

# КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ, РЕАЛИЗОВАННЫЕ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТЕПРОВОДА ЧЕРЕЗ БОЛЬШУЮ ТУЛЬСКУЮ УЛИЦУ В Г. МОСКВЕ

Козлов В.О. Email: Kozlov1167@scientifictext.ru

*Козлов Виталий Олегович – главный специалист,  
отдел искусственных сооружений,  
ООО «Инженерный центр «Мосты и тоннели», г. Москва*

**Аннотация:** в основе статьи лежит железнодорожный путепровод через Большую Тульскую улицу и трамвайные пути в г. Москве, построенный в 2006 году. Путепровод представляет собой комбинированную систему с полигональным верхним и жестким нижним поясами и с решеткой из наклонных раскосов в качестве главного пролетного строения, и плитная конструкция из монолитного железобетона, трапециевидальной конфигурации в плане в качестве переходного строения. Проект был выполнен силами инженеров ГУП «Мосинжпроект». При проектировании было рассмотрено 8 вариантов, анализ которых позволил реализовать новейшие конструктивно-технологические решения, описанию которых уделено большое место в данной статье.

**Ключевые слова:** реконструкция, железнодорожный путепровод, проектирование, конструктивно-технологические решения, мостовое пересечение.

## STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS IMPLEMENTED AT RECONSTRUCTION OF THE RAILWAY OVERPASS THROUGH BOLSHAYA TULSKAYA STREET IN MOSCOW

Kozlov V.O.

*Kozlov Vitaly Olegovich – Chief Specialist,  
DEPARTMENT OF ARTIFICIAL STRUCTURES,  
LLC «ENGINEERING CENTER BRIDGES AND TUNNELS», MOSCOW*

**Abstract:** the article is based on a railway overpass across Bolshaya Tulskaia Street and tram tracks in Moscow, which was built in 2006. The overpass is a combined system with a polygonal upper and rigid lower belts and with a lattice of inclined braces as the main span, and a slab structure of monolithic reinforced concrete, a trapezoidal configuration in the plan as a transitional structure. The project was designed by engineers of the State Unitary Enterprise "Mosinzhprouekt." During the design, eight options were considered, the analysis of which made it possible to implement the latest structural and technological solutions, the description of which is given an essential place in this article.

**Keywords:** reconstruction, railway overpass, design, structural and technological solutions, bridge crossing.

УДК 625.411

Вопросы общей организации строительства железнодорожного путепровода и монтажа пролетных строений методом продольной надвигки были отражены в статье Потапова С.В., Кирика А.В., Шигина В.Н. «Переустройство железнодорожного путепровода» (см. Вестник мостостроения № 3-4, 2005) [1]. Проектирование этого путепровода предполагало решение целого комплекса проблемных вопросов и заслуживает подробного освещения.

Первичные проработки вариантов реконструкции Большой Тульской улицы от Автозаводского моста до выхода на Варшавское шоссе, выполненные ГУП «Мосинжпроект» в 1999 г, были связаны со строительством 3-го транспортного кольца и предусматривали комплексное решение узла пересечения Автозаводской улицы со съездами и бессветофорного пересечения всех направлений. Однако данное решение вызывало необходимость устройства дополнительных боковых проездов вдоль главного направления движения автотранспорта и требовало общей ширины автопроезда 47 м, что при существующей плотной городской застройке было невозможно. Таким образом, окончательным результатом проработок стали планировочные решения, с расширением Большой Тульской улицы до габарита проезжей части 34 м.

На предпроектной стадии инженерной подготовки строительства было рассмотрено 8 вариантов мостовых пересечений Большой Тульской улицы. Наличие угла пересечения железной дороги с автопроездом, равного  $76^\circ$ , приводит к усложнению конструкции пролетного строения как в изготовлении, так и при сооружении в случае косоного опирания, поэтому разработанные варианты включали также технические решения с «нормальным» опиранием пролетных строений. После обсуждения разработанных вариантов в Управлении архитектуры г. Москвы был принят вариант с главным пролетным строением комби-

нированной системы с полигональным верхним и жестким нижним поясами и с решеткой из наклонных раскосов, перекрывающим одним пролетом, равным 97,58 м, восьмиполосную магистральную улицу и трамвайные пути. Переходное пролетное строение, перекрывающее пешеходный проход со стороны центра г.Москвы, выполнено плитным из монолитного железобетона, трапецеидальной конфигурации в плане с усредненным пролетом 7,4 м.

Таким образом, путепровод запроектирован под железнодорожную нагрузку С14 по схеме 7,4 + 97,58 м общей длиной 114,78 м на отдельных промежуточных опорах и с отдельными под каждый путь пролетными строениями (рис. 1).



*Рис. 1. Общий вид путепровода*

Промежуточные опоры запроектированы двухстолбчатыми с уширением в верхней части, монолитной конструкции, с фундаментами на буронабивных железобетонных сваях диаметром 1,5 м. Устои необычного типа также запроектированы с фундаментами на буронабивных железобетонных сваях диаметром 1,5 м.

Конструкция стального пролетного строения с полигональным верхним и жестким нижним поясами и с решеткой из наклонных раскосов для железнодорожных мостов применяется впервые в России и имеет рекордный пролет 97,58 м для упомянутой системы, запроектированной под современную железнодорожную нагрузку. Анализ показал, что ранее аналогичные системы были реализованы для автодорожных сталежелезобетонных пролетных строений с пролетами 83,2 и 104 м. Разработка конструктивных решений этих пролетных строений была доведена до уровня типовых проектов. Известна также разработка железнодорожного пролетного строения со сборными железобетонными верхними поясами и монтажными соединениями на высокопрочных болтах, применительно к пролету 88 м. Далее эскизного проекта эта разработка не пошла.

Необходимость обеспечения высотного габарита проезда городского транспорта с одной стороны и невозможность изменения существующего продольного профиля железнодорожной линии с другой, предопределили конструктивно-технологические решения по пролетному строению в условиях ограниченной строительной высоты.

Стальное решетчатое комбинированное пролетное строение (сталь 15 ХСНД) с безбалластным мостовым полотном по сборным железобетонным плитам проезжей части включает две узкие коробчатые балки постоянной высоты 1,8 м при межосевом расстоянии 5,65 м, соединенные поперечными балками с шагом 2,03 м и с двумя продольными балками, расположенными на расстоянии 1,7 м друг от друга (рис. 2). Простота изготовления пролетного строения была одним из главных требований при проектировании, не менее важным было обеспечение технологичности устройства стыков раскосов с главными балками и поперечных балок с главными балками коробчатого сечения. Нижний пояс решетчатого пролетного

строения собирался из пяти крупногабаритных коробчатых блоков длиной от 18,3 м до 20,3 м и массой от 16,2 т до 20,9 т. Эти заводские коробчатые блоки выполнены таким образом, что вертикальная стенка имеет развитие по форме узловых фасонки, обеспечивающих прикрепление наклонных раскосов.

Другой отличительной особенностью являлось то, что вертикальные соединительные элементы выполнены в виде Т-образного соединительного элемента, прикрепленного в заводских условиях своим основанием к вертикальному листу жесткого нижнего пояса (рис. 2), причем ребро Т-образного соединительного элемента прикреплено с помощью фасонки к вертикальным листам поперечной балки и угловой фасонки (патент на полезную модель № 46768).



*Рис. 2. Узлы соединения поперечных и продольных балок*

Таким образом, разработанные конструктивные решения, обеспечивающие быстро оформляемые стыки, позволяли осуществлять сборку 620т нетиповых металлоконструкций ориентировочно за 2 месяца.

К инновационным решениям следует отнести применение сталефибробетона для безбалластных железобетонных плит мостового полотна (рис. 3). Из практики содержания безбалластного мостового полотна известно, что даже после непродолжительного срока эксплуатации под обращающимися железнодорожными нагрузками в части плит, изготовленных из ненапряженного железобетона, непременно возникают дефекты, выражающиеся в трещинообразовании различного характера. Как показал анализ, проведенный ВНИИЖТ, единственно возможным и целесообразным средством повышения трещиностойкости плит является повышение качества бетона и его прочностных характеристик за счет применения стальной фибры.



*Рис. 3. Безбалластное мостовое полотно*

Для обоснования проектно-технологических решений ЦНИИСом и ВНИИЖТом были проведены комплексные научные исследования, которые включали: экспериментальную проверку трещиностойкости и выносливости плит на крупномасштабных образцах; определение рационального состава сталефибробетона по прочностным показателям на сжатие и растяжение при изгибе стандартных образцов; определение водонепроницаемости, усадки и ползучести сталефибробетона выбранного состава на стандартных образцах; исследование крупномасштабных образцов плит на изгиб при статическом нагружении; разработку методики и проведение исследований на выносливость плит, с определением пределов выносливости на стандартных образцах и крупноразмерных фрагментах плит при моделировании реальной работы на изгиб; исследования образцов из сталефибробетона на электропроводность; разработку технологии изготовления плит из сталефибробетона.

Проведенные динамические испытания показали, что безбалластные плиты мостового полотна, изготовленные из сталефибробетона, обладают значительно более высокой усталостной прочностью, чем плиты, изготовленные из обычного бетона. При этом следует отметить, что фрагменты плит не были доведены до полного разрушения даже при наработке 5млн циклов.

Также экспериментальные исследования показали, что армирование бетона стальными фибрами 60-100 кг на м<sup>3</sup> смеси с одновременным введением добавки ЦМИД-4 позволяет получить дисперсно-армированный материал, который характеризуется повышенной трещиностойкостью (поперечная трещиностойкость увеличивается до 3 раз), прочность на ударные воздействия повышается до 10 раз, прочность на растяжение при изгибе повышается до 3 раз, прочность на сжатие и ускоренный набор прочности до 2-х раз, относительная деформативность при растяжении в 5-10 раз, а при сжатии в 2,5-3 раза.

В заключение можно сказать, что плиты безбалластного мостового полотна, изготовленные из сталефибробетона обладают повышенной надежностью, причем дополнительное дисперсное армирование позволит улучшить работу плит на многократно повторные нагрузки и продлит срок их службы в несколько раз.

Учитывая сжатые сроки строительства, и продолжительное время требуемое для освоения новой технологии, безбалластные плиты из сталефибробетона были применены только на одном пролетном строении, на другом была применена другая модификация – с преднапряженным армированием.

Наличие сложной городской инфраструктуры (магистральная улица, трамвайные пути, пешеходный проход и подземная линия метро) определило сложную геометрию в плане переходного пролетного строения.

Переходное пролетное строение представляет собой плитную конструкцию из обычного железобетона, имеющей в плане форму прямоугольной трапеции, при этом максимальный пролет составляет 10,2 м, а минимальный – 4,68 м (Рис. 4).



*Рис. 4. Переходное плитное железобетонное пролетное строение*

Плита балки, являясь элементом балластного корыта, имеет постоянную строительную высоту 0,8 м и снабжена наружным бортиком высотой 0,47 м, в который заделывается гидроизоляция. По верхней поверхности плиты балластного корыта устроены выравнивающий слой, обеспечивающий уклон в направлении насыпи, двухслойная оклеечная гидроизоляция и защитный слой из армированного бетона. Водоотвод с балластного корыта традиционно осуществлялся в водоотводные трубки. Однако такое решение имеет ряд существенных недостатков и для повышения эксплуатационной надежности конструкция пролетного строения имеет односкатный водоотвод без устройства водоотводных трубок. При этом поверхность плиты выполнена с уклоном в сторону подходной насыпи, а зазор между пролетным строением и устоем перекрыт специальным эластоблочным деформационным швом типа DB80E (система Maurer), воспринимающим перемещения до 80 мм, и устроенным в уровне низа балласта. Такая конструкция деформационного шва обеспечивает беспрепятственный водоотвод с поверхности плиты за устой.

Сложная в плане геометрия, соотношение геометрических размеров и несимметричное опирание плитного пролетного строения, потребовало исследования пространственной работы конструкции на основе метода конечного элемента. Основными целями исследования являлись выбор рациональной схемы опирания, определение характера распределения внутренних усилий и выбор рациональной схемы армирования. Расчетная модель конструкции представляла собой трехмерную оболочку, при этом в качестве конечного элемента использовался пространственный четырехузловой конечный элемент оболочки с конечными деформациями с шестью степенями свободы в каждом узле. В расчете были использованы следующие допущения и предпосылки: в конструкции отсутствуют зоны со значительным раскрытием трещин, приводящим к существенному перераспределению внутренних усилий; материал модели принят линейно-упругим изотропным; конструкция железнодорожного полотна такова, что нагрузка передается на конструкцию через шпалы и балласт в виде равномерно распределенного давления; опорные части приняты абсолютно жесткими.

На начальном этапе проектирования предполагалась установка пяти опорных частей. Анализ результатов расчета этой схемы показал, что при установке опорной части 3 в тупом угле плиты происходит отрыв опорной части 4 при действии временной нагрузки вследствие поворота участка плиты 3-4-5 вокруг оси, проходящей через опорные части 3-5. Для исключения возникновения отрицательной опорной реакции было решено опереть плиту в четырех точках 1, 2, 4 и 5. Смещение опорной части 2 ближе к середине косоугольного торца уменьшает его пролет и снижает изгибающие моменты в плите.

Для разработки схемы армирования и расчета необходимого количества арматуры определялись траектории главных напряжений и распределение внутренних усилий в плите. На основании полученных данных, а также с учетом технологичности сооружения арматурного каркаса наиболее рациональной была признана схема при которой плита армируется продольными и поперечными стержнями, кроме этого косоугольный торец плиты на ширине 1,5 м армировался дополнительными стержнями. Учитывая то, что величины изгибающих моментов в продольном и поперечном направлениях имели один порядок, плита армирована продольной и поперечной арматурой диаметром 32 мм с шагом 150 мм. В зоне локального увеличения изгибающих моментов над опорной частью 2 шаг поперечной арматуры уменьшался до 120 мм. Кроме того, для восприятия поперечных сил опорные зоны плиты армировались наклонными стержнями в продольном и поперечном направлениях.

Комплекс строительно-монтажных работ по реконструкции железнодорожного путепровода завершен летом 2006 г. После завершения работ по расширению ул. Б. Тульская и переустройству трамвайных путей было ликвидировано последнее узкое место на трассе в начале Варшавского шоссе.

#### *Список литературы / References*

1. *Потапов С.В., Кирик А.В., Шигин В.Н.* Переустройство железнодорожного путепровода // Вестник мостостроения, 2005. № 3-4.