

Сборные сталежелезобетонные мосты

Роберт Хеллмарк, магистр строительных наук, сотрудник компании LTU/Ramböll Sverige AB Luleå, Швеция

Питер Колин, профессор, сотрудник компании LTU/Ramböll Sverige AB Luleå, Швеция

Мартин Нильсон, кандидат наук, Университет города Лулеа, Швеция

(Впервые опубликовано на английском языке в Сборнике трудов Симпозиума АИПК в Бангкоке IABSE Reports Volume 96, IABSE Symposium Bangkok 2009 «Sustainable Infrastructure. Environment Friendly, Safe and Resource Efficient», под названием Prefabricated Composite Bridges, авторы Robert Hällmark, Peter Collin u Martin Nilsson)

Экономия времени, затраченного на строительство, является причиной того, почему сооружение сталежелезобетонных мостов представляет собой одно из самых привлекательных решений во многих странах. Еще большую экономию времени можно получить путем заводского изготовления не только металлоконструкций пролетного строения, но и железобетонной плиты проезжей части – эта идея становится более привлекательной с позиции пользователей автомобильной дороги. В статье описаны различные варианты конструкций, обсуждавшиеся на Международном семинаре в Стокгольме. К ним можно отнести конструкции со сборной железобетонной плитой и сухими стыками, которые были применены на трех однопролетных мостах в Северной Швеции. На основе этого опыта разрабатывается научно-исследовательский проект по использованию этой идеи в многопролетных мостах Европы.

Несмотря на то, что фактор сборности несет в себе множество достоинств, применение монолитного бетона остается обычной практикой в мостостроении. В некоторых странах использование сборных железобетонных конструкций находит все более широкое распространение, однако это ещё не стало повсеместным явлением. Цель настоящей статьи заключается в желании распространить знания и опыт в области сборного мостостроения и сборных железобетонных плит пролетных строений в частности.

Авторами статьи выполнен большой объем исследовательских работ с целью сравнения затрат на строительство мостов с использованием монолитных и сборных железобетонных конструкций.

Сборные предварительно напряженные балки пролетных строений широко известны как одно из возможных направлений снижения стоимости строительства. Однако мосты со сборными элементами пролетных строений или полносборные мосты составляют лишь небольшую долю на рынке, что справедливо даже и для тех случаев, когда применение сборных конструкций дает возможность получить сооружение с наименьшей стоимостью.

Результаты исследований, проведенных в США, Швеции, Великобритании и других странах, подтверждают преимущества сборности в области мостостроения. Для повышения конкурентоспособности использования сборных элементов в сталежелезобетонных

мостах в 2008 г. начата разработка европейского исследовательского проекта под индексом ELEM RFSR-ST-2008-00039. В составе научно-исследовательской группы представлены четыре страны: Швеция, Германия, Финляндия и Польша. Успех проекта основан на сотрудничестве высших учебных заведений, проектных организаций и производителей металлоконструкций. Выполнение проекта началось с обмена информацией и опытом работ, следующим шагом станут совершенствование деталей, применяемых в мостовых конструкциях, проверка найденных решений в лабораториях, затем – проектирование многопролетного моста со сборными элементами и отработка решений непосредственно на реальном объекте. Именно так будут развиваться события в рамках выполнения научно-исследовательского проекта, работы по которому намечено завершить к середине 2011 г.

Транспортные пробки превращаются в глобальную проблему во всех городских территориях, которые разрастаются быстрее, чем их инфраструктурная сеть. Одновременно с этим существует постоянная необходимость в ремонте, уширении, новом строительстве или в замене существующих мостов. Главнейший путь решения этой проблемы состоит в ускорении процесса строительства, и в качестве одного из возможных вариантов сокращения сроков строительства является большее внедрение сборных железобетонных конструкций.

В течение нескольких последних десятилетий сталежелезобетонные мосты находят все более широкое применение. Одна из причин этого кроется в возможном сокращении сроков строительства по сравнению с железобетонными мостами. Сокращение времени

строительства часто приносит экономическую выгоду подрядчику, и оно же влечет за собой экономию издержек пользователей дороги. К сожалению, потери пользователей дороги за счет задержек движения, затрат времени на объезд и т. п. часто не учитываются при сравнении экономических показателей различных вариантов объекта.

Сравнение экономических показателей

Во многих случаях мосты из конструкций заводского изготовления обладают преимуществами по сравнению с мостами, возводимыми из монолитного бетона. Мосты из элементов заводского изготовления:

- уменьшают продолжительность работ на стройплощадке;
- сокращают время простоя в пробках и связанные с этим потери пользователей дороги;
- повышают производительность и безопасность работ на стройплощадке.

