

ОРГАНИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ОСЖД)

I издание

Разработано совещанием экспертов Комиссии ОСЖД
по инфраструктуре и подвижному составу
с 18 по 20 мая 2004 г. в г.Юрмала

Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД
по инфраструктуре и подвижному составу
с 2 по 5 ноября 2004 г., г.Варшава

Дата вступления в силу: 5 ноября 2004 г.

**Р
773/11**

**ПОЛИМЕРКОМПОЗИЦИОННЫЙ ПОДСТИЛАЮЩИЙ
СЛОЙ ПОД ПЛИТАМИ БЕЗБАЛЛАСТНОГО МОСТОВОГО
ПОЛОТНА**

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>стр.</i>
1. Введение	3
2. Эксплуатационные особенности конструкции безбалластного мостового полотна	3
3. Пути совершенствования конструкции мостового полотна на железобетонных плитах и разработки, рекомендуемые к внедрению.....	4
4. Существующие конструкции прокладного слоя.....	6
5. Исследования, проводимые при разработке конструкции прокладного слоя	7
6. Конструкция полимеркомпозиционно-резинового прокладного слоя	11
7. Результаты эксплуатационных испытаний	11

1. ВВЕДЕНИЕ

Безбалластное мостовое полотно БМП на железобетонных плитах, конструктивное исполнение которых в своей основе соответствует проектами Ленгипротрансмоста разных лет выпуска, а также различным нормативным документами последних лет различных стран – участниц ОСЖД, все шире применяется, а в ряде стран стало применяться в массовом порядке, при капитальных ремонтах металлических мостов с заменой деревянных брусьев на железобетонные плиты БМП.

2. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ БЕЗБАЛЛАСТНОГО МОСТОВОГО ПОЛОТНА

Наряду с несомненными преимуществами, особенно в упрощении эксплуатации, безбалластное мостовое полотно БМП на железобетонных плитах обладает рядом недостатков, не позволяющих пока считать его конструкцию совершенной. Значение мостового полотна для мостов на электрифицированных постоянным током участках железнодорожных линий намного выше, чем для линий с переменным током и неэлектрифицированных. Необходимо учитывать, что электрокоррозия металлов и железобетона (коррозия арматуры) протекает примерно в 4 раза интенсивнее и быстрее, чем просто коррозия. Кроме того, в последнее время выявлен еще один вид электрокоррозии железобетона, при котором корродирует не только арматура (как это принято считать), но и бетон железобетона, - электрокоррозия от пульсирующего однонаправленного постоянного тока при передвижении по мосту электровоза. Целенаправленных способов защиты от этого вида электрокоррозии до сих пор не существовало, т. к. не был известен ее механизм. С описанием природы и механизма этого вида коррозии становится осознанной ведущая роль мостового полотна в коррозионном повреждении как металлических, так и железобетонных пролетных строений и других частей мостов, а также перспективность применения мостового полотна из железобетонных плит. С учетом этого ниже дана более углубленная, чем обычно, критическая оценка конструкции БМП на железобетонных плитах, с целью дальнейшего совместного (ученых и производителей) совершенствования конструкций безбалластного мостового полотна и повышения надежности и долговечности пролетных строений и других конструкций мостов.

К этим недостаткам относятся:

- увеличение статической нагрузки до 20%, снижающее усталостную прочность конструкций металлических пролетных строений, особенно при нарушении или износе прокладного слоя, увеличивающими интенсивность динамических воздействий и неровности пути по уровню;
- увеличение жесткости (деформативности) подрельсового основания, повышающее износ подвижного состава и рельсового пути, особенно, как в предыдущем случае при нарушении или износе прокладного слоя;
- недостаточная защита от коррозии металлических конструкций пролетного строения под плитами из-за несовершенства, нарушения или износа

гидроизоляции стыков, прокладного слоя, узла скрепления плиты с металлическими балками;

- значительное увеличение вероятности электрокоррозии металлических конструкций и арматуры железобетонных конструкций пролетного строения, от токов утечки на электрифицированных участках с постоянным током в контактной сети, а также электрокоррозии бетона этих и других железобетонных конструкций от пульсирующего однонаправленного постоянного тока при вхождении электролокомотива на мост. Повышение вероятности этих видов коррозии обусловлено в первую очередь более низким электросопротивлением железобетона плит, по сравнению с древесиной брусьев, введением намного большего количества потенциальных локальных мест утечки тока с рельсов на металлоконструкции через загрязненные, неисправные или несовершенные узлы скрепления рельсов с плитами, узлы соединения плит с металлическими балками, стыки между плитами, а также прокладной слой;

- недостаточная трещиностойкость и морозостойкость самих плит, что уменьшает несущую способность и долговечность полотна, а также снижает его электросопротивление.

3. ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ МОСТОВОГО ПОЛОТНА НА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТАХ И РАЗРАБОТКИ, РЕКОМЕНДУЕМЫЕ К ВНЕДРЕНИЮ

Вместе с тем, конструкция мостового полотна на железобетонных плитах является весьма перспективной по надежности и обеспечению долговечности как полотна, так и остальных металлических и железобетонных конструкций мостов при устранении указанных выше недостатков.

В этом свете УкрГАЗТом по заданию Укрзалізници выполнены и находятся в стадии дальнейшего совершенствования следующие работы:

1. Разработан надежный гидроизолирующий состав ЗС-3 взамен дорогой малотехнологичной и хрупкой эпоксидной смолы, предусмотренной ранее существующими ТУ. Данный состав научно обоснован и проверен по гидро- и электроизоляционным показателям, показателям надежности, долговечности и охраны труда при ведении строительных и эксплуатационных работ, а также капитального ремонта, связанных с безбалластным мостовым полотном на железобетонных плитах БМП. Он входит в состав конструкции плиты как ее неотъемлемая часть наряду с эпоксидной смолой и разрешен в Украине в виде ТУУ. Железобетонные плиты покрываются этим составом механизированным способом при их изготовлении на заводе.

2. Разработан герметизирующий состав ГС-1 для герметизации стыков между плитами БМП и отверстий в узлах прикрепления плиты к металлической балке. Разработан взамен эластичных латексообразных дорогих не во всех странах имеющихся материалов. С 1999 г успешно эксплуатируется мостовое полотно с плитами БМП на пролетном строении длиной 66 м. со швами между плитами и отверстиями под лапчатые болты, герметизированными с помощью этого состава. Два года назад по очень простой технологии выполнен профилактический ремонт швов, что свидетельствует о возможности

поддержания разработанной герметизации в надежном состоянии в течение многих десятилетий.

Из применяемых новых материалов эффективными являются приклеиваемые надувные резиновые уплотнители швов. Однако следует учитывать, что это решение не является универсальным, т.к. задача герметизации швов под лапчатые болты остается нерешенной.

3. Научными исследованиями выяснена основная причина низкой трещиностойкости железобетонных плит – долговременные ползучесть и виброползучесть бетона в сжатых зонах плиты, которая изменяет схему напряженно-деформированного состояния плиты через несколько лет или десятков лет как преднапряженных, так и не преднапряженных железобетонных плит, по сравнению с начальным, значительно снижая момент ее трещиностойкости.

Разработаны оптимальные составы бетона для плит БМП (и железобетонных шпал и брусев) с минимальной долговременной ползучестью, которые обеспечат высокую трещиностойкость, морозостойкость, электросопротивление. На способ определения такого состава получен патент Украины на изобретение, что делает возможным передачу этого способа в производство железобетонных плит (и других конструкций искусственных сооружений).

4. Разработаны схемы и методики заводских испытаний плит БМП на трещиностойкость, изготовлен и запущен с соответствующим аттестатом и Госприемкой стенд для испытаний на Староконстантиновском ЗЖБШ. Разработана методика определения при испытании на трещиностойкость прогиба шпалы и ее допускаемая величина, которая рекомендуется для улучшения качества контроля и обеспечения стабильной трещиностойкости плит.

5. Разработаны эквивалентные схемы токов утечки с рельсов через элементы конструкции мостового полотна, металлическое пролетное строение и опоры в грунт, применение которой позволит обеспечить быстрое выявление локальных мест утечки токов и их устранения.

6. Разработана конструкция прокладного полимеркомпозиционного слоя под плиты БМП с модулем деформаций, близким к модулю деформации прокладного слоя из дубовой прокладки и резинового слоя, с высоким электросопротивлением, что будет смягчать динамические нагрузки и повышать усталостную прочность конструкций мостового полотна и пролетного строения.

7. Высокоэффективным решением в устранении указанных выше недостатков и совершенствовании конструкции железобетонных плит БМП должно стать применение пружинных рельсовых креплений с замоноличенными в бетон плиты анкерами. Наиболее подготовленным (без изменения конструкции плит и практически без изменения технологии) и наиболее дешевым является применение разработанных упругих креплений типа УС-1.

За счет высокого электрического сопротивления серных мастик (или высокоплотного бетона) в отверстиях шпалы с замоноличенным анкером такой узел крепления должен обеспечить хорошую защиту металлических конструкций пролетных строений и бетона железобетонной плиты от электрокоррозии.

4. СУЩЕСТВУЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРОКЛАДНОГО СЛОЯ

Ранее на железных дорогах Украины и других стран прокладной слой изготавливали из армированного цементно-песчаного раствора (определенной прочности) и опорных деревянных прокладок в соответствии с „Инструкцией по применению безбалластного мостового полотна на железобетонных плитах на металлических пролетных строения железнодорожных мостов” (ЦП МПС СССР) и проектами Ленгипротрансмоста разных лет выпуска.

