 м)			+	+				+
Сложные (группа 2)	Кривые в плане с радиусом 250–1000 м, продольный уклон 30–40% при длине не более 100 м, зоны сужения проезжей части, зоны недостаточной видимости, участки 1-й группы с повышенным уровнем загрузки 0,3–0,5 (периодические образования пробок), средний уровень вибрации (длина пролета между опорами до 100 м)	+				+	+		
Особо сложные (группа 3)	Длинные монолитные пролетные строения, кривые и обратные кривые в плане радиусом менее 250 м, продольный уклон более 40% при длине более 100 м, участки частых увлажнений, туманов, участки 1-й и 2-й групп с уровнем движения более 0,5 (частые образования пробок), постоянный и максимальный уровень вибрации (длина пролета между опорами свыше 100 м)		+						+

Табл. 5





*Боковые сдвиговые деформации хорошо определяются по положению разметочной полосы. Мост через реку Бзугу, май 2013 года*

*Эстакада ПК 121-131. Локальные скопления трещин на ШМА перед раскрытием*

дифицированная добавка РТЭП, послужило причиной для отсутствия колеи на покрытии. Сдвиговые дефекты присутствуют на больших продольных уклонах при спуске и наличии круговой кривой малого радиуса. Сдвиговые явления на эстакаде ПК121–ПК131 произошли по причине плохого сцепления изоляции с бетоном при расслоении конструкции от виброколебаний, что было доказано проведенными исследованиями (4).

Динамический фактор разрушения присутствует практически на всех сооружениях. То же происходит и с выкрашиванием верхнего слоя. Экстремальная интенсивность и перевозка большого количества горючих материалов и химикатов для строительных объектов могли спровоцировать многочисленные очаги разрушения.

Очень важным показателем можно считать и скорость разрушения покрытия. Первые разрушения появились на самой длинной по протяженности эстакаде № 7 (ПК121–131) в силу ряда факторов негативных воздействий и неблагоприятных сочетаний:

1. Положение в плане – S-образная кривая при длинном пролете (ощутимая вибрация);
2. Обратные кривые с радиусом 250 м (сдвиг от центробежной силы);
3. Вертикальный уклон 50–60‰ на S-образной кривой (сдвиг от торможения и неравномерного распределения давления на колеса);
4. Повышенная влажность атмосферы;
5. Максимальная интенсивность и частота осадков;
6. Накопление высокотемпературных воздействий;

7. Резкая смена температур (эффект грозового дождя);
8. Превышающая расчетную интенсивность движения (непрерывная вибрационная нагрузка);
9. Большая статическая нагрузка при образовании пробок во время строительства олимпийских объектов (в 7:00–9:00 часов и в 17:00–20:00 часов);
10. Динамическая (ударная) нагрузка на деформационных швах;
11. Отсутствие промежуточных поперечных дренажей на длинных пролетах.

При наличии таких условий работы пролетного строения будет естественным предположить, что покрытие должно быть наиболее прочным, долговечным, вибростойким, колеустойчивым и водостойким. Дорожная одежда, спроектированная без учета этих характеристик, подверглась быстрому разрушению покрытия на большой площади эстакады.

Таким образом, для наиболее «неблагоприятных» эстакад необходим особый подход к проектированию и учет каждого из негативных факторов в отдельности и их совместного воздействия. Очевидно, что одними лабораторными испытаниями асфальтобетона для не жестких дорожных одежд на земляном полотне по существующим стандартам уже не обойтись. Необходимо проверить весь пакет сконструированной дорожной одежды на сочетания нагрузок. Например: прочность и сдвигустойчивость образцов при 60–70°C в водонасыщенном состоянии после воздействия вибрации и ударной нагрузки, прочность после совместного воздействия

температуры и водонасыщения в агрессивной среде, испытания на ударные воздействия водонасыщенных образцов асфальтобетона при 0°C, положительных и отрицательных температурах. Но если для физико-механических и большей части эксплуатационных характеристик определены основные способы испытаний, то определения вибростойкости покрытия пока не существует, а наиболее близкими на сегодня являются испытания по усталостной долговечности.

Изучение поведения дорожной одежды на мостовых сооружениях в характерных условиях природно-климатических и погодных факторов и опыт работы по устройству дорожной одежды на автомобильных дорогах в районах, прилегающих к городу Сочи, были учтены в дальнейшем, при строительстве объекта «Дублер Курортного проспекта». По предложению заказчика были разработаны и выполнены конструкции дорожных одежд мостовых полотен с применением литых и высокоплотных асфальтобетонов на полимербитумных вяжущих.

