

УДК 624.021

Вопросы проектирования и строительства мостовых сооружений для отечественных высокоскоростных железнодорожных магистралей

В. Н. Смирнов

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Смирнов В. Н. Вопросы проектирования и строительства мостовых сооружений для отечественных высокоскоростных железнодорожных магистралей // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2023. — Т. 20. — Вып. 3. — С. 645–659. DOI: 10.20295/1815-588X-2023-3-645-659

Аннотация

Цель: Осветить на текущий момент состояние вопроса по проектированию и строительству отечественных мостовых сооружений для высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ) и разработать предложения по конструктивно-техническим решениям многопролетных мостовых сооружений эстакадного типа, обеспечивающим работы эстакад вне условий резонанса. **Методы:** Использован метод анализа конструктивно-технологических решений зарубежных мостовых сооружений на линиях ВСМ и проектных разработок отечественных проектировщиков. **Результаты:** Приведенное в статье обобщение мирового и отечественного опыта проектирования и строительства инфраструктуры ВСМ позволяет разработать определенные рекомендации по проектированию и строительству мостовых сооружений на ВСМ в России. Актуальность темы заключается в необходимости получения данных, требуемых для возведения мостовых объектов на ВСМ в отечественных условиях, поскольку пока собственные ВСМ у нас отсутствуют. **Практическая значимость:** В статье описаны особенности конструкций мостовых сооружений на ВСМ, требования, предъявляемые к искусственным сооружениям, работающим в условиях высокоскоростного движения поездов, дается описание мостовых сооружений, построенных за рубежом, а также проектно-конструкторские разработки отечественных проектных организаций. Дается оценка некоторым мостовым объектам ВСМ, построенным в Германии, Южной Корее, Испании. Особо подчеркивается высокий уровень уникальных мостовых сооружений ВСМ, построенных за последние годы в Китае. Разработаны предложения по конструктивно-технологическим решениям мостовых многопролетных регулярных сооружений в виде эстакад исходя из недопущения резонансных эффектов в системе «поезд — мост» при движении подвижного состава с высокими скоростями. Делается вывод о способности отечественного мостового сообщества успешно решать задачи, связанные с возведением мостовых сооружений для отечественных высокоскоростных железнодорожных магистралей.

Ключевые слова: высокоскоростная железнодорожная магистраль, мостовое сооружение, требования к мостам ВСМ, многопролетная эстакада, зарубежный опыт, резонансный эффект.

Введение

Как показывает опыт развитых стран, строительство высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ) под пассажирское движение целесообразно по многим причинам. В частности, строительство ВСМ мотивирует общество к

ускорению технического прогресса, появлению новых рабочих мест, позволяет решать наиболее эффективно транспортные задачи.

В странах Европы, Азии и Америки строительство ВСМ ведется достаточно интенсивно. В нашей стране интерес к высокоскоростному

