

## Сталежелезобетонные мосты: проблемы и перспективы развития\*



**А. В. Кручинкин,**  
Филиал  
ОАО ЦНИИС НИЦ  
«Мосты», Москва



**А. С. Платонов,**  
д-р техн. наук,  
академик РАН



**В. Г. Решетников,**  
Союздорпроект,  
Москва



**И. В. Решетников,**  
Союздорпроект,  
Москва



**С. Н. Корнев,**  
ОАО «Институт  
Гипростроймост»,  
Москва



**А. А. Кручинкин,**  
ОАО «Институт  
Гипростроймост»,  
Москва

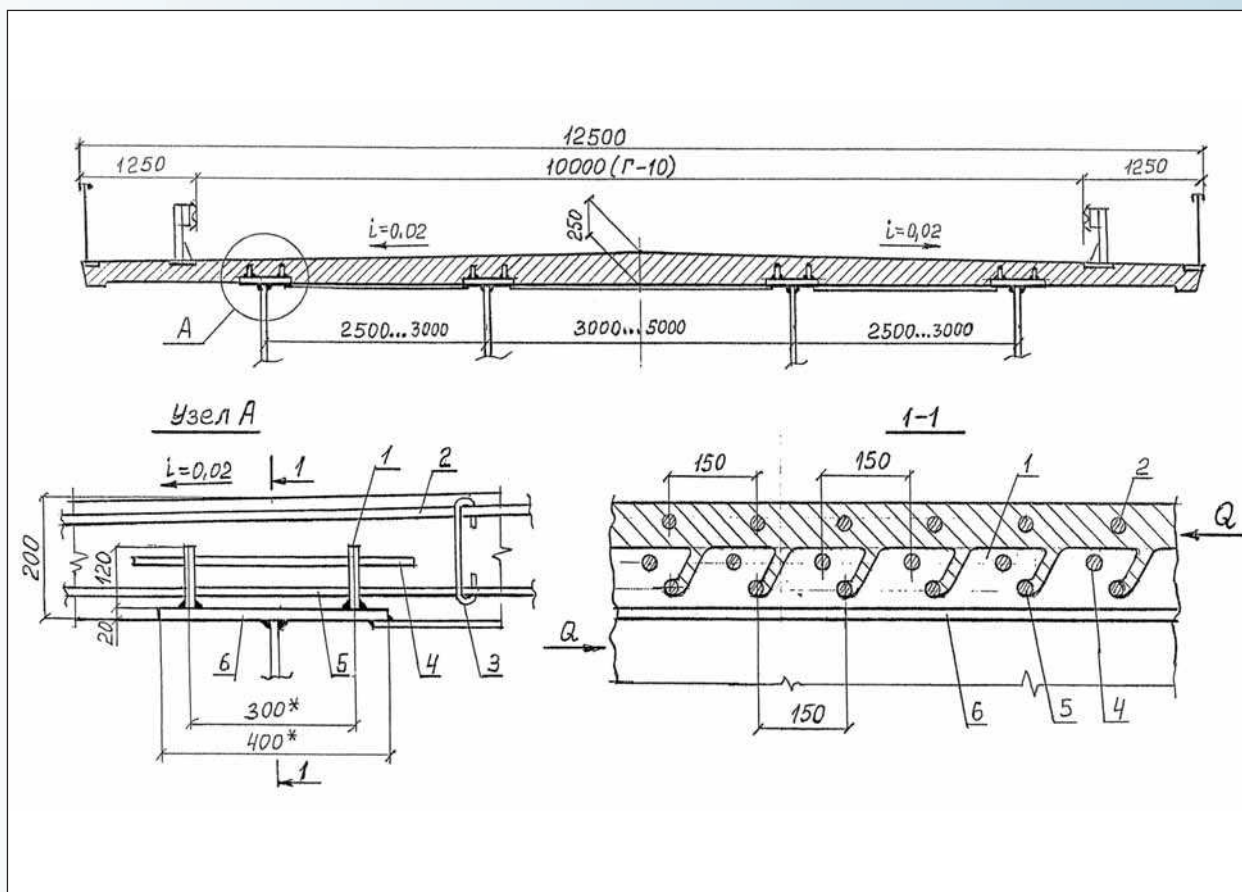
*В предыдущем номере журнала были изложены общие особенности сталежелезобетонных мостов и приведены примеры реконструкции существующих железнодорожных, автодорожных и пешеходных мостов указанного типа. По итогам сравнительного анализа сделан вывод, что сталежелезобетонные мосты в обжитых регионах с умеренным климатом, наличием транспортных путей и базы стройиндустрии могут оказаться конкурентоспособными и более выгодными по стоимости в сравнении с металлическими при условии кардинального изменения конструкции объединения железобетонных плит со стальными главными балками для надежной совместной работы в течение всего срока эксплуатации мостовых сооружений. Право на существование имеют в равной степени монолитные и сборные железобетонные плиты в зависимости от условий производства работ, сроков строительства, наличия оснастки и индустриальной базы.*