Исследования, проведенные в США, показывают, что мосты, сооружаемые из элементов заводского изготовления, не обязательно будут характеризоваться более низкими первичными затратами, если нет полной стандартизации конструктивных элементов, стыков блоков и т. п. В расчёт необходимо принимать полные долговременные затраты на эксплуатацию объекта, и эти затраты могут быть в значительной степени снижены благодаря использованию элементов заводского изготовления. Время, затраченное на строительно-монтажные работы непосредственно на стройплощадке, часто оказывает серьезное влияние на ограничение в движении транспорта в зоне строительства. Переход на сборные мостовые конструкции может существенно сократить это время, что влечет за собой снижение потерь пользователей дороги, связанных с задержками в пути.

Экономические расчеты при строительстве в Швеции однопролетного путепровода через железную дорогу со сборными элементами пролетного строения (BD1883 Norrfors) взамен пересечения в одном уровне дали следующие результаты. Предполагалось, что стоимость строительства моста со сборными элементами пролетного строения окажется выше стоимости такого же путепровода в монолитном варианте. Однако, по информации подрядчика, стоимость сборного пролетного строения была такой же, что и стоимость монолитного пролетного строения. По экономическим расчетам другого подрядчика, стоимость сборного пролетного строения была ниже. Некоторое удорожание производства сборных элементов в заводских условиях компенсируется экономией на опалубке и на прочих затратах, которые возникают при строительстве мостового сооружения над железной дорогой без перерыва движения. Другой анализ выполнен для того же объекта, когда сравнивали стоимость строительства трех сталежелезобетонных путепроводов (со сборными элементами; с монолитной плитой, требующей строительства временного моста; с монолитной плитой и с переносом автомобильного движения на объездные дороги). Выводы показали, что наиболее экономичным с учетом общественных интересов будет строительство сталежелезобетонного путепровода со сборными элементами.

В марте 2009 г. в Стокгольме (Швеция) состоялся Международный семинар на эту тему. В нем участвовали специалисты из девяти стран, и далее в статье рассмотрены некоторые из предложенных на семинаре решений.

США – ускоренное строительство мостов

Ускоренное строительство мостов может толковаться как «строитель-

ство моста в течение нескольких часов или за выходные дни, до того как на дороге появится разметка, извещающая об ожидаемых при строительстве ограничениях движения». Юта – один из штатов, где ускоренное строительство мостов приобретает все большую популярность. Мосты сооружают из сборных блоков пролетного строения, сборных устоев, сборных переходных плит с применением самоходного механизма транспортировки блоков (Self Propelled Modular Transports – SPMT). Руководство Департамента транспорта штата Юта уверено, что будущее за ускоренным строительством мостов, и оно намерено учитывать это направление во всех предстоящих проектах мостовых конструкций.

В США используют различные степени сборности: от использования сборных блоков пролетного строения до полностью сборных мостов. Сборные блоки пролетного строения – наиболее распространенная форма индустриализации строительства.

Балки заводского изготовления производят преимущественно металлическими или из предварительно напряженного железобетона. Плиту проезжей части всегда проектируют в расчете на ее совместную работу с металлическими балками. В области сборных железобетонных плит проделан большой объем исследований. В последние годы предложено и испытано много разнообразных вариантов сборных плит. Прошедшие испытания конструкции составили основу руководства по устройству стыков сборных элементов мостовых конструкций, которое в США приобретет форму строительных норм. Федеральная администрация автомобильных дорог подготовила также два документа, которые должны помочь принятию решения по использованию технологии ускоренного строительства в проектах мостовых сооружений.

Сборные плиты и балки

Совместная работа металлических балок со сборными железобетонными плитами, в основном, достигается приваркой гибких штыревых упоров к верхним поясам балок. Блоки сборных железобетонных плит изготавливают или с окнами на всю высоту плиты, или с глухими нишами, имеющими отверстия для последующего инъецирования (рис. 1). Совместная работа предварительно напряженных балок и сборной железобетонной плиты может обеспечиваться с помощью закладных гибких упоров с головками или посредством совместного омоноличивания выпусков арматуры.

Конструкция поперечных стыков между сборными плитами может быть самой разнообразной. Если задача стыка состоит в обеспечении его трещиностойкости, предпочтительнее обжать стык предварительным напряжением. Это важно еще и потому, что в большинстве штатов устройство гидроизоляции не требуется. Однако необжатые поперечные стыки также находят применение. Одно из последних реализованных решений (мост через Лайв-Оук-Крик в штате Техас) использует глухие ниши со шпоночными стыками в швах и без какого-либо обжатия (рис. 2). Такое решение хорошо работает в сжатой зоне, его также применяют и в неразрезных многопролетных мостах.