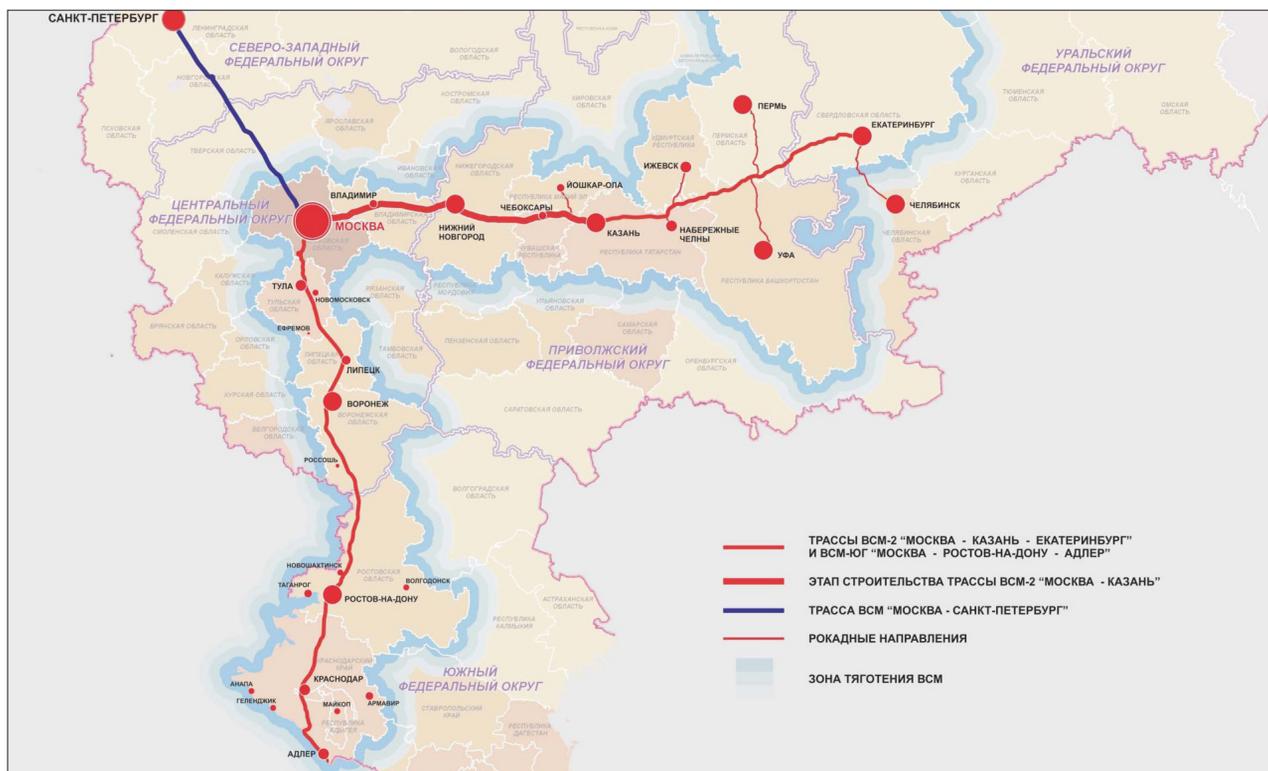


Рис. 1. Перспективная сеть ВСМ РФ на сегодняшний день

движению поездов появился в конце двадцатого века. Были намечены варианты основных трасс ВСМ в России, из которых сохранились приведенные на рис. 1.

Как наиболее важная для страны намечалась ВСМ Москва — Санкт-Петербург. До мая 2013 года она предполагалась как первая в России ВСМ, но ее строительство так и не было начато. В 2006 году для организации предпроектных работ было создано ОАО «Скоростные магистрали». В мае 2013 года президент России В. В. Путин объявил о решении построить в 2014–2018 годах первую в РФ ВСМ Москва — Казань с перспективой продолжения ее до Екатеринбурга. В связи с этим проект ВСМ Москва — Санкт-Петербург был отложен на неопределенное время. Правда, когда в апреле 2019 года проект Москва — Казань был отложен, снова возобновилось проектирование ВСМ Москва — Санкт-Петербург. Однако в ноябре 2021 года появилось

сообщение, что Правительство РФ рассматривает возможность отказа от строительства ВСМ Москва — Санкт-Петербург и проведения усиления объектов действующего главного хода магистрали для возможности реализации на действующей линии высокоскоростного движения.

Таким образом, положение с высокоскоростным движением пассажирских поездов в стране остается неопределенным. Тем не менее логика мирового развития транспорта требует готовности научных, проектных и мостостроительных организаций к выполнению работ, связанных с подготовкой к высокоскоростному движению пассажирских поездов. Следует заметить, что в этом направлении отечественными специалистами проделана большая работа, создан определенный задел.

Важнейшим элементом ВСМ являются мостовые сооружения в виде мостов, эстакад, виадуков, путепроводов.

1. Особенности мостов ВСМ и предъявляемые к мостовым сооружениям требования

К основным особенностям, учет которых необходим при проектировании искусственных сооружений для ВСМ, следует отнести [1–7] следующие:

- высокая интенсивность движения поездов (по опыту ВСМ «Токайдо» в Японии она составляет 15 отправок в час);
- достаточно высокая стоимость строительства и эксплуатации (цена строительства 1 км — 12–30 млн €; стоимость годового обслуживания 1 км — 70 тыс. €; стоимость обслуживания одного поезда — 1 млн € в год);
- повышенная динамика элементов системы «мост — поезд» при высокоскоростном движении;
- уменьшенная по сравнению с действующими нормами временная подвижная нагрузка (предельная нагрузка на ось 11–17 тс);
- высокая удельная тяговая мощность (11–24 кВт на 1 т массы);
- повышенные требования к элементам верхнего строения пути на мостах и подходах (шпалы — железобетонные, моноблочные или двухблочные, с эпорой более 1666 шт. на 1 км; масса рельсов не менее 60 кг/пог. м, при этом рельсы сваренные в плети «бесконечной» длины, желателен «от стрелки до стрелки»; рельсовые скрепления — пружинных типов);

В связи с отмеченными особенностями к мостам ВСМ предъявляются ряд требований [8–14]:

- высокая жесткость пролетных строений (минимизация допустимых прогибов);
- необходимость учета аэродинамического воздействия со стороны высокоскоростного подвижного состава;
- плавное сопряжение моста и насыпей подходов к мосту во избежание толчков при въезде на мост;

- учет совместной работы элементов системы «мост — бесстыковой путь» при температурных и силовых воздействиях;

- целесообразность применения двухпутных пролетных строений (пролетное строение под два пути);

- учет возможности пропуска по мостам ВСМ не только пассажирских, но и грузовых поездов технологического назначения;

- учет возможности резонансных режимов при движении высокоскоростных поездов по мостовым сооружениям эстакадного типа;

- продольный уклон пути на мосту — не более 0,024, радиус горизонтальных кривых — не менее 10 000 м, радиус вертикальной кривой на мосту — не менее 42 000 м.

2. Конструктивные решения железобетонных и металлических пролетных строений мостов на ВСМ из мирового опыта

В мировой практике мостостроения используются мостовые сооружения балочной (разрезной и неразрезной) системы, а также рамные, вантовые и арочные мосты.

Из опыта Германии

В настоящее время на высокоскоростных линиях акционерного общества «Германские железные дороги» (DB AG) часто применяются мостовые сооружения со статически неопределимыми схемами пролетных строений. Такие конструкции обладают хорошими эксплуатационными качествами и долговечностью, в то же время они экономичны при сохранении эстетической привлекательности. Однако в качестве типовых конструкций приняты железобетонные разрезные коробчатые балки под два пути с ездой на балласте (рис. 2).