\*Печатается по материалам сборника научных трудов ОАО ЦНИИС. Выпуск № 240, 2007 г. (окончание, начало см. «Вестник мостостроения» № 1, 2009)

### Сталежелезобетонные мосты с монолитной плитой проезжей части

Для разрезных и неразрезных балочных систем пролетных строений рекомендуется устройство монолитной плиты, включаемой в совместную работу с главными балками как в сжатых, так и в растянутых зонах верхних поясов по изобретениям институтов ОАО ЦНИИС и «Союздорпроект», защищенным патентами № 2110639 от 10.05.1998 г. и № 2276217 от 10.05.2006 г.

В данном случае предусмотрено объединение плит с главными балками с помощью непрерывных гребенчатых упоров из стальных полос, привариваемых к верхним поясам металлических главных балок в процессе заводского изготовления конструкций (рис. 1). Особенности работы гребенчатых упоров заключаются, с одной стороны, в жесткой непрерывной (континуальной) связи самих гребенок с верхними поясами балок, а с другой – в упругом взаимодействии с бетоном и арматурой плиты. Передача усилий от металлических балок на плиту и обратно происходит через длинные арматурные стержни нижней стенки, входящие в наклонные прорезы гребенок, а также через дополнительные короткие стержни, входящие в отверстия гребенок выше сетки. Непрерывные угловые сварные швы крепления гребенок к верхним поясам главных балок позволяют передавать усилия без концентрации напряжений и в металле, и в бетоне. Гибкость арматурных стержней способствует равномерному распределению напряжений в бетоне. В итоге получается единая монолитная кон-



**Рис. 1. Объединение монолитной плиты с металлическими балками с помощью непрерывных гребенчатых упоров:**  
 1 – гребенчатый упор; 2 – верхняя арматурная сетка; 3 – хомут; 4 – анкерный арматурный стержень (гибкий упор); 5 – нижняя арматурная сетка в пазах гребёнок; 6 – верхний пояс металлической балки

струкция. Неизбежные при такой работе вертикальные составляющие усилий отрыва плиты от стальной балки гасятся расположением прорезей в гребенках с наклоном к горизонтали под углом  $\alpha = 60^\circ$  навстречу сдвигающему усилию  $Q$  (см. рис. 1).

Гребенки приваривают на заводе непрерывными угловыми швами типа ТЗ (без сплошного проплавления) автоматической сваркой под флюсом или полуавтоматами в среде защитных газов. Гребенки с прорезями сами по себе являются хорошими анкерами для монолитного бетона. Гибкие арматурные элементы (рабочие стержни и коротыши в отверстиях) обеспечивают упругопластический характер работы металла объединенной железобетонной плиты. Верхняя и нижняя арматурные сетки объединя-

ются между собой хомутами в пространственный каркас для предотвращения скалывания бетона в горизонтальной плоскости между сетками.