Сборные пролетные строения

В 2004 г. был подготовлен обзор мировой практики использования сборных мостовых конструкций и систем. Одна из главных рекомендаций в отношении внедрения сборных конструкций содержала предложение строить мост за пределами стройплощадки, с последующим его перемещением и установкой в проектное положение с использованием разнообразных механизмов специального назначения.

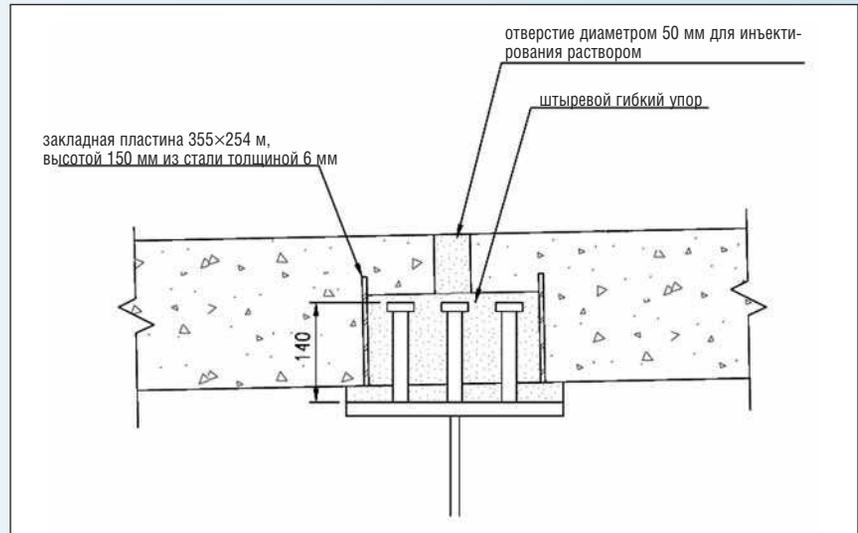


Рис. 1. Объединение металлической балки пролетного строения со сборной плитой проезжей части для совместной работы

Рис. 2. Поперечный стык блоков плиты на мосту через Лайв-Оук-Крик, шт. Техас

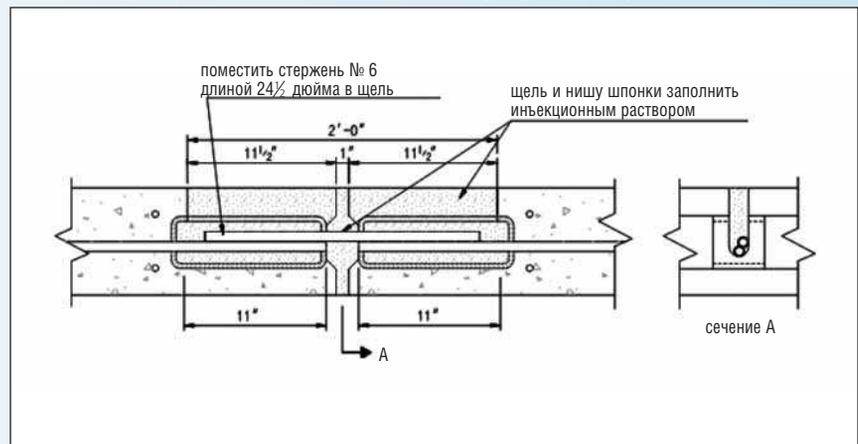




Рис. 3. Перевозка пролетного строения путепровода на трассе Юг 4500 механизмом SPMT, шт. Юта



Рис. 4. Муфта для соединения выпусков арматуры

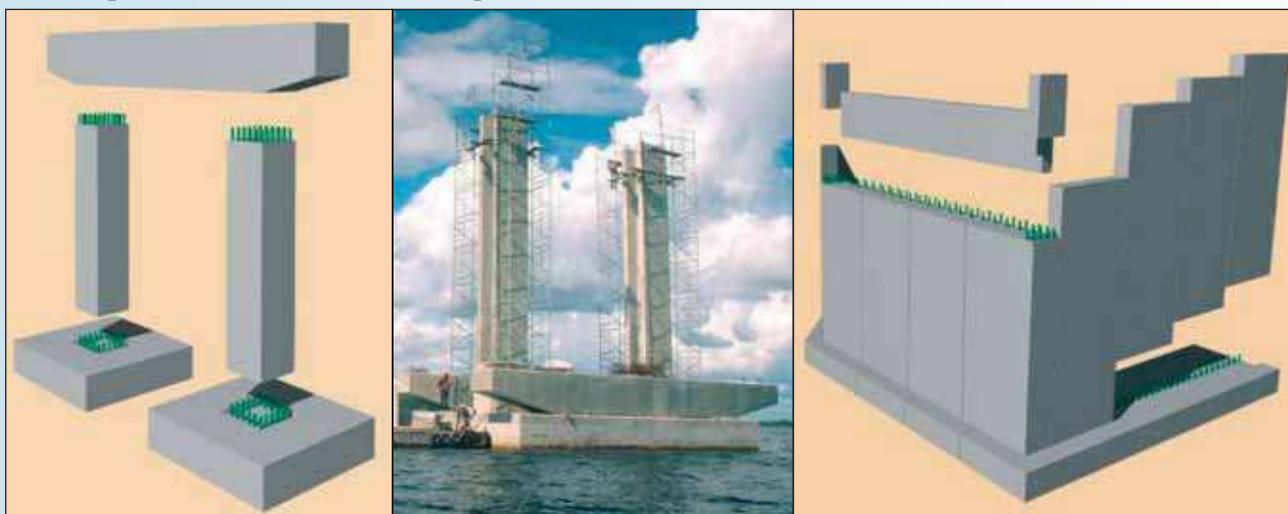
SPMT и другие аналогичные типы механизмов дают возможность собирать составные части пролетного строения общим весом в несколько тысяч тонн и транспортировать конструкцию целиком на строительную площадку для быстрой установки в проектное положение. Подобная концепция строительства мостов приобретает в США все большее распространение, и уже была успешно применена, например, в штатах Флорида и Юта. По такой схеме в 2006 г. была проведена замена путепровода на Грейс Авеню в шт. Флорида. Этот