Интересным техническим решением является конструкция трехпролетного неразрезного

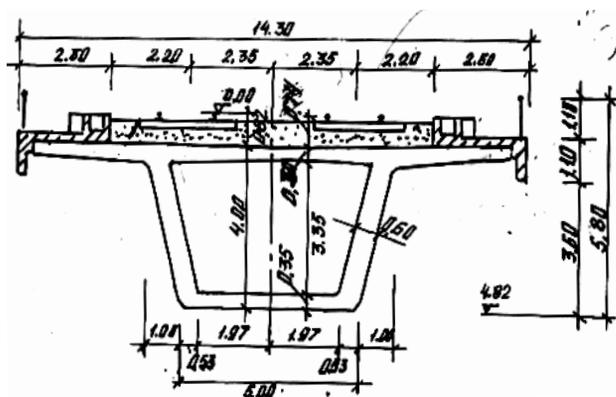


Рис. 2. Пролетное строение на мостах ВСМ, широко применяемое в Германии

пролетного строения с ездой поверху моста через р. Майн в Нантенбахе на двухпутной скоростной линии Ганновер — Вюрцбург по схеме $83,2 + 208,0 + 83,2$ м (рис. 3). Пролетное строение моста выполнено в виде сталежелезобетонной решетчатой системы с ездой поверху, ферма имеет простую треугольную решетку с криволи-

нейным нижним поясом. Помимо устройства в верхнем поясе железобетонной плиты, включенной с ним в совместную работу, в нижних опорных зонах ферм пролетных строений устроены сталежелезобетонные плиты, усиливающие нижние сжатые пояса главных ферм.

Из опыта Испании

Первым сталежелезобетонным мостом, предназначенным для пропуска составов ВСМ в Испании, является мост через реку Арройо-Лас-Пьедрас. Пролетное строение моста представляет собой неразрезную многопролетную балку по схеме: $50,4 + 17 \times 63,5 + 44 + 35$ м (рис. 4). На момент окончания строительства в 2008 году он был рекордным по длине пролетов такого типа. Высота промежуточных опор моста превышает 93 м.

Поперечное сечение пролетного строения составляют две металлические сплошностенчатые балки, объединенные сверху железобетонной плитой.

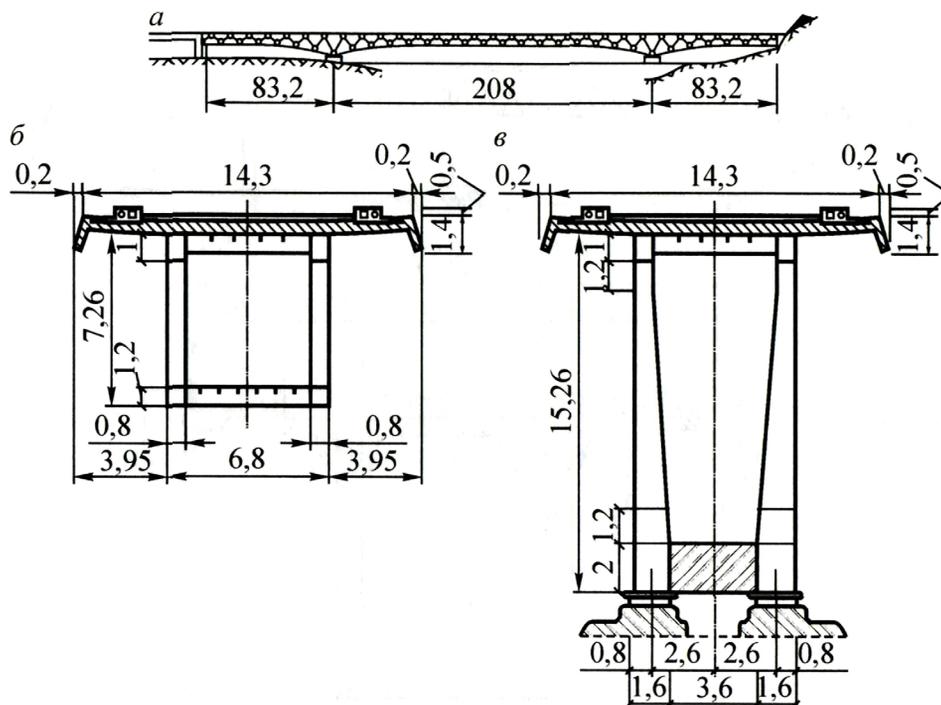


Рис. 3. Мост через Майн в Нантенбахе:

a — общая схема; *б*, *в* — поперечные сечения в пролете и на средней опоре; *г* — фрагмент нижнего пояса главной фермы в зоне среднего опорного узла; *д* — разрез А — А

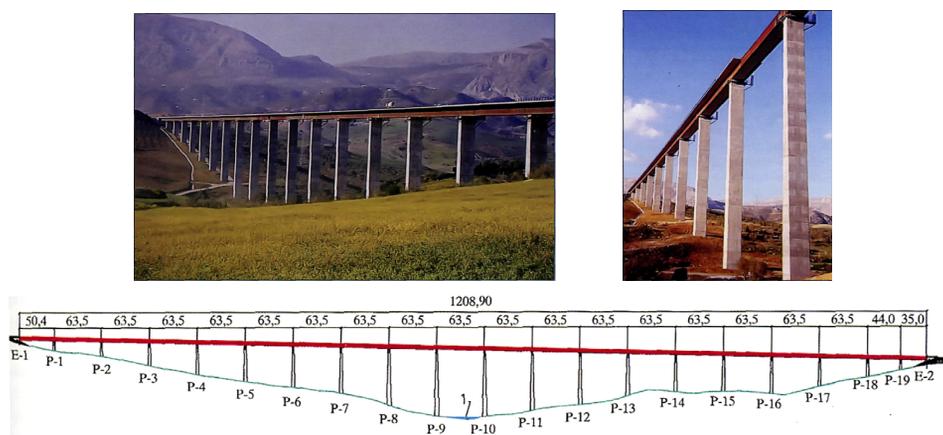


Рис. 4. Мост в Испании через реку Арройо-Лас-Пьедрас (общий вид и схема)