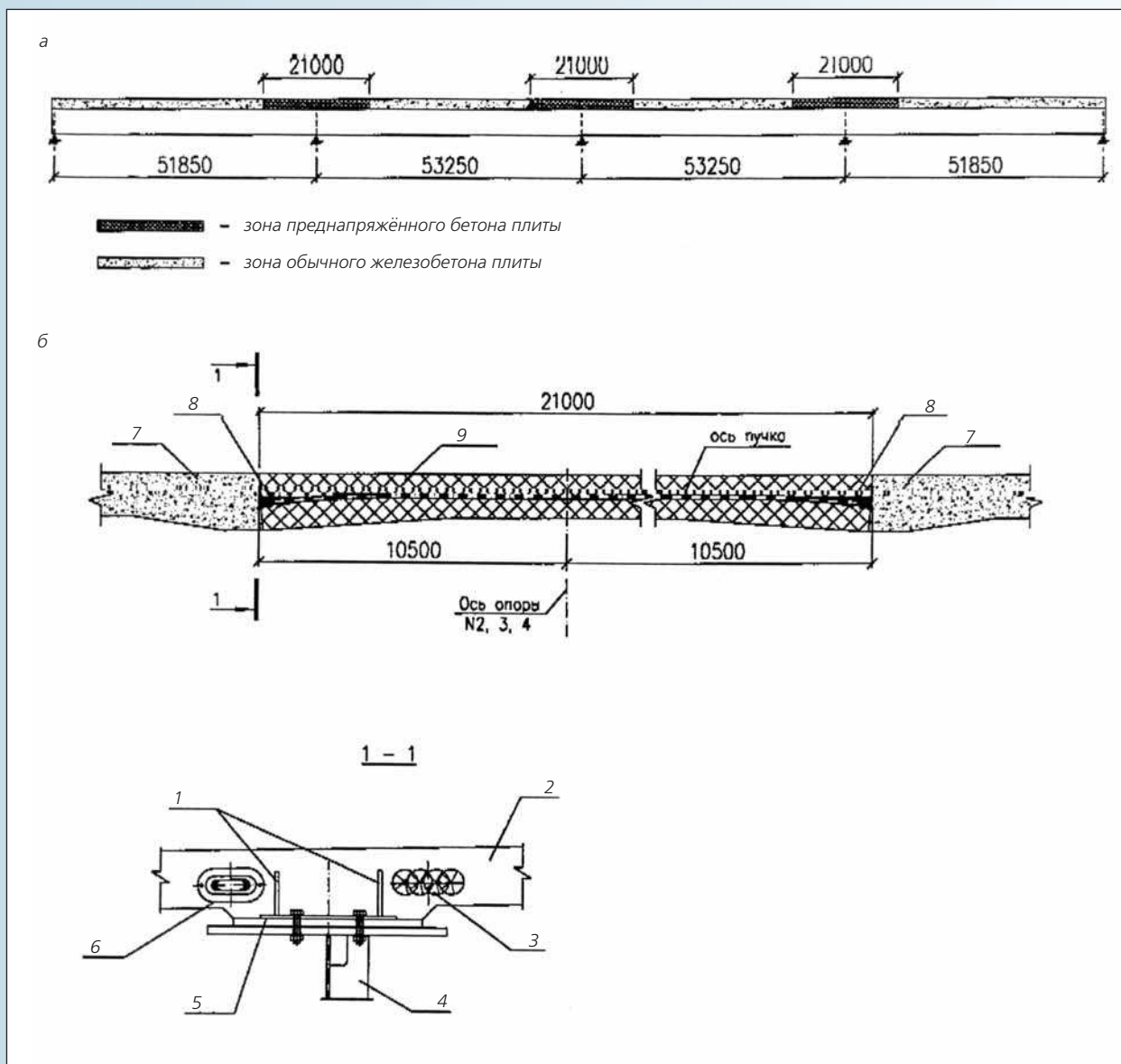
Конструкция объединения испытана в ОАО ЦНИИС на натуральных образцах в масштабе 1:1. Испытания производили на статические нагрузки и на выносливость при 2 млн циклов по ГОСТ 8829-85. При заданном расчетном усилии сдвига 100 тс образцы разрушались от статической нагрузки величиной 752 тс. Разрушения происходили по бетону без каких-либо повреждений сварных швов, металла гребенок и арматуры.

После испытаний на выносливость образцы также довели до разрушения статической нагрузкой, близкой к 752 тс. Результаты испытаний свидетельствуют о на-

дежности конструкции (с большим запасом).

Надежные и технологичные гребенчатые упоры нашли широкое применение в мостах, в частности, на МКАД, 3-м транспортном кольце г. Москвы и на других автодорожных мостах, а также в типовых проектах Трансмоста (Санкт-Петербург), разработанных по заданию Росавтодора.

В НИЦ «Мосты» разработаны и утверждены Росавтодором «Методические рекомендации по объединению металлических балок с монолитной железобетонной плитой посредством непрерывных гребенчатых упоров в сталежелезобетонных пролётных строениях мостов» (ОДМ 218.4.003-2009). Созданию этих Рекомендаций предшествовали дополнительные испытания на изгиб опытных образцов, моделирующих в масштабе 1:1 реальные сталежелезобетонные конструкции.



**Рис. 2. Монолитная плита с преднапряжёнными надпорными участками неразрезного сталежелезобетонного пролётногo строения:** а – фасад пролётногo строения; б – схема преднапряжённого участка: 1 – жёстко-гибкие упоры; 2 – железобетонная плита; 3 – глухие анкеры; 4 – металлическая балка; 5 – накладной металлический элемент; 6 – анкер пучков с усилием натяжения 41 т; 7 – зона обычного армирования; 8 – анкеры; 9 – преднапряжённый участок плиты

В Рекомендациях разработана методика расчета объединенных конструкций, в которой, помимо требований СНиП 2.05.03-84\* «Мосты и трубы», отражены:

- уточненные расчетные перепады температур по сечению пролетного строения в стадии эксплуатации;
- прямой учет температуры и усадки бетона при бетонировании плиты и требования к технологии бетонирования с целью снижения температурно-усадочных напряжений;

• применение в ряде случаев модифицированного сталефибробетона.