путепровод был заменен с использованием SPMT для снятия старого сооружения и установки нового. Новые пролетные строения бетонировали на стапеле, расположенном вдоль существующей дороги, что позволило избежать каких-либо нарушений движения транспорта. Блоки пролетного строения шириной 18 м и длиной 44 м имели вес 1300 т. Аналогичные конструкции были применены в штате Юта, где одиночное пролетное строение весом 1500 т с продольным уклоном 10 % (трасса Юг 4500) в октябре 2007 г. было заменено всего за 53 ч (рис. 3).

Полносорные мосты

В США можно встретить случаи сооружения полносорных мостов. Эта практика уже была применена на некоторых объектах и находит все большую популярность. Один путь к повышению степени сборности лежит в изготовлении сборных элементов промежуточных опор, устоев, стен и т. д. из отдельных деталей с их последующей сборкой на стройплощадке. Для стыкования выпусков арматурных стержней могут применяться соединительные муфты с последующим их инъектированием (рис. 4), что обеспечивает прочность соединений элементов, поскольку ука-

Рис. 5. Сборные железобетонные элементы опор



занные муфты позволяют включать стержни в работу полным сечением в узлах без потери части его длины на анкеровку в бетоне. Половину муфты бетонируют в одном стыкуемом на монтаже элементе, а в свободный конец муфты вставляют выпуски стержней из другого, стыкуемого блока. С использованием подобных муфт обеспечивают стыкование конструкций фундаментов и стоек опор (рис. 5). Сочетая эту технологию с аналогичными приемами при изготовлении пролетных строений, можно, действительно, достичь полносборности конструкции моста.

Германия – сборная плита проезжей части

В Германии, как и во многих других странах, монолитные плиты проезжей части повсеместно используются, а сборные плиты представляют собой редкое исключение. Однако и сталежелезобетонные пролетные строения находят в Германии все более широкое применение. Новый метод строительства, называемый VFT, был разработан специально для того, чтобы сократить время строительных работ на площадке и повысить уровень сборности. Метод заключается в том, что металлические балки сталежелезобетонных пролетных строений выходят с завода с уже забетонированной на часть ребра и плиты конструкцией (рис. 6 и 7). Этот метод был разработан в Германии, а его жизнеспособность проверена на железнодорожных мостах в Австрии.

В Германии были испытаны сталежелезобетонные пролетные строения с плитой, забетонированной в заводских условиях на полную толщину. Примером такого сооружения может служить виддук в городе Бареталь, представляющий собой шестипролетное мостовое сооружение длиной 352 м. Сталежелезобетонное про-