Недостатком такого прокладного слоя является высокая жесткость мостового полотна и недостаточная прочность, особенно в тонких слоях (около 25 мм). На Южной дороге часто обнаруживались случаи полного хрупкого разрушения цементно-песчаного слоя.

Такой недостаток должен отсутствовать в конструкции прокладного слоя из бетона в металлической обойме.

В последнее время распространение получил прокладной слой из мелкозернистого высокопрочного бетона. Однако пока отсутствуют данные о результатах длительной его эксплуатации.

Кроме того, прокладной слой из бетона в обойме и высокопрочного бетона являются слишком жесткими.

Высокая жесткость цементно-песчаных и бетонных в обойме конструкций прокладного слоя устранена в слоистом древесно-резиновом подстилающем слое, рис. 1. В нем используется антисептированная древесина твердых пород (дуб, граб, лиственница) – 4 и армированная тканью резиновая прокладка (транспортная лента) - 5.

Недостатком прокладного слоя из древесины и резиновой прокладки является плохая защита металлической продольной балки пролетного строения от коррозии и электрокоррозии и даже их усиление за счет скапливания воды под древесиной, невысокая долговечность древесины (10-15 лет).

Более долговечным и хорошо герметизирующим является прокладной слой из чистой эпоксидной смолы с обычным отвердителем. На Южной железной дороге Украины имеется опыт изготовления и эксплуатации такого прокладного слоя (без резиновой прокладки). Пролетное строение с таким слоем находится в эксплуатации с 1984 г без каких-либо нарушений или видимых разрушений прокладного слоя.

Единственными недостатками такого слоя пока следует считать высокую стоимость и высокую жесткость мостового полотна и пути на нем.

Таким образом, материалы, применяющиеся для изготовления прокладного слоя не в полной мере удовлетворяют требованиям долговечности, деформативности и защите продольной балки от коррозии и электрокоррозии.

5. ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОВОДИМЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИИ ПРОКЛАДНОГО СЛОЯ

При разработке конструкции полимеркомпозиционного прокладного слоя выполнялись исследования и затем сравнение по характеристикам различных вариантов прокладного слоя - на основе полимеркомпозиционных материалов, на основе полиуретановых смесей (из числа имеющихся на Украине) и резино-деревянных (дуб), последний в качестве контрольного.

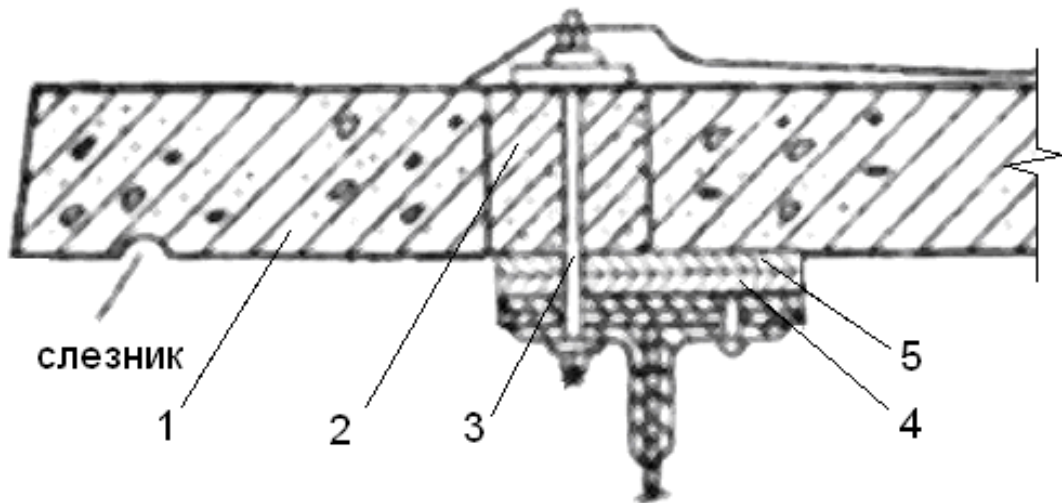


Рис. 1.

Конструкция прокладного слоя под железобетонные плиты
безбалластного мостового полотна:

1- безбалластная железобетонная плита; 2 – овальное отверстие для высокопрочной шпильки и нагнетания раствора под плиту; 3 – высокопрочная шпилька для крепления плиты; 4 - антисептированная древесина (дуб); 5 - армированная тканью резиновая прокладка (транспортёрная лента)

Технические требования Укрзализныци, в соответствии с которыми выполнялась разработка конструкции прокладного слоя:

- срок службы и продолжительность устройства прокладного слоя должны соответствовать таковым для демонтажа деревянных брусьев и укладки плит БМП - не менее 50 лет и без задержки общего ритма укладки плит;

- разрабатываемый прокладной слой должен быть водонепроницаемым, морозостойким (минимум F200) и иметь электросопротивление не ниже, чем резино-деревянный (дуб), а также трещиностойким в течение всего нормируемого срока службы (50 лет);