Указанные Методические рекомендации рассмотрены и согласованы РосдорНИИ, кафедрой мостов МИИТа, кафедрой мостов и транспортных тоннелей МАДИ-ГТУ, СП «Гормост», ОАО «Гипротрансмост», ОАО «Трансмост» (Санкт-Петербург).

Следующим этапом совершенствования сталежелезобетонных мостов с монолитной плитой явля-

ется включение в работу железобетонной плиты с металлоконструкциями в растянутых зонах неразрезных пролетных строений (патент № 2276217 от 10.05.2006 г.). В данном случае верхние пояса стальных главных балок имеют одинаковое сечение по всей длине неразрезного пролетного строения и в сжатых, и в растянутых (надпорных) зонах. Но в растянутых зонах гребенчатые упоры привариваются не к поясам балок, а к накладным полосовым элемен-

там, объединяемым с поясами высокопрочными болтами с окончательной затяжкой их после бетонирования плиты надопорного участка и обжатия бетона пучками или стержневой высокопрочной арматурой (рис. 2). Преднапряженный железобетон в данном случае работает на растяжение совместно с металлической балкой, без образования в нем трещин. Деформации укорочения поперечных элементов и железобетонной плиты от натяжения арматуры компенсируются в болтовых стыках за счет образования овальных отверстий в накладных элементах или в поясах балок в направлении их длины.

По такому принципу построен автодорожный мост через р. Мсту с неразрезным сталежелезобетонным пролетным строением по схеме  $51,85 + 2 \times 53,25 + 51,85 = 210,2$  м. Эффект внедрения положительный.

Кроме рассмотренных гребенчатых упоров, в сталежелезобетонных мостах с монолитной плитой применяют гибкие стержневые упоры из арматуры периодического профиля диаметром 25 или 28 мм с приваркой их к металлическим балкам автоматами отечественного производства, а также гибкие штыревые (с головками) упоры типа Нельсон с приваркой их к верхним поясам металлических балок специальными автоматами под флюсом. Упоры, флюс и автоматы приходится покупать в Германии. Следует отметить, что проведенные в ЦНИИСе контрольные исследования сварных соединений упоров типа Нельсон из стали марки St-37-3К с отечественными мостовыми сталями выявили дефекты в виде трещин по сварному шву, пор, переходящих в трещины, флокенов, неметаллических включений при низкой ударной вязкости КСУ<sup>-40°С</sup> металла сварных швов. Тем не менее, гибкие штыревые упоры типа Нельсон в отечественном мостостроении при-

меняются. В ряде случаев их предусматривают в сочетании с гребенчатыми упорами, например, на поперечных балках и других вспомогательных конструктивных элементах, а также при реконструкции сталежелезобетонных мостов, с заменой аварийной сборной плиты на монолитную в дополнение к жестким дискретным упорам, предусмотренным в старых типовых проектах.

Заслуживает внимания положительный опыт применения монолитной плиты проезжей части в неразрезном сталежелезобетонном пролетном строении 3×63 м на мосту через р. Проню на Федеральной дороге М-5 Москва – Самара. Проект моста и сложных вспомогательных устройств разработан в ОАО «Гипротрансмост», строительство осуществлено Мостоотрядом № 22. Монолитная железобетонная плита выполнена плоской (без втулов на опорах), прогон по оси моста исключен. Это решение позволило применить передвижную деревометаллическую опалубку простейшей конструкции. Отсутствие прогона упростило и облегчило поперечные связи между балками. Объединение плиты с балками двойное: с помощью жестких дискретных упоров и гибких арматурных стержней с отгибами в виде резьбовых шпилек, прикрепляемых двумя гайками сверху и снизу поясных листов, равномерно по всей длине поясов. (По сочетанию гибкой и жесткой анкеровки этот способ сопоставим с ранее приведенным на рис. 1).