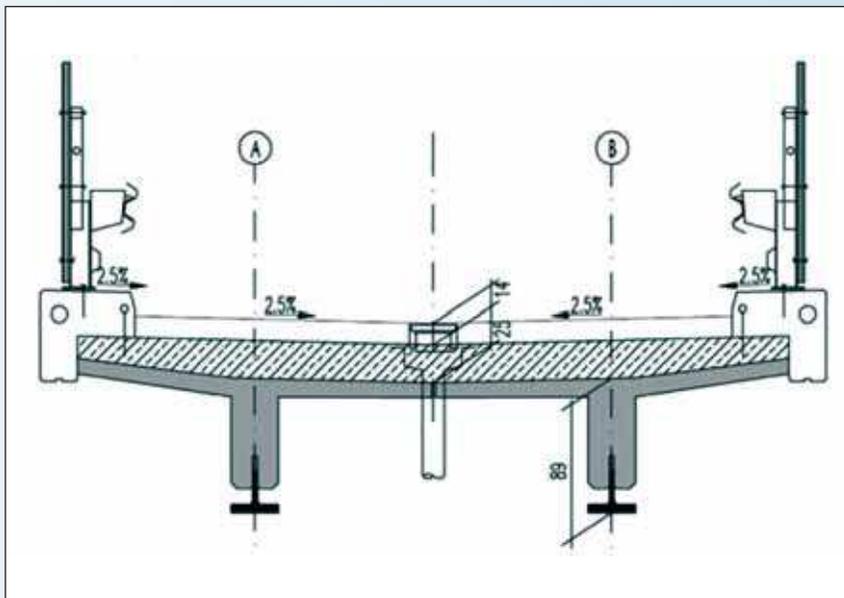


Рис. 6. Поперечное сечение пролетного строения системы VFT



Рис. 7. Сборная балка пролетного строения системы VFT заводского изготовления

летное строение изготовлено в виде металлической коробки с поперечными консольными балками, установленными с шагом 4 м по длине пролета (рис. 8). Железобетонные плиты проезжей части заводского изготовления, почти квадратные в плане (см. рис. 8), укладывают на консольных участках пролетного строения. Продольные стыки выполнены монолитными. Плита проезжей части в пределах ширины коробки также монолитная.

Франция – сборная плита проезжей части

Во Франции мосты со сборными железобетонными плитами возводят в течение довольно длительного периода времени. Для стыкования сборных блоков используют два типа швов: сухие стыки по плоскостям, забетонированным методом отпечатка, и армированные стыки с последующим омоноличиванием. За это время построено несколько мостов как с тем, так и с другим ти-



Рис. 8. Виадук Бареталь со сборной железобетонной плитой, изготовленной на заводе на полную высоту

пом швов. Рассмотрим несколько примеров.

Первые сталежелезобетонные мосты с сухими стыками были построены в городе Манокс на шоссе А51 Эскота. Здесь впервые использовали предварительно обжатые сборные железобетон-

ные блоки с идеально прилегающими стыкуемыми поверхностями на клею. Самым длинным из них был четырехпролетный балочный мост длиной 160 м с максимальным пролетом, превышающим 50 м. Тщательное обследование, проведенное в 1995 г., не

выявило каких-либо следов трещинообразования. Более позднее обследование дало те же результаты – стыки работают достаточно хорошо.

Более поздний по времени вариант сухого стыка был применен на объектах развязки Винчи, где

Рис. 9. Монтаж пролетного строения системы VINCI: а – плиты монтируют на балки, не имеющие упоров; б – плиты подвергают предварительному обжатию; в – гибкие штыревые упоры приваривают к верхнему поясу балки через отверстия в плите



блоки были изготовлены из высокопрочного бетона. Поскольку сборные блоки плиты из высокопрочного бетона изготавливали в заводских условиях, исчезала проблема усадки бетона. Долговечность таких плит более высокая, например, лучшие защитные свойства бетона против воздействия коррозии, лучшая устойчивость к усталостному разрушению, поскольку в результате предварительного напряжения бетон плит всегда остается в зоне сжимающих напряжений.

Кратко рассматриваемую технологию можно изложить следующим образом:

- изготовление металлических балок и блоков железобетонной плиты со стыкуемыми поверхностями, бетонированными методом отпечатка;
- плиты укладываются на верхний пояс балки, на котором на этой стадии отсутствуют упоры (рис. 9а);
- плиты, ещё до момента конструктивного объединения с балками, обжимают (рис. 9б);
- сквозь отверстия, оставленные в плитах, к поясам приваривают гибкие штыревые упоры (рис. 9в);
- затем отверстия заполняют бетоном, в результате чего после схватывания бетона обеспечивается совместная работа балок с плитой проезжей части.

Великобритания – опыт применения сборной плиты проезжей части

В Великобритании есть несколько примеров мостов с плитами проезжей части заводского изготовления, например, мост Уэксфорд (рис. 10) длиной 400 м – один из самых длинных в Республике Ирландия. В 1997 г. на мосту провели замену старого пролетного строения на новое, состоящее из четырех металлических балок, объединенных с железобетонной плитой. Плиты длиной 3 м изготавливали в заводских ус-



Рис. 10. Монтаж блоков плиты на мосту Уэксфорд

ловиях на полную высоту и на полную 12-метровую ширину моста. При проведении замены пролетного строения мост был закрыт для движения автотранспорта на 10 недель.