- прочность слоя должна обеспечить восприятие нагрузок от подвижного состава сразу после устройства мостового полотна на данном участке, для чего затвердевший слой под плитой через 2 часа после заливки под плиту должен выдерживать нагрузку при сжатии, соответствующую напряжению не менее 2,4 МПа;

- деформационные свойства прокладного слоя должны приближаться к таковым для резино-деревянного (дуб) прокладного слоя. Деформация слоя при сжатии от поездной нагрузки $\sigma_{ст} = 1,3$ МПа (13 кг/см^2) через 2 часа после заливания и в дальнейшем при полном отверждении не должна быть ниже 0,2 мм;

- время возвращения в исходное состояние (эластичность) после снятия поездной нагрузки не должно превышать 10 минут;

- состав для прокладного слоя должен быть текучим с целью его свободного заливания под плиту, время желатинизации (до начала затвердевания) - не более 1 часа с момента его приготовления;

- стоимость материалов прокладного слоя не должна быть намного выше стоимости материалов резино-деревянных конструкций.

Получение прокладного слоя с такими разнообразными свойствами достигалось путем создания полимеркомпозиционных материалов, свойства которых регулировались за счет подбора и изменения массового соотношения компонентов с определенными исходными свойствами;

Перечень материалов, которые использовались для этого:

- вяжущие и модификаторы: инден-кумароновая, каменноугольная, эпоксидная, карбамидная и полиуретановая смолы, а также поливинилхлорид;

- наполнители: - песок кварцевый, песчаная пыль, портландцемент, керамзитовая пыль, известь и т.п.

Вначале исследований экспериментально определялись деформационные характеристики резино-деревянного прокладного слоя и его составляющих - древесины (дуб) и кордовой резины. На рис.2. представлен соответствующий график деформаций в зависимости от изменения напряжения в нем. По данным этого графика, модуль деформации такого прокладного слоя равен $E = 60 - 70$ МПа. Величины модуля деформации древесины. $E = 67$ МПа и резины $E = 7 - 14$ МПа, определенные аналогичным образом, свидетельствуют о том, что прокладной слой при нагружении сначала деформируется за счет резины, затем в интервале напряжений 0,8-2,4 МПа - за счет древесины.

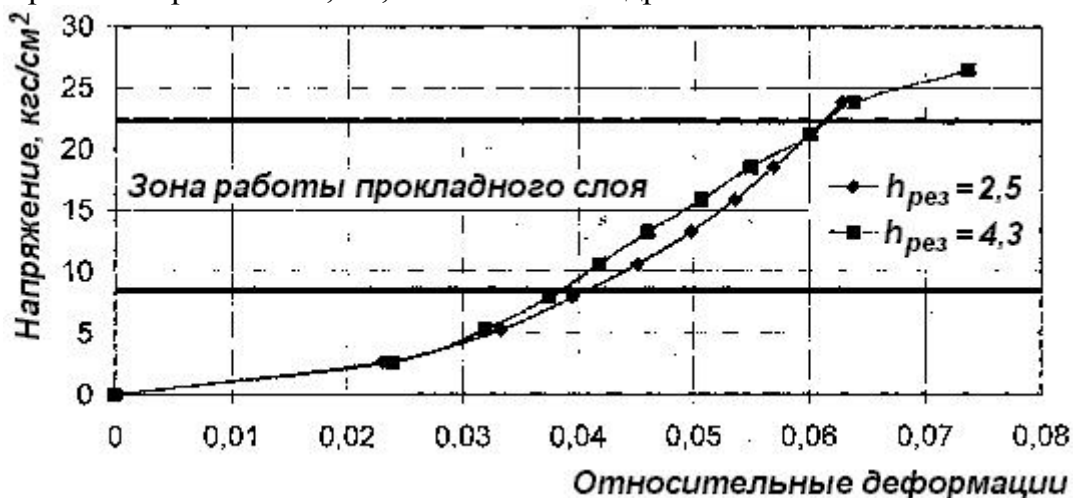


Рис.2

Изменение деформаций прокладного слоя под плиты БМП, используемого на Южной железной дороге.

Из числа приведенных выше материалов для создания матрицы полимеркомпозиционного состава выбраны смолы – эпоксидная ЭД и каменноугольная КУС. Для увеличения деформативности использовали резиновую крошку и дибутилфталат, для ускорения твердения ЭД - высокоактивный отвердитель УП-583, для связывания воды, содержащейся в КУС, - наполнитель-цемент.

Варьирование соотношений между этими компонентами позволило получить композиционные материалы с большими диапазонами регулируемых деформационных и прочностных свойств: модуля упругости $E= 3\div 300$ МПа, прочности при сжатии $R= 1,5\div 20$ МПа, что позволило выбрать составы с требуемыми свойствами $E=67$ и $R \geq 11$ МПа.