#### **Сталежелезобетонные мосты со сборной плитой проезжей части**

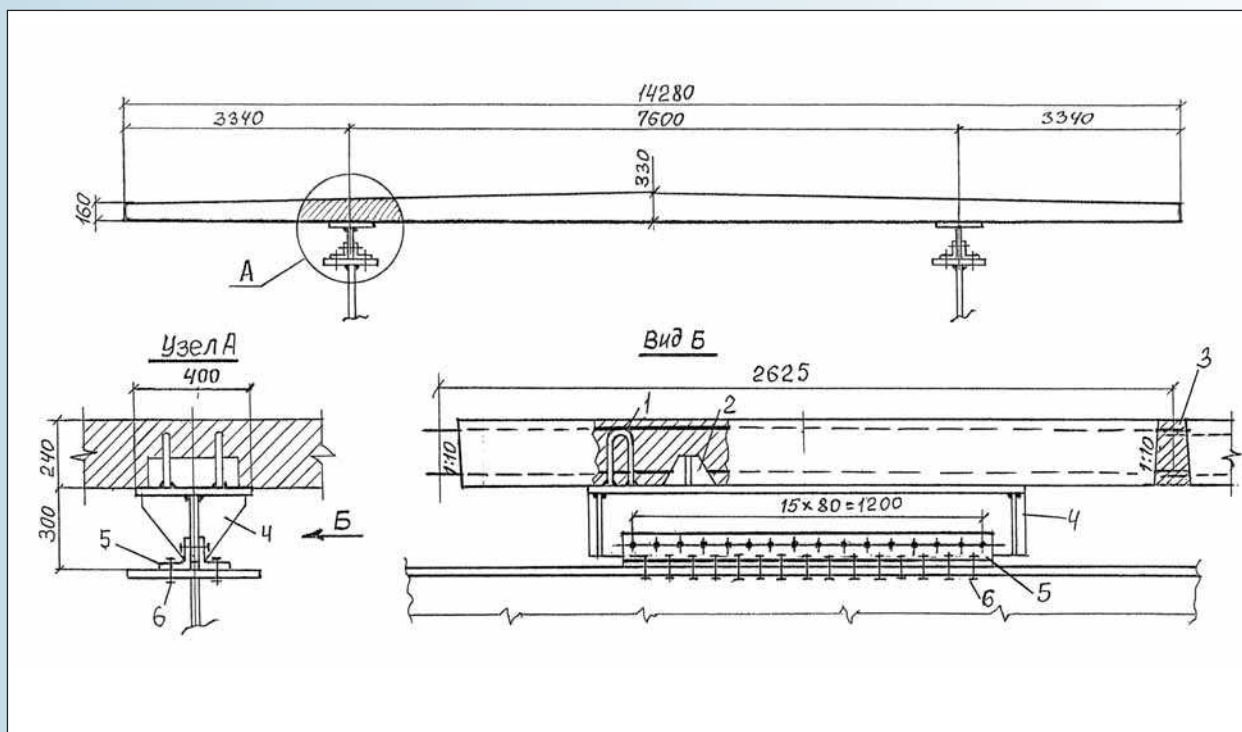
В конце 80-х годов, когда в результате обследований сталежелезобетонных мостов со сборными плитами выяснились их недостатки, специалисты-мостовики научно-исследовательских, проектных и мостостроительных организаций нача-

ли поиски новых, более надежных конструктивных решений по объединению железобетонных плит между собой и с металлическими балками. Конструкции разрабатывали для реальных проектируемых и строящихся объектов, а потому сразу же внедряли в производство.

Первые проектные разработки по объединению сборных железобетонных плит с металлическими балками на высокопрочных болтах выполнены институтом ЦНИИПроект-стальконструкция на мостах через реки Аше, Теберда, Кубань, Дон. Затем эти соединения были усовершенствованы совместными разработками ЦНИИСа и Гипротрансмоста для мостовых переходов через р. Урал в г. Уральске и через р. Волгу у с. Пристанное на обходе г. Саратова (протоки Малая Каюковка и Каюковка). Суть усовершенствования соединений сводится к более равномерному распределению усилий в металлических балках и железобетонной плите, а также в технологичности образования объединенной конструкции (рис. 3). Объединение плит с главными балками выполнено на высокопрочных болтах через закладные детали с помощью парных приемных уголков (см. рис. 3, узел А). Приемные уголки сечением 100×100×12 мм приняты над пакетными (из двух листов) верхними поясами и 160×100×12 мм над однолистовыми поясами. Закладные детали в бетоне анкервали с помощью жестких упоров и, кроме того, петлевых анкерных стержней из арматуры периодического профиля с целью равномерного распределения сдвигающих усилий в железобетонной конструкции и восприятия вертикальных усилий отрыва от металлической балки (т. е. опять сочетание жестких и гибких элементов).

Принятая конструкция объединения сборных железобетонных плит обладает рядом достоинств.