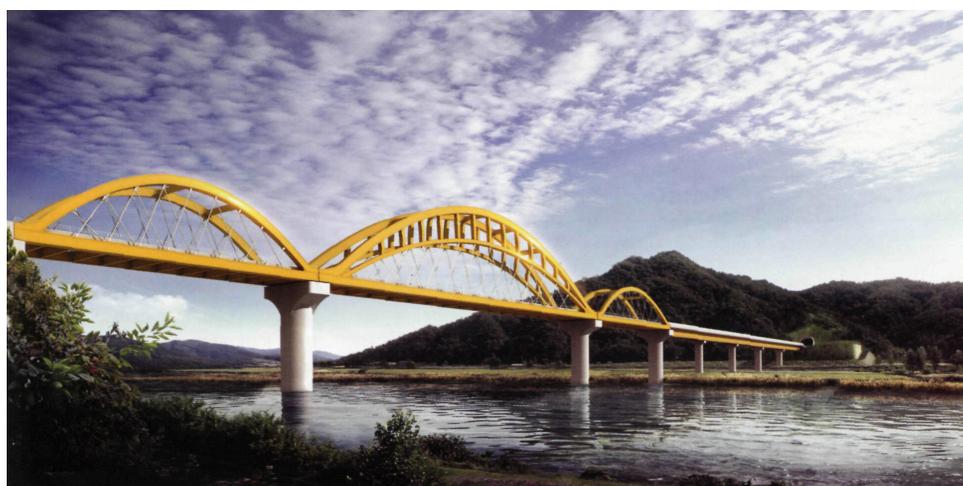


Рис. 5. Общий вид моста Кумган в Южной Корее

Опыт Южной Кореи

Мостовой переход Кумган расположен на скоростной железнодорожной магистрали Хоман. Арочная часть моста имеет длину 300 м и состоит из центрального пролета 130 м и двух боковых по 85 м (рис. 5).

Балки проезжей части арочных пролетных строений — сталежелезобетонные, железобетонные промежуточные опоры имеют высоту до 40 м.

Из опыта Китая

Китайские инженеры в последние годы при строительстве мостов на ВСМ применили ряд смелых оригинальных решений, в частности предложив под железнодорожное движение вантовые мосты. Одним из примеров сооружений вантовой системы

под высокоскоростное движение является мост Тяньксинджоу через реку Янцзы в городе Ухань. По мосту пропускается автотранспорт и, кроме того, проложены четыре пути железной дороги. В состав мостового перехода входят северная эстакада длиной 2956 м, центральная вантовая часть длиной 1092 м и южная эстакада подходов длиной 609 м.

Для моста были спроектированы двухъярусные пролетные строения со сталежелезобетонными балочными фермами (рис. 6). Верхний ярус предназначен под автомобильное движение по три полосы в каждом направлении, а на нижнем уложены четыре железнодорожных пути — два для грузовых поездов и два для высокоскоростной линии. В поперечном сечении пролетного строения размещены три фермы (рис. 7).



Рис. 6. Общий вид моста Тяньсинджоу во время строительства

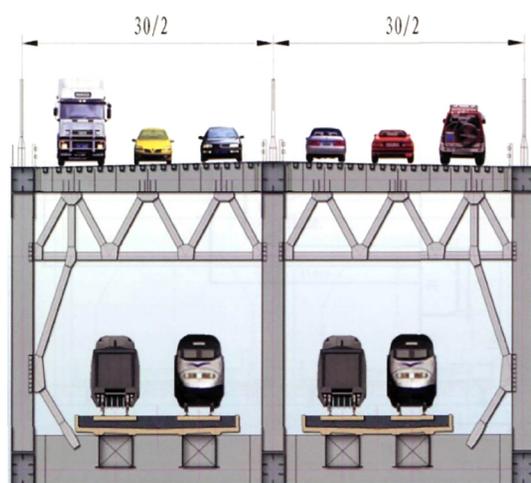


Рис 7. Поперечное сечение пролетного строения моста

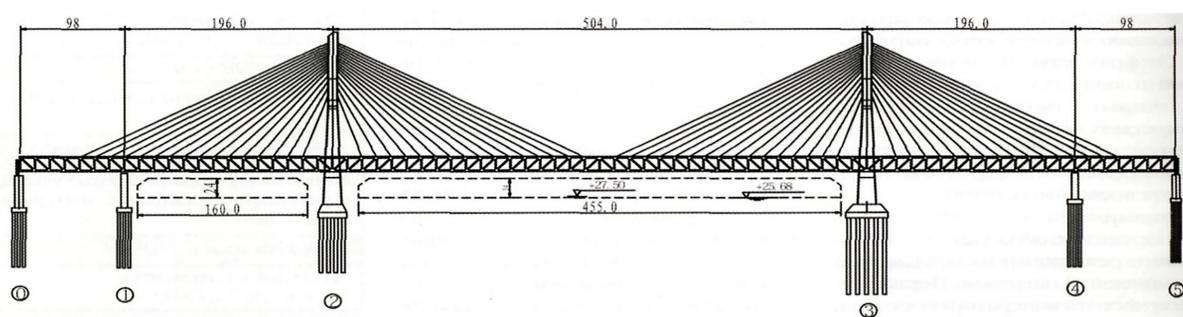


Рис. 8. Вантовая часть мостового перехода Тяньсинджоу

Вантовая часть моста состоит из пяти пролетов по схеме 98 + 196 + 504 + 196 + 98 м (рис. 8). Балка жесткости вантового пролетного строения выполнена в виде металлической фермы Гау шириной 31 м и высотой 17 м.