**ВЫВОДЫ:**

- Для конструирования дорожных одежд на мостовых полотнах необходимо учитывать все воздействия, производимые на дорожную одежду при работе плиты вместе с покрытием, и выбирать асфальтобетона, наиболее устойчивые к этим усилиям.
- Для различных конструкций мостовых сооружений на одном объекте необходимо применять индивидуально спроектированную дорожную одежду с учетом всех неблагоприятных сочетаний на каждое отдельно взятое сооружение.

■ Различные пролеты мостовых сооружений в зависимости от суммарной прилагаемой нагрузки могут иметь различную дорожную одежду на одном мостовом переходе (исходя из экономической целесообразности).

**Е.В. Зинченко**  
старший преподаватель,  
ФГБОУ ВПО «Московский  
автомобильно-дорожный  
государственный технический  
университет», Сочинский филиал

**И. Г. Овчинников,**  
д-р техн. наук,  
ФГБОУ ВПО «Саратовский  
государственный  
технический  
университет имени Ю. Гагарина»

#### Литература

1. Научно-технический отчет «Исследование проблемы устройства гидроизоляции и дорожной одежды на проезжей части эстакады ПК121–131 на объекте ДСД «Черноморье» – автомобильная дорога II т. к. «Обход г. Сочи I очередь III пусковой комплекс». Разработка рекомендаций по устранению дефектов и повреждений и применению современных типов гидроизоляции и дорожной одежды». Научный руководитель: д-р техн. наук, проф., академик Академии Транспорта РФ И.Г. Овчинников. – Сочи, 2011.
2. Научно-технический отчет «Разработка конструкций нежестких дорожных одежд и покрытий мостовых полотен эстакад с железобетонной плитой проезжей части повышенной работоспособности». – РГСУ, Ростов-на-Дону, 2011.
3. Е.В. Углова. Исследование динамического воздействия транспортных средств на стационарных пунктах наблюдений / Е. В. Углова, С. К. Илиополов // Дороги и мосты: сб. ст. / ФГУП Росдорнии. – 2006. – Вып. 15/1. – С. 86–96.
4. Е.В. Зинченко, Е.В. Углова, Б.В. Бессчетнов, И.Г. Овчинников. Диагностика поведения дорожной одежды на пролетном строении с использованием виброизмерительного комплекса // Дороги и мосты: сб. ст. / ФГУП Росдорнии. – М., 2011. – Вып. 26.
5. В.А. Осиновская. Новая концепция преждевременного разрушения нежестких дорожных одежд // Транспортное строительство. – 2010. – № 3. – С. 6–8.
6. В.А. Осиновская. Вибрационные нагружения нежестких дорожных одежд // Вестник МАДИ – 2010. – Вып. 4 (19). – С. 79–83.
7. Е.В. Углова, С.К. Илиополов, О.В. Дровалева. Усталостное разрушение асфальтобетона в широком частотном диапазоне // Дороги и мосты: сб. ст. / ФГУП Росдорнии. – М., 2007. – Вып. 17/1. – С. 245–251.
8. Е.В. Зинченко. Применение современных технологий в строительстве олимпийских объектов в городе Сочи / С. С. Рекунов, Е. В. Зинченко. – М-во образования и науки Астраханской обл. Астрахань. – ГАОУ АО ВПО «АИСИ», 2012. – Т. 2 – С. 63–64.
9. Е.В. Зинченко, И.Г. Овчинников. Экспериментальные исследования по анализу влияния различных типов гидроизоляции дорожной одежды на мостовых сооружениях и их сопротивляемость сдвиговым деформациям // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Випуск 83 1-3 березня 2012 г. – г. Киев.
10. И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников, Е.В. Зинченко. Моделирование напряженно-деформированного состояния многослойных конструкций при совместном действии нагрузки, температуры и агрессивной среды применительно к дорожным покрытиям на мостовых сооружениях // Дороги и мосты». – Вып. 28/2. – 2012.
11. И.Г. Овчинников, Е.В. Зинченко. Особенности устройства гидроизоляции и дорожной одежды на проезжей части мостовых пролетных строений с большими продольными уклонами // Красная линия. – «Дороги. Инновации в строительстве». – № 63/сентябрь. – 2012.
12. Осиновская В.А. Вибрационное нагружение как фактор преждевременного разрушения дорожных одежд // Красная линия. – № 52/март – 2011.
13. Л.А. Горельшева. Сравнение в лабораторных условиях усталостной долговечности некоторых типов асфальтобетонов для дорожных покрытий / Л.А. Горельшева, А. А. Штромберг, И. В. Леонтьев // Дороги и мосты: сб. ст. – 2006. – Вып 16/2. – С. 86–92.