1. Изгибная жесткость приемных уголков значительно меньше



**Рис. 3. Сборная железобетонная плита на мосту через р. Каюковка и способ её объединения с металлическими балками:**  
 1 – гибкий упор; 2 – жёсткий упор; 3 – монолитный поперечный стык; 4 – закладная деталь; 5 – приемные уголки; 6 – высокопрочные болты

жесткости верхних поясов металлических главных балок, что исключает их депланацию при натяжении болтов. Это является принципиальным отличием от конструкции, принятой в типовом проекте инв. № 739, где деформации грибовидности и перекоса полог в поясе и в закладной детали суммировались в неблагоприятную сторону.

2. Разность диаметров отверстий 28 мм и болтов М22, равная 6 мм в сопряжениях уголков с закладной деталью и такая же – с поясом балки, оказалась достаточной для свободной установки и натяжения болтов. Рассверливание (райберовку) отверстий не применяли.

3. Сочетание болтовых соединений, жестких упоров и гибких анкерных элементов в плите на протяжении 1,5 м при ширине ее 2,625 м позволило обеспечить равномерную передачу сдвигающих и отрывающих усилий без концентрации напряжений в бетоне и металле.

К недостаткам рассмотренной конструкции сборных железобе-

тонных плит следует отнести наличие монолитных поперечных стыков со сварными выпусками арматуры. Выполнение этих стыков трудоемко, а надежность работы их зависит не только от качественной укладки бетонной смеси, но и от создания оптимальных условий твердения бетона при отрицательной температуре наружного воздуха.

Параллельно с описанной конструкцией сборных железобетонных плит в 90-х годах в ЦНИИСе разработаны и осуществлены в реальных проектах разрезных сталежелезобетонных пролетных строений длиной до 42 м два других способа объединения сборных плит с металлическими балками: с помощью электродуговой сварки и на высокопрочных болтах (патент № 2133792 от 28.11.1997 г.).

На рис. 4 показано поперечное сечение сталежелезобетонного моста со сборными плитами простейшей плоской конструкции с закладными деталями в виде патрубков из горячекатаных или

электросварных стандартных труб диаметром 273 мм с толщиной стенок 10 мм. Патрубки надежно заанкерены в железобетоне скобами из арматурных стержней.

Плиты изготавливают в жесткой матричной металлической опалубке. Поддон-рама из швеллеров № 30 и настильный лист толщиной 12 мм со строганными (или фрезерованными) в размер 2200 мм кромками должны быть собраны и сварены с одной установки на выверенном стенде или на универсальных сборочных плитах (УСП). Борт опалубки из швеллера № 30 с одной стороны приваривают к поддону, а с другой – присоединяют на болтах для возможности распалубки. Борты по верху плиты объединяют жесткими стяжками-распорками.

Поперечные стыки плит – клееные обжатые. Рекомендуются клеи: полимерцементный на основе латекса СКС-65ГПБ (водорастворимый); полимерная композиция на основе эпоксидной смолы. Обжатию производят дом-