На нескольких объектах Великобритании были использованы плиты, бетонированные не на полную высоту, которые играют роль опалубки для последующей укладки монолитного бетона на полную расчетную высоту. Однако в этом варианте имеются некоторые недостатки, например, высокий расход арматуры, необходимой при неполной высоте плиты, с целью обеспечения достаточной прочности для работы на плите крана, который монтирует сборные плиты. Другой недостаток по сравнению с монолитной плитой полной высоты состоит в том, что при такой технологии расход бетона в результате получается намного большим, что снижает экономическую эффективность строительства. Поэтому в Великобритании рекомендуется использовать плиты, забетонированные на полное сечение, однако и в этом случае в рекомендациях имеют место некоторые сомнения в целесообразности применения сборных плит.

В Шотландии выполнен большой объем исследовательских ра-

бот по устройству монолитных швов между сборными плитами. В лабораторных условиях были испытаны различные типы стыков.

Финляндия – мост Лайзентианоки

Группа развития металлических мостов при Ассоциации строительных металлоконструкций Финляндии (TRY) начала в 2006 г. работы по созданию нового типа консольных сталежелезобетонных пролетных строений мостов. Основная задача, поставленная перед специалистами, состояла в разработке сталежелезобетонного пролетного строения, которое отвечало бы следующим требованиям:

- минимальное время монтажа;
- простота ведения работ даже в условиях сложных стройплощадок;
- максимальное использование 3D-модели при проектировании.

В результате был разработан проект моста Лайзентианоки, строительство которого завершилось в 2007 г. Мост имеет ширину 7,5 м и схему пролетов: 2,0 + 18,0 + 2,0 м. Пролетное строение состоит из двух металлических главных балок длиной 22 м с четырьмя поперечными балками. Как металлоконструкции пролетного строения, так и железобетонные элементы проектировали с использованием 3D-модели

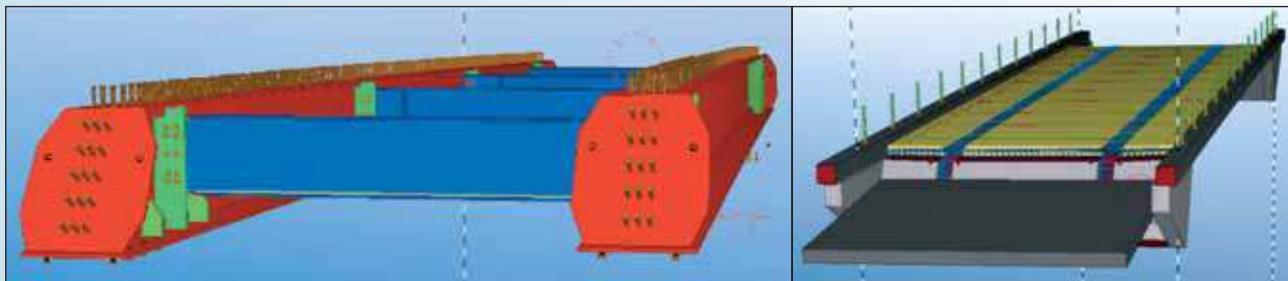


Рис. 11. 3D-модель пролетного строения моста Лайзенцианоки

(рис. 11). Монтаж главных балок занял приблизительно 6 ч. Поперечные балки соединяли с главными продольными балками на болтах, без обработки поверхности металла стыков на площадке. Плита проезжей части, элементы устоев и конструкции сопряжения с берегом (открылки шкафных стенок, переходные плиты и концевые балки) изготавливали сборными в заводских условиях. Швы между сборными плитами и фасадные ограждающие балки бетонировали на месте, металлоконструкции и железобетонные элементы объединяли с помощью гибких штыревых упоров. Монтаж сборных железобетонных плит занял приблизительно четыре рабочих дня. Укладка арматуры и бетонирование швов, а также фасадных балок заняло восемь рабочих дней.

Швеция – сборные плиты с сухими стыками

Мосты со сборными плитами проезжей части строятся в Швеции уже в течение нескольких десятилетий, но не получили большого распространения. В стране были опробованы различные варианты стыков между сборными плитами, начиная с армируемых и омоноличиваемых на месте и кончая самым последним по времени решением – полностью сухим стыком. Что касается устройства «мокрых» стыков, то шведская технология мало отличается от приемов, которыми пользуются во Франции, в Шотландии, США и т. д. Монолитный стык требует установки в шов дополнительной арматуры, а в открытые сверху окна в плите укладывается бетон. Однако эти процессы, проводимые на строительной площадке, зани-

мают достаточно много времени: во-первых, появляется еще одна дополнительная операция, а во-вторых, свежесложенный бетон стыка должен набрать достаточную прочность, чтобы можно было приступить к укладке гидроизоляции. Две указанные операции, среди многих других, которые должны выполняться на стройплощадке, увеличивают продолжительность строительства и отодвигают сроки ввода объекта в эксплуатацию. Чтобы исключить перечисленные проблемы, шведские специалисты начали развивать идею сухих стыков сборных плит.