3. Отечественный опыт проектирования мостов ВСМ

В России пока нет высокоскоростных железнодорожных линий. Однако, используя зарубежный опыт [15], а также свои наработки, отечествен-

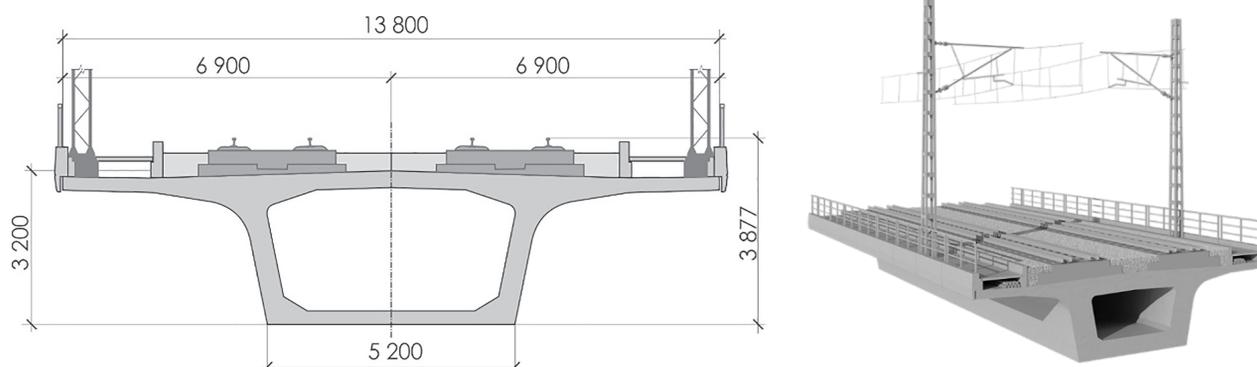


Рис. 9. Поперечное сечение пролетного строения полной длиной 23,6 м из предварительно напряженного железобетона

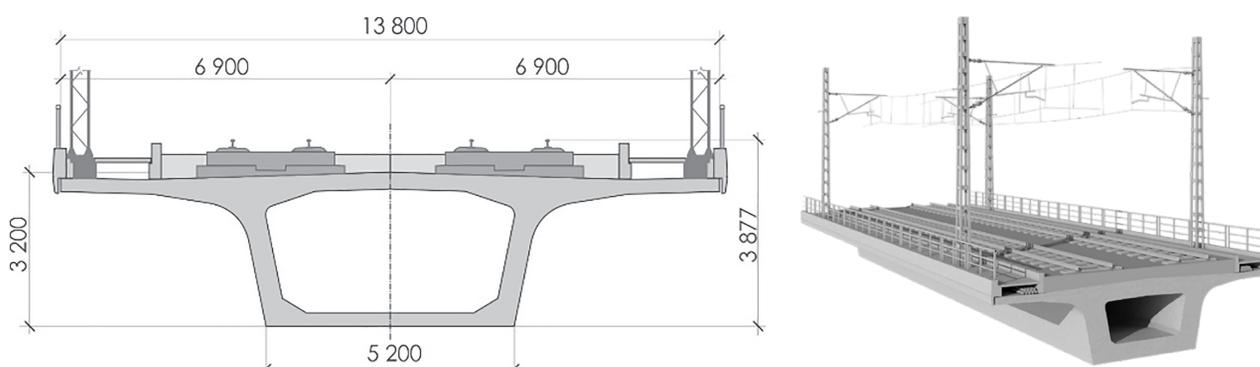


Рис. 10. Поперечное сечение пролетного строения полной длиной 34,2 м из предварительно напряженного железобетона (расчетный пролет 33,1 м)

ные инженеры разработали нормативные документы на проектирование отечественных ВСМ. Они касались проектирования ВСМ «Москва — Санкт-Петербург» и «Москва — Казань», предполагавшихся к строительству [16, 17] (см. рис. 1).

На основании этих документов отечественными проектными организациями разработан ряд проектов мостовых сооружений ВСМ.

Пролетные строения балочно-разрезной системы из предварительно напряженного железобетона

Институтом Гипростроймост для пролетов до 50 м были разработаны проекты разрезных балочных пролетных строений коробчатого сечения под два пути из предварительно напряженного железобетона мостовых сооружений ВСМ 2 (Москва — Казань), предназначенных для движе-

ния поездов со скоростями до 350 км/час. Балочные пролетные строения с ездой поверху имеют полную длину 23,6; 34,2 и 50 м. Пролетные строения запроектированы в различном исполнении:

- монолитные железобетонные пролетные строения, изготавливаемые на объекте строительства в проектном положении на подмостях;
- сборные пролетные строения, изготавливаемые на приобъектном полигоне и монтируемые специальным монтажным агрегатом.