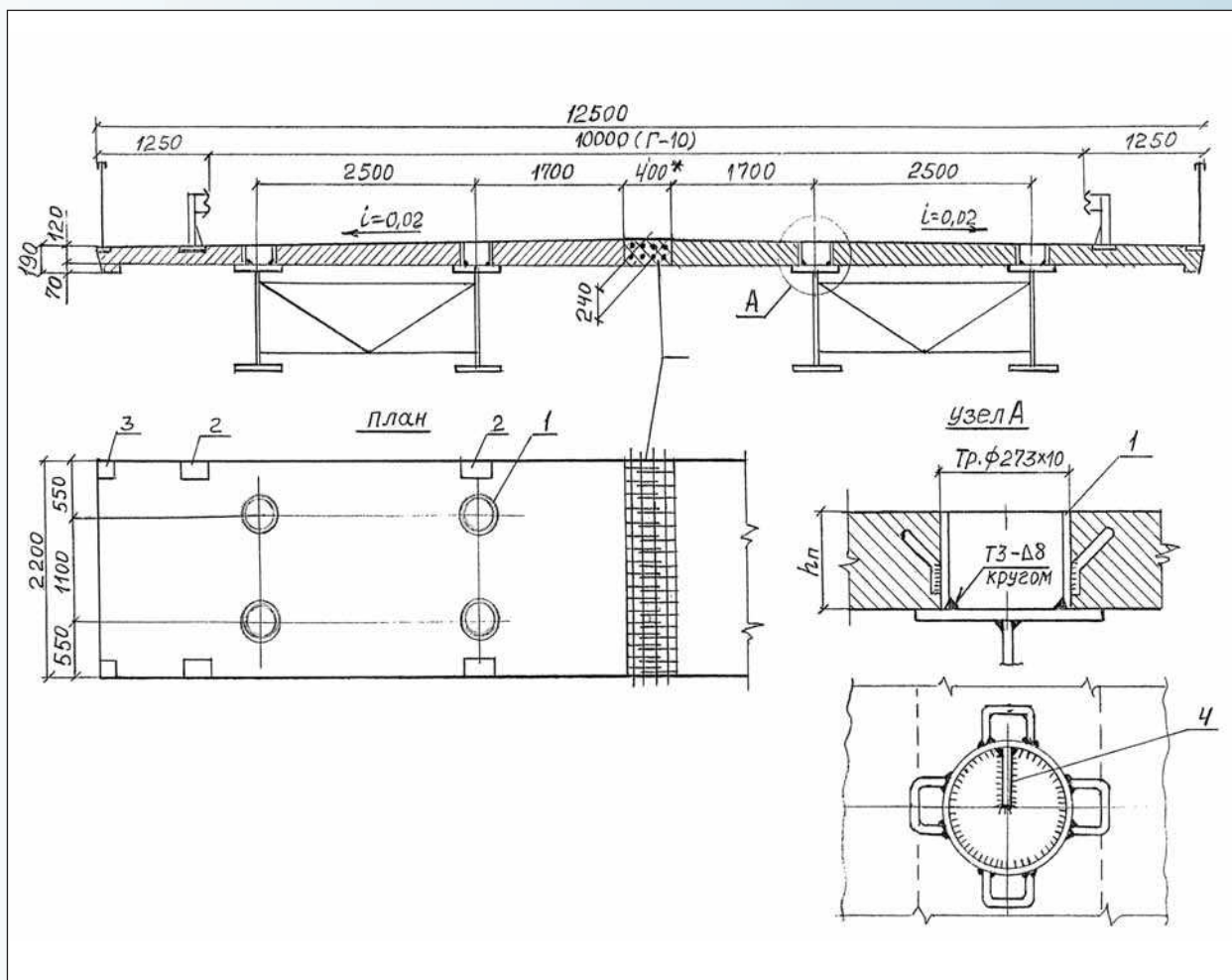


Рис. 4. Конструкция сборных железобетонных плит и объединение их с металлическими балками сваркой: 1 – закладная деталь из трубы диаметром 273×10 мм; 2 и 3 – закладные детали объединения плит в поперечных стыках; 4 – продольный упор

кратами или высокопрочными болтами через закладные детали. Кроме того, плиты между собой объединяют сваркой закладных деталей встык по верху плиты, с усилением накладками и с обваркой их по контуру.

Объединение плит с металлическими балками выполняют приваркой закладных патрубков к верхним поясам балок по всему кольцевому периметру. Сварка ручная дуговая или полуавтоматическая после обжата клеевого стыка. В крайних плитах, где действуют максимальные усилия сдвига  $Q$ , стык дополнительно усиливают продольными упорами, привариваемыми внутри стыка (см. рис. 4, поз. 4).

Продольный монолитный стык плит по оси моста предусмотрен

только для пролетных строений с четырьмя стальными балками. Этот стык «вбирает» в себя все погрешности монтажных работ и благодаря мощному армированию продольными арматурными стержнями объединяет плиты во избежание клавишного эффекта. Ширина продольного стыка может быть в пределах 400–1000 мм в зависимости от габаритов проезжей части и тротуаров.

Пролетные строения со сборными железобетонными плитами подобной конструкции осуществлены на реальных объектах – автодорожных мостах в Республике Мордовия и в Пермском крае. Мостостроителей привлекает простота и технологичность заводского (или полигонного) изготовления плит и их монта-

жа, с надежным объединением в единую рабочую систему с разрезными металлическими балками. Все построенные мосты с пролетами 33 м объединяли в температурно-неразрезные плиты с одним или двумя деформационными швами. Монтаж металлоконструкций выполняли посредством конвейерно-тыловой сборки с продольной надвижкой по инвентарным накаточным кареткам с двухребордными колесами, аванбеком длиной 12 м и арьербеком (для плавного схода с кареток) длиной 3 м. Выталкивающий механизм – тихоходная лебедка. Скорость надвижки – 1 м/мин при непосредственном креплении каната к арьербеку и 0,5 м/мин – в две «нитки», с отводным роликом на арьербеке.

О надежности и долговечности разработанных в НИЦ «Мосты» сталежелезобетонных пролетных строений со сборной плитой говорить пока преждевременно, однако за прошедший почти десятилетний срок эксплуатации мостов отрицательные явления не наблюдались.