Для обеспечения передачи как продольных, так и вертикальных сил через швы сборных плит проезжей части, а также для предотвращения вертикальных смещений примыкающих плит в стыках, мож-

Рис. 12. Этапы строительства моста Лайзенцианоки



но использовать шпоночные конструкции, создаваемые путем придания соответствующей формы прилегающих к стыку поверхностей смежных плит. Поверхность одной из плит должна иметь шпоночный шип, а на другой плите должно быть устроено соответствующее углубление, в которое указанный шип должен войти при сближении плит. Один из возможных типов шпонок в плите изображен на рис. 13.

Теоретическое расстояние между соседними выпусками арматурных стержней в сборных плитах, а также расстояние между соседними гибкими штыревыми упорами, приваренными к верхнему поясу металлических балок, невелико, что ведет к ужесточению допусков на точность геометрических размеров плиты. С другой стороны, для сочленения шпоночных шипов соседних плит необходима некоторая свобода перемещения плит в направлении вдоль моста. Величина этой свободы продольных перемещений должна быть численно не менее продольного размера выступающего шипа плюс

неизбежные допуски (рис. 14). Такой прием был успешно применен в однопролетных мостах, а в настоящее время он отрабатывается для многопролетных мостов. Основная проблема заключается в обеспечении прочности гидроизоляции на растяжение, которое будет возникать в стыках между плитами при их раскрытии от отрицательного изгибающего момента в пролетном строении над промежуточными опорами в неразрезной системе (рис. 14).

Работы по европейскому проекту ELEM

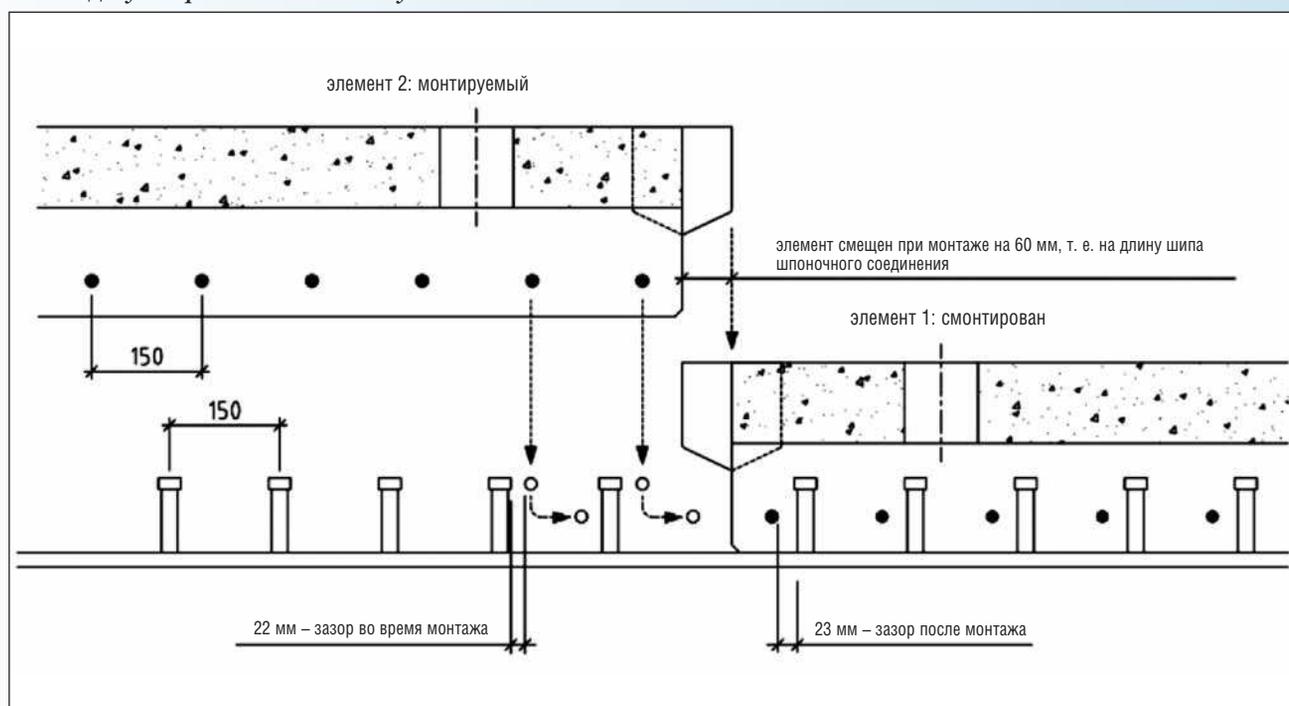
Результаты исследований, проведенных в США, Швеции, Великобритании и в других странах, подтверждают преимущества исполь-



Рис. 13. Сборная плита с сухим стыком

зования в мостостроении технологии заводского изготовления железобетонных элементов конструкции. Для повышения конкурентоспособности сталежелезобетонных

Рис. 14. Допуски при монтаже плит с сухими стыками



мостов со сборными железобетонными конструкциями в 2008 г. были начаты работы по исследовательскому проекту ELEM RFSR-СТ-2008-00039. В составе исследовательской группы принимают участие специалисты четырех стран: Швеции, Германии, Финляндии и Польши. Успех проекта зависит от степени сотрудничества между высшими учебными заведениями, проектными и консультационными организациями и организациями-изготовителями металлоконструкций.

Общая цель проекта состоит в повышении конкурентоспособности мостов со сборными железобетонными элементами конструкции. Ее можно достичь разработкой новых, экономичных, нетрудоемких и надежных мостовых конструкций. Рассмотрены как мокрые, так и сухие стыки между сборными элементами. Особое внимание исследователи уделяют раскрытию сухих стыков между плитами в зоне действия отрицательного изгибающего момента над промежуточными опорами неразрезных систем. Для исключения протечек на стадии эксплуатации в лабораторных условиях должны быть проверены надежные виды гидроизоляции и покрытий проезжей части. Остаются без ответа еще несколько вопросов: каким образом можно увеличить жесткие геометрические допуски, которые усложняют процесс монтажа сборных плит с сухими стыками; как через шпонки надежнее передать поперечные силы от одной железобетонной плиты к другой; какой должна быть оптимальная конструкция шпонок между соседними блоками и т. д.

Проект ELEM начался с обмена имеющимися знаниями и опытом работ на проведенном в Стокгольме (Швеция) Международном симпозиуме (март 2009 г.) и анализе имеющейся литературы. Следующим шагом в этом направлении будет совершенствование отдельных деталей уже разработанных конструктивных решений, их проверка в лабораториях и проектирование мно-

гопролетного моста со сборными конструктивными элементами с последующим научным сопровождением объекта в эксплуатации. Именно так будет выглядеть программа проекта научно-исследовательских работ, которая продлится до 2011 г.

Выводы

Высокая транспортная нагрузка на транспортные искусственные сооружения и процесс их старения вызывают необходимость в проведении ремонта, реконструкции или нового строительства, которые должны осуществляться с максимальным сокращением продолжительности перерывов и простоев в движении транспорта. В большинстве случаев строительство мостов из железобетонных балок и плит ведут из монолитного бетона или из металлоконструкций заводского изготовления с последующей их сборкой на месте в сочетании с монолитными или сборными железобетонными элементами. Для того чтобы сократить потери пользователей дороги за счет уменьшения продолжительности простоев транспорта, снизить продолжительность строительных работ, выполняемых непосредственно на объекте, а также чтобы сделать строительный процесс более безопасным и производительным, и существует наиболее эффективное средство, которое заключается в максимальном использовании элементов заводского изготовления. Заводское изготовление железобетонных балок и плит проезжей части становится широко применяемой практикой по всему миру, однако есть также и примеры применения сборных блоков промежуточных опор, устоев, подпорных стен, а также комбинации из металлических балок пролетного строения с частичным использованием железобетонных плит проезжей части.

Совместная работа балок и сборных плит достигается применением гибких штыревых упоров,

предварительно приваренных к поясам металлических балок и на монтаже объединенных монолитным бетоном с плитами. Поперечные стыки между плитами должны проектироваться очень продуманно и в зависимости от требований на водонепроницаемость и на их способность воспринимать продольные и поперечные силы в стыках. Хорошее качество достигается применением предварительно обжатия, однако возможны решения и без предварительного напряжения путем устройства соединений с закрытыми сверху нишами в блоках и штыревыми анкерами, приваренными к металлическим балкам.

Наиболее привлекательной и многообещающей является идея применения сухих стыков. С передачей через стык как продольных, так и вертикальных сил хорошо справляются шпонки с перекрытием щели шипом одной плиты, вставляемым в нишу другой, чем предотвращают вертикальные смещения соседних плит. Это решение хорошо зарекомендовало себя в однопролетных мостах, и находится в стадии дальнейшего развития с целью возможного использования в многопролетных неразрезных пролетных строениях. Однако главным препятствием до настоящего времени остается проблема водонепроницаемости и сопротивляемости конструкции воздействию отрицательных изгибающих моментов, вызывающих раскрытие стыков над промежуточными опорами в неразрезных пролетных строениях.

От редакции. В настоящей статье не учтен большой опыт по применению сборных железобетонных мостовых конструкций, сборных сталежелезобетонных конструкций для скоростного строительства автодорожных и железнодорожных пролетных строений и мостов в Советском Союзе и Российской Федерации. ■