Для окончательного выбора состава выравнивающего слоя со свойствами, близким к свойствам древесины (дуб), были изготовлены 6 образцов с различными составами, которые затем испытывали на прочность при сжатии и деформации.

Результаты испытаний представлены на рис. 3. Анализ данных на рис. 3 показал, что ближайшим к древесине по деформациям является состав №3. Его прочность при сжатии составляет $R = 17$ МПа (нагрузка на состав в действующем пути составляет 1,3 МПа). Величина адгезии состава к резине составляет 0,8-1,1 МПа, к металлу – 4,4-5,0 МПа, к бетону – 8,0 МПа.

Диаграмма напряжение – деформация этого состава представлена на рис.4. Как видим, в пределах нагрузки от подвижного состава слой работает в упругой стадии, модуль деформации $E=74$ МПа приближается к модулю деформации дубовой древесины $E=67$ МПа, слой имеет значительный запас прочности, что должно обеспечить его высокую долговечность.

Разработка прокладного слоя из эластичного полиуретанового материала выполнялась с целью определения возможности замены всего прокладного слоя на эластичный полиуретановый или замены резинового слоя (целесообразность такой замены определяется, главным образом, изготовления прокладного слоя в одну операцию - заливки полиуретановой смеси под плиту). При изготовлении составов использовался универсальный полиуретановый герметик "Гермофлекс" марки В, ТУ У 24.6-20938091-001-2001.

Для увеличения жесткости и прочности полиуретана в него вводили эпоксидную смолу ЭД-20 с отвердителем ПЭПА, а для уменьшения стоимости – наполнители (цемент и мелкий кварцевый песок), из которых были изготовлены еще 26 составов.

Эти составы прошли испытания на деформации при нагружении до 2,5 МПа.

Изготовление прокладного слоя целиком из полиуретановой композиции один из испытанных составов невозможно из-за высокой абсолютной деформации слоя под поездной нагрузкой (до 8 мм).

При введении в полиуретановую композицию эпоксидной смолы ЭД-20 были достигнуты требуемые модуль деформаций и прочность, однако все компоненты этого состава имеют высокую стоимость.

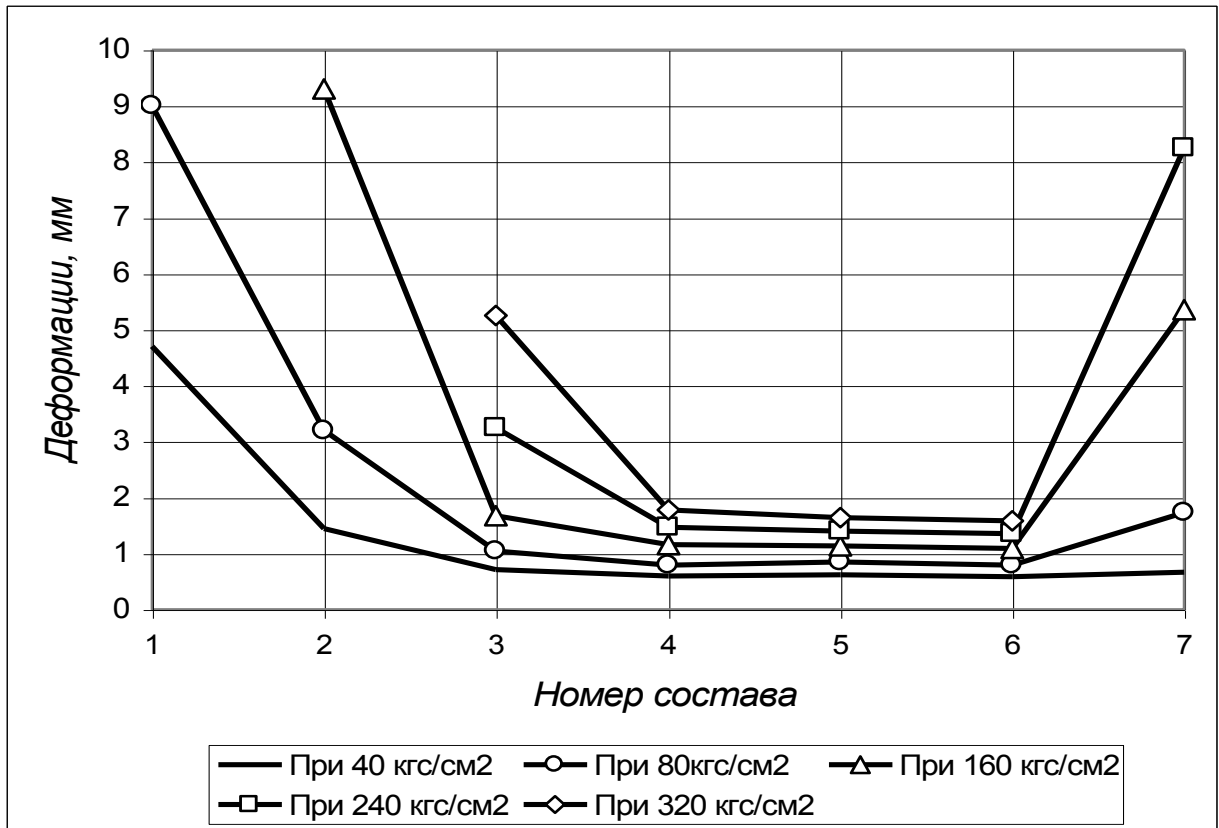


Рис.3.

Деформации составов № 1-6 с различными соотношениями ЕД-20 – КВС.
Номер 7 относится к древесине (дуб).

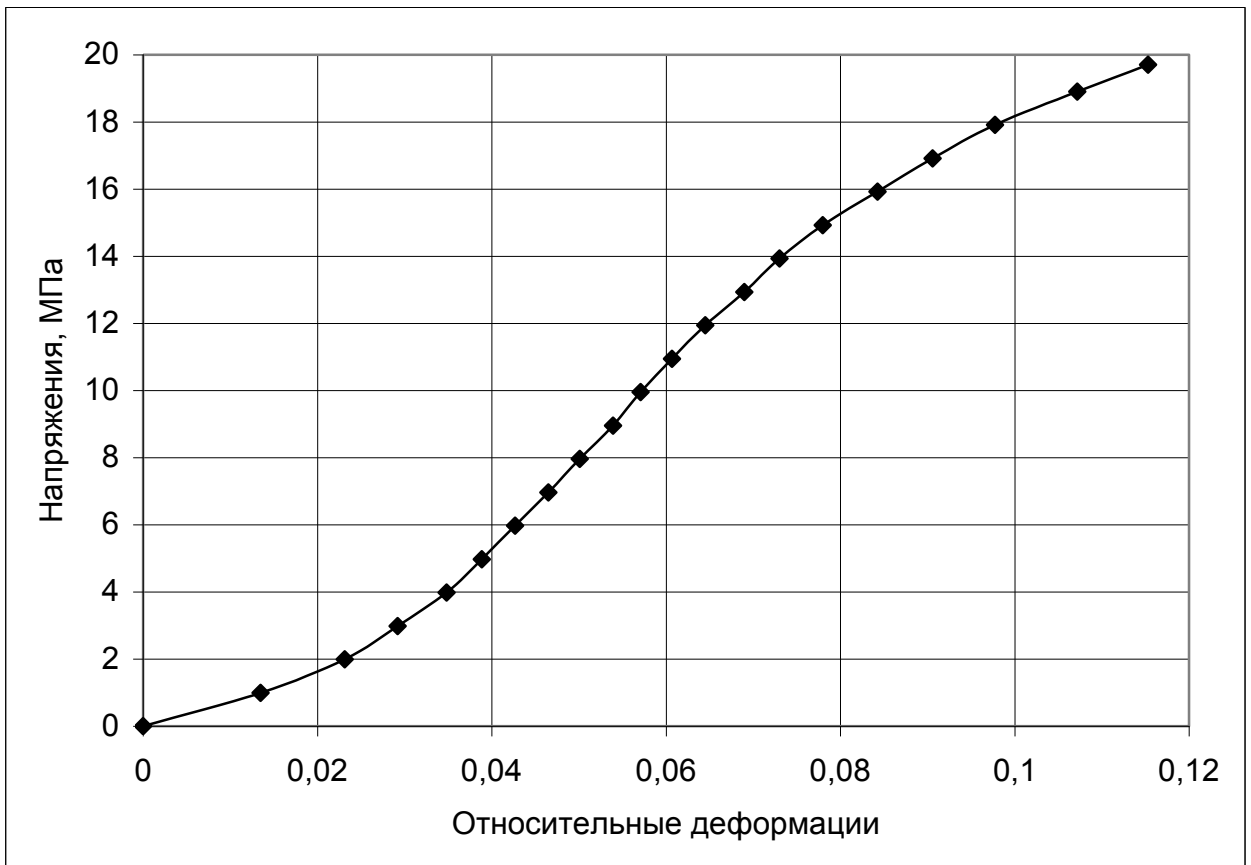


Рис. 4.

Диаграмма напряжение-деформации состава

Стоимость составов снижается за счет добавления наполнителя – цемента и песка, однако у них недопустимо сильно уменьшается модуль деформации, а в высоконаполненных составах (до 200 масс. %) теряются свойства текучести.

Разработанный полимеркомпозиционный состав успешно прошел полный цикл динамических испытаний в специально разработанной установке, а также соответствующих климатических испытаний. Нагрузка при испытании соответствовала реальной поездной на плиту БМП.

6. КОНСТРУКЦИЯ ПОЛИМЕРКОМПОЗИЦИОННО-РЕЗИНОВОГО ПРОКЛАДНОГО СЛОЯ

Конструкция полимеркомпозиционно-резинового прокладного слоя подобна конструкции резино-деревянного слоя (рис.1) и представлена на рис. 5. Отличием является применение временных деревянных опор (опорных брусков) под плиты БМП, расположение которых показано на рис.6.

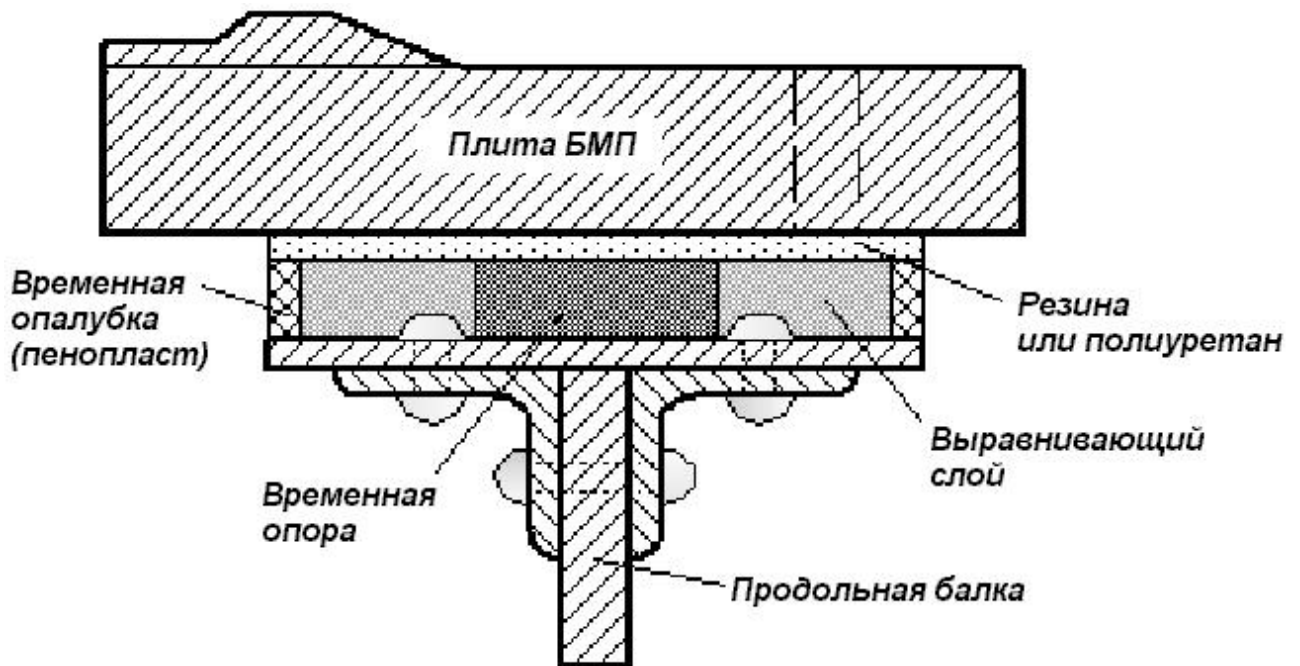


Рис. 5.

Поперечный разрез в зоне среднего опорного бруска

7. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Таким образом, разработаны два варианта прокладного слоя под плиты БМП из новых материалов: - полимеркомпозиционно-резиновый и полимеркомпозиционно-полиуретановый. Однако первый является более предпочтительным, т.к. полиуретановый состав значительно дороже и имеет недостаточную стабильность текучести. К тому же кордовая резина по первому варианту применяется для указанных целей давно и ее доступность и стабильность свойств не вызывает сомнения. В связи с изложенным

разработанный полимеркомпозиционно-резиновый прокладной слой был выбран в качестве основного для эксплуатационных испытаний.

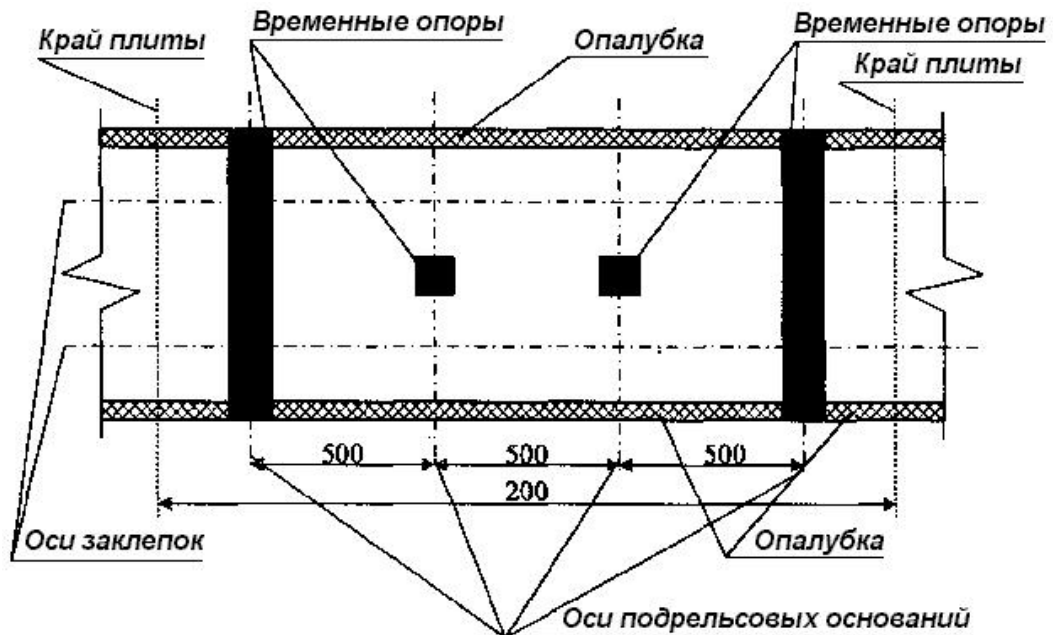


Рис. 6.

Схема расположения опорных брусков на продольной балке

Эксплуатационных испытания проведены в августе 2003 года на одном из металлических мостов направления Основа - Харьков пас. Южной ж.д. Испытания проводились в соответствии с разработанными УКРДАЗТ и утвержденными ЦП УЗ "Временными техническими указаниями на укладку и эксплуатацию опытного участка безбалластного мостового полотна (БМП) на прокладном слое из полимеркомпозиционных материалов. Программа специального надзора."

Работы выполнялись в два этапа – подготовительный и основной.

В подготовительный этап выполнялись работы: - заготовка и дозирование компонентов; - заготовка деревянных опорных брусков (по данным нивелирования, выполненного в проекте укладки плит);- изготовление элементов опалубки; - наклеивание кордовой резины на обратной поверхности плит БМП.

Для сравнения в качестве элементов опалубки использовались пенопласт и деревянные рейки с односторонне закрепленным поролоном.

Кордовая резина была заготовлена в соответствии с шириной продольных балок и равнялась 20 см. Наклейка резины производилась на проверочном стенде тем же составом, что и прокладной слой. При наклеивании учитывался эксцентриситет оси пути относительно оси моста.

В основной этап, выполняемый в "окно", верхние пояса продольных балок были очищены от ржавчины и грязи, на подготовленную поверхность нанесен тонким слоем полимеркомпозиционный состав, на него разложены опорные бруски в соответствии с проектом, рис. 6, фото 3 и установлена опалубка по одному продольному борту на каждой балке, фото 2. В местах

соединения продольных и поперечных балок установлены специальные деревянные прокладки, исключаяющие нагрузку на поперечные балки.

После этого на опорные бруски были установлены плиты в соответствии с картой раскладки по проекту, фото 3. Для осуществления в последующем демонтажа плит (при необходимости) шпильки и поверхность отверстий были смазаны консистентным смазочным маслом.

После рихтовки плит установлены вторые продольные борта опалубки и через крайние в плитах отверстия для шпилек выполнена заливка состава, фото 4, для чего шпильки были предварительно опущены. Состав заливали до заполнения им отверстия под шпильки доверху.

При заливке выяснилось, что в пределах одной плиты (до 2-х м) и при данной температуре воздуха растекание состава под плитой достигалось и без помощи разработанного устройства, позволяющего выполнять заливку под напором (с высоты) и под давлением, фото 4.

При заливке было выявлено также, что опалубка из пенополистирола не обеспечивает надежной герметичности, в то время как опалубка из деревянной рейки с поролоном такую герметичность обеспечивала.

Рабочий полимеркомпозиционный состав для прокладного слоя готовился следующим образом. В смешанную на базе часть компонентов (ЭД-20, КУС, ДБФ) добавляли наполнитель (ПЦ) и отвердитель (УП-583), которые также были отдозированы на базе. Рациональное количество состава, приготавливаемое за один раз, составило 10 литров.

После окончания заливки и желатинизации композиционного состава (до 1 часа) выполнена обкатка экспериментального участка мостового полотна на протяжении суток, причем все высокопрочные шпильки были затянуты с усилием 200 кН (20тс).

Осмотр прокладного слоя, выполненный через 10 дней, через 30 дней и к настоящему времени (почти через 1 год) после его устройства, не выявил на местах со снятой опалубкой никаких дефектов и повреждений. Эксплуатационные наблюдения будут продолжаться.



Фото 1.
Установка опорных брусков



Фото 2.
Продольный борт опалубки и опорные бруски перед укладкой плит



Фото 3. Укладка плит БМП



Фото 4.
Заливка полимеркомпозиционного состава под плиты БМП из специального приспособления через отверстие под шпильку