Второй способ объединения описанных сборных железобетонных плит с металлическими балками заключается в объединении плит с балками посредством высокопрочных болтов, для чего в закладном патрубке предусмотрено днище из листа толщиной 16 мм с четырьмя отверстиями диаметром 28 мм под болты М24. Отверстия в закладных деталях сверлят при их изготовлении. В процессе бетонирования плит закладные детали через отверстия фиксируют пробками строго в проектное положение. Ответные отверстия в верхних поясах балок можно сверлить диаметром также 28 мм после полного выполнения всех сварочных работ в балках при условии обеспечения высокой точности ширины плит – (2200<sup>+0</sup>) мм.

Если это условие не выдерживается, отверстия в поясах балок сверлят в процессе монтажа и обжатия плит через отверстия в закладных деталях сверлом диаметром 25 мм. Высокопрочные болты устанавливают головками вверх и затягивают до расчетных усилий  $P = 26,3$  тс. Контактные поверхности обрабатывают пескоструйным способом для получения коэффициента трения  $\mu = 0,58$ . Все остальные операции по монтажу плит с устройством клеевых обжатых стыков и по надвижке пролетных строений аналогичны предыдущим.

### Выводы и предложения

1. Сталежелезобетонные мосты с монолитной или сборной плитой проезжей части можно применять наравне с металлическими и чисто железобетонными, практически в любых регионах России.

Критерием выбора конструкций является сравнение их по основным технико-экономическим показателям – надежности, долговечности, стоимости, срокам строительства, материалу- и трудоемкости, с учетом местных условий возведения каждого конкретного мостового сооружения. Это положение в равной степени справедливо для автодорожных, городских, железнодорожных и пешеходных мостов. В основу проектирования должна быть положена надежная и технологичная в изготовлении и монтаже конструкция объединения металла и железобетона для совместной работы в течение полного срока эксплуатации моста, т. е. не менее 80 лет.

2. Одним из довольно распространенных недостатков сталежелезобетонных пролетных строений с монолитной плитой и со сборной, имеющей монолитные поперечные стыки, является частичная или полная потеря проектного строительного подъема при производстве работ и в процессе эксплуатации, в результате чего ухудшаются эксплуатационные характеристики мостов: долговечность, плавность движения транспортных средств, эстетическая выразительность, водосток и т. д.

Анализ причин деформаций, приводящих к потере строительного подъема, указывает на необходимость учета при проектировании, строительстве и эксплуатации следующих факторов:

- этапы загрузки металлоконструкций, сроки и последовательность бетонирования плиты;
- усадка и ползучесть бетона;
- воздействия разности температур стальной и бетонной частей сечения, а также экзотермического выделения тепла при твердении бетона;
- форма и размеры плиты, минералогический состав бетона, количество, сорт и качество цемента, режим твердения бетона (температура и влажность).

Известно, что деформации усадки, начинающиеся сразу после схватывания бетона, наиболее интенсивно происходят в нем, наряду с ростом прочности, в первые 28 дней. К концу первого года деформации усадки составляют около 85 % от предельного значения, к концу второго года – 93 % и третьего – 96 %. При проектировании и расчете объединенных конструкций предельные относительные деформации усадки бетона принимают равными: для монолитной плиты  $\varepsilon = 2 \times 10^{-4}$  (0,2 мм/м) и для сборной  $\varepsilon = 1 \times 10^{-4}$  (0,1 мм/м).

При назначении строительного подъема разрезных и неразрезных сталежелезобетонных пролетных строений необходимо, по мнению авторов, вернуться к нормам СН 200-62, где он принимался равным сумме прогибов от 100 % постоянных и 80 % временных подвижных нормативных нагрузок (вместо соответствующих 100 % и 40 % по СНиП 2.05.03-84\*).

3. При проектировании сталежелезобетонных мостов со сборными плитами заводского изготовления следует избегать монолитных и, особенно, поперечных стыков с целью снижения вредного влияния ползучести и усадки бетона на конструкцию. Желательна определенная по времени выдержка сборных конструкций в оптимальных заводских условиях до полного набора проектной прочности бетона, т. е. не менее 28 дней. В этот период наряду с ростом прочности происходит наиболее интенсивная усадка бетона, начинающаяся сразу после схватывания. Через 28 дней процессы набора прочности, усадки и ползучести происходят со значительно меньшей интенсивностью. Отпускная прочность бетона сборных плит заводского или полигонного изготовления должна быть 100 %. Соответствующие изменения необходимо отразить в нормативных документах. (В СНиП 3.06.04-91 этот показатель равен 70–75 %). ■