Пролетные строения имеют коробчатое сечение и запроектированы из предварительно напряженного железобетона с натяжением на бетон. Бетон балки проектного строения по прочности класса В40. Поперечные сечения пролетных строений (рис. 9–11) выполнены в виде коробки под два пути с наклонными стенками. Общая ширина пролетных строений поверху 13,8 м. Толщина

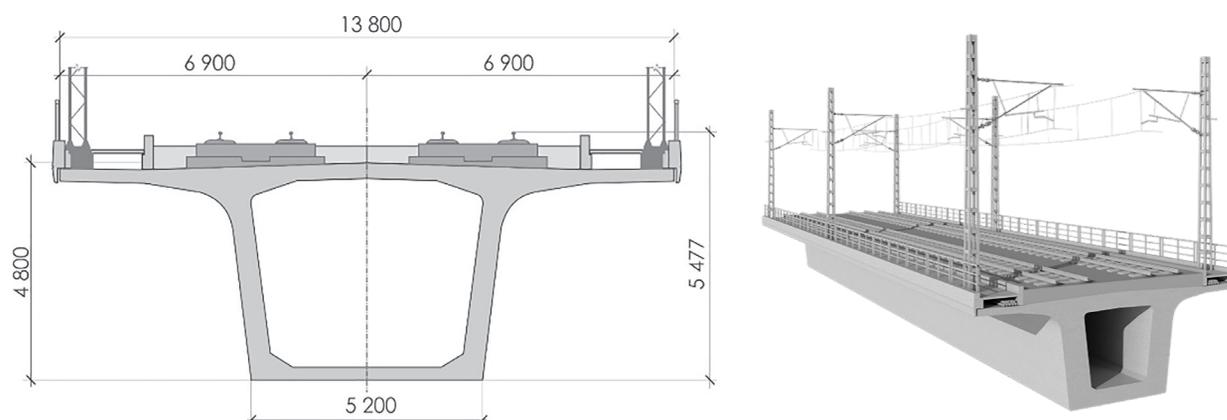


Рис. 11. Поперечное сечение пролетного строения полной длиной 50 м из предварительно напряженного железобетона

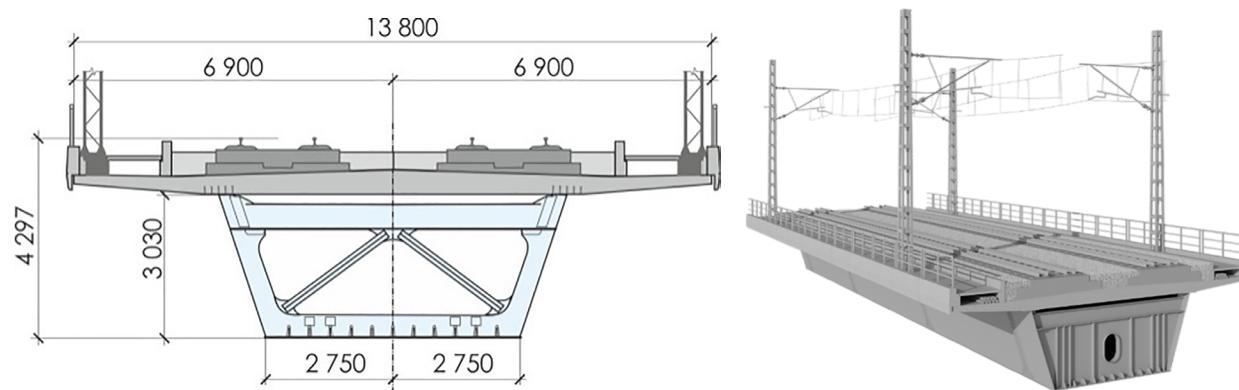


Рис. 12. Поперечное сечение сталежелезобетонного пролетного строения полной длиной 34,2 м (расчетный пролет 32,1 м)

наклонных стенок коробчатой части пролетного строения изменяется от опоры к середине пролета от 1,0 до 0,45 м.

Сталежелезобетонные пролетные строения мостовых сооружений ВСМ 2 (Москва — Казань) балочно-разрезной системы

Сталежелезобетонные пролетные строения длиной 34,2 и 50,0 м представляют собой металлическую главную балку коробчатого сечения с наклонными стенками под два пути (рис. 12, 13). В уровне нижнего пояса стенки главной балки обоих пролетных строений объединены ребристой плитой с продольными полосовыми ребрами, в уровне верхнего пояса — поперечными балками. Материалы основных металлоконструкций балок пролетных строений выполнены из стали 10ХСНД и 15ХСНД.

Проектом предполагаются следующие возможные технологии монтажа:

- сборка на подмостях в виде временных опор под каждым стыком монтажных блоков;
- монтаж стреловыми кранами или специальным монтажным агрегатом;
- продольная надвигка с временным объединением разрезных балок в двухпролетную неразрезную конструкцию.

Коробчатые неразрезные балки пролетных строений из монолитного предварительно напряженного железобетона пролетом более 50 м

В случае пролетов, превышающих 50 м, целесообразным становится применение балочно-неразрезных систем. При этом для мостов ВСМ предпочтительно использование предварительно

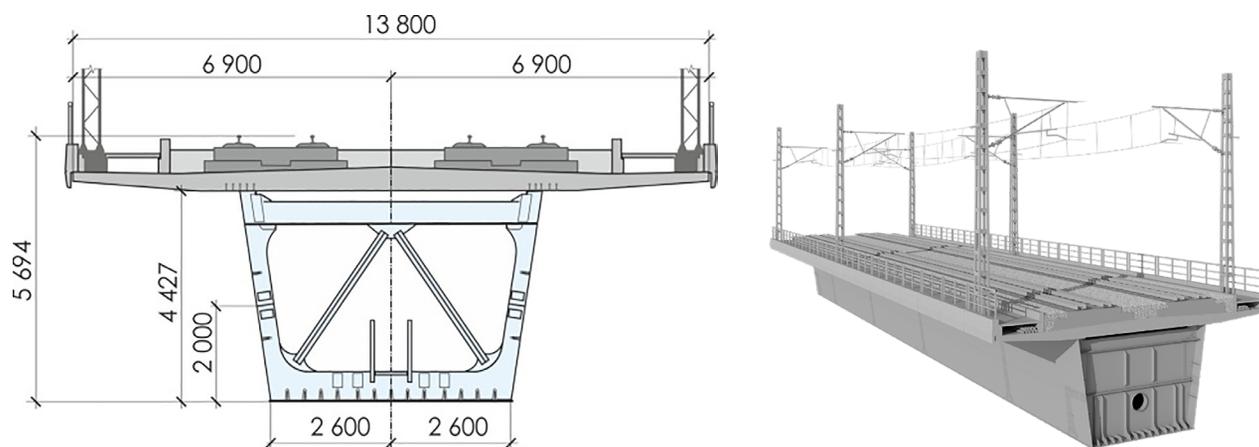


Рис. 13. Поперечное сечение сталежелезобетонного пролетного строения полной длиной 50,0 м

ПРОЛЕТНЫЕ СТРОЕНИЯ ДЛЯ УЧАСТКОВ ВЫСОКОСКОРСТНОГО ДВИЖЕНИЯ

НЕРАЗРЕЗНОЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЕ ПРОЛЕТНОЕ СТРОЕНИЕ (монолитное)

- 40,60+66,0+40.60
 - Расчетный пролет - 40+60+40.
 - Изготовление в проектном положении
- Стр. высота - 3 377 (в пролете), 6177 (на опоре)
 Масса - 5 775,5 т.

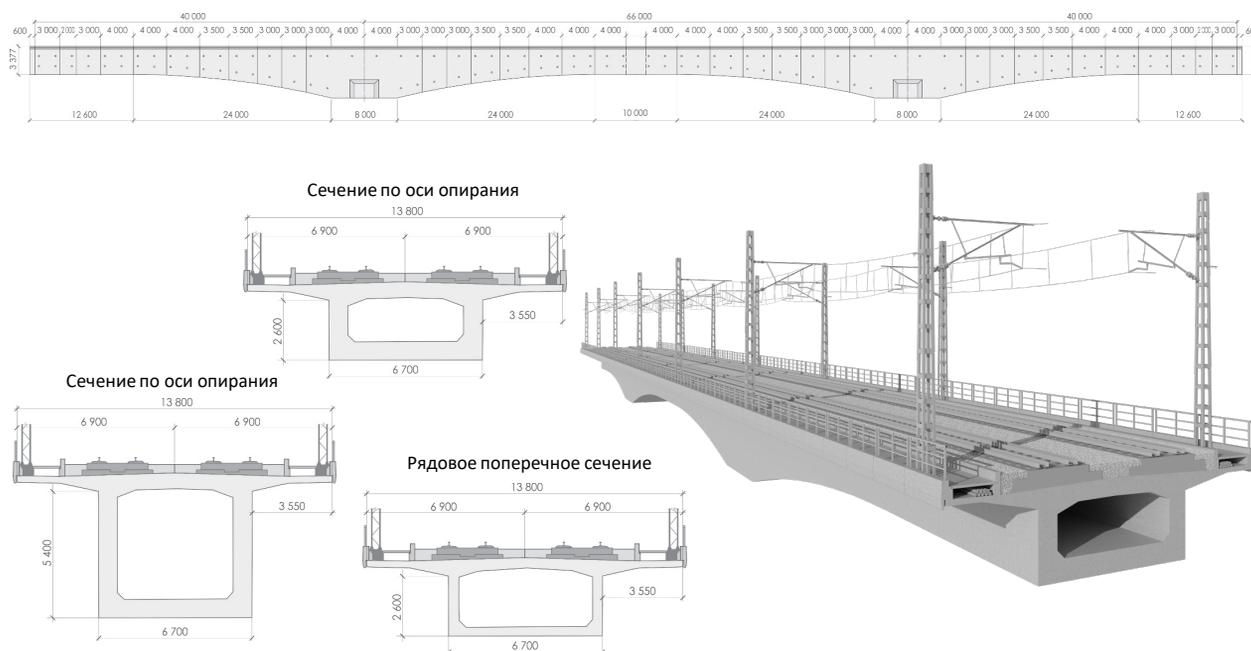


Рис. 14. Неразрезное пролетное строение под ВСМ проектировки Института Гипростроймост для ВСМ 2 (Москва — Казань)

напряженного железобетона, учитывая его повышенные по сравнению с металлом диссипативные свойства (рис. 14, 15).

Методы сооружения таких пролетных строений, имеющих, как правило, переменную высоту,

известны и широко используются в практике отечественного мостостроения.

Прежде всего это наплавной монтаж секций неразрезного пролетного строения. По этой технологии секция пролетного строения изготовля-



Рис. 15. Визуализация моста через Волгу на ВСМ Москва — Казань
(проект Института Гипростроймост)

ется на берегу с последующей ее доставкой в пролет на плавучих опорах. Эта технология широко используется в отечественной практике.

Другим способом, также применяемым отечественными мостостроителями, является навесное бетонирование. По этой технологии пролетное строение наращивается от опоры вдоль моста консолями посекционно, причем для бетонирования секции длиной 3–5 м используются короткие передвижные подмости с длиной, равной длине секции. В процесс изготовления входит устройство над промежуточной опорой так называемой стартовой секции, для чего выполняется обстройка подмостями надопорной зоны, на которых затем сооружается опалубка, производится армирование и бетонирование надопорной секции (с оставлением арматурных выпусков для омоноличивания с последующими секциями), набор бетоном прочности и натяжение арматурных пучков. На стартовой площадке размещаются передвижные подмости для бетонирования последующих секций, после чего выполняется бетонирование секций пролетного строения симметрично относительно промежуточной опоры с натяжением арматурных проволочных пучков на бетон. Затем подмости передвигаются симметрично промежуточной

опоры для бетонирования двух следующих секций. Далее процесс повторяется. В отечественной практике можно отметить построенный по такой технологии городской мост в Иркутске, где было реализовано навесное бетонирование пролетных строений с пролетами 105 м.

Неразрезные пролетные строения из предварительно напряженного железобетона при пролетах до 30 м

При проектировании мостовых сооружений с пролетами до 30 м для отечественных ВСМ рекомендовались, как правило, разрезные балки коробчатого сечения разрезной системы. При этом сооружение их предполагалось либо с бетонированием на подмостях в пролете, либо монтажом балок консольно-шлюзовыми агрегатами большой грузоподъемности. Первый способ требует специальных подмостей (стационарных или передвижных), второй вызывает технологические трудности в связи с необходимостью транспортировки от места изготовления до места монтажа балок весьма большой массы (600–700 т). Потому в виде альтернативы предлагается использовать при пролетах до 30 м неразрезные балочные системы с параллельными поясами,

а осуществлять монтаж железобетонных балок коробчатого сечения пролетом до 30 м методом циклической продольной надвигки (ЦПН). Суть его заключается в том, что пролетное строение посекционно сооружается на специальном стапеле насыпи подхода, где выполняются опалубочные, арматурные и бетонные работы в пределах длины секции, после чего забетонированная секция объединяется с предыдущей с установкой напрягаемой арматуры, и неразрезное пролетное строение передвигается в пролет на длину секции по накаточным устройствам, установленным на опорах. В зарубежной практике такой метод использовался, например, в возведении моста на скоростной линии Ганновер — Вюрцбург в долине р. Майн (Германия), где надвигалось железобетонное балочное пролетное строение длиной 1262 м и массой 42 500 т.

4. Выводы и рекомендации по проектированию мостовых сооружений на отечественных ВСМ

В мостовых сооружениях эстакадного типа с пролетами до 30 м целесообразно рассмотреть возможность применения железобетонных монолитных пролетных строений не только из сборного, но и из монолитного железобетона. При этом система сооружения может быть не только разрезной, но и балочно-неразрезной (поперечное сечение пролетного строения в обоих случаях в виде одной коробки под два пути). Как известно, неразрезные балки в сравнении с разрезными имеют повышенную жесткость и плавную линию прогибов, что является важнейшими достоинствами для мостов ВСМ. Технологии сооружения монолитных железобетонных неразрезных пролетных строений не требуют мощного грузоподъемного, транспортного и монтажного оборудования. Для эстакад на ВСМ это метод ЦПН (циклическая продольная надвигка), для большепролетных мостов через водотоки —

метод навесного бетонирования или наплавной монтаж.

При проектировании регулярных искусственных сооружений типа эстакад для обеспечения следования высокоскоростных поездов с постоянной заданной скоростью по всей длине трассы необходимо иметь у эстакад одинаковые пролеты. Величина оптимального пролета назначается из условия недопущения резонансных режимов движения поездов (с критическими скоростями, при которых возможны динамические коэффициенты, в разы превышающие до сих пор известные).

Рекомендуется в этой связи при проектировании эстакад следующий порядок действий:

а) для всей трассы (кроме большепролетных мостов) устанавливается скорость движения высокоскоростных поездов (например, $V_{\text{уст}} = 350$ км/ч);

б) определяется возможный набор типов временной подвижной нагрузки (желательно один тип), на основании чего определяется длина экипажа B (например, $B = 20,1$ м);

в) под установленную временную подвижную нагрузку разрабатываются эскизные проекты пролетных строений различной длины при разрезной системе и длины пролета при неразрезной (например, $L = 20,0$; $L = 30,0$; $L = 40,0$; $L = 50,0$ м) с определением первой и второй собственных частот каждого пролетного строения ν_1, ν_2 ;

г) определяются критические (резонансные) скорости движения подвижной нагрузки по эстакаде с пролетными строениями длиной $L = 20,0$; $L = 30,0$; $L = 40,0$; $L = 50,0$ м при разрезной системе и аналогичными пролетами при неразрезной по формуле:

$$V_{\text{кр}} = B \nu \text{ (м/с)}.$$

В случае близости величин скоростей, установленной и критической ($V_{\text{уст}}$ и $V_{\text{кр}}$), для данного пролетного строения следует изменить инерционно-жесткостные характеристики пролетного строения для изменения величины его собствен-

ной частоты с целью выведения колебаний балки из резонансной зоны.

Таким образом, при заданной скорости движения и известной длине экипажа пролетные строения не будут испытывать резонансных колебаний.

Заключение

Исходя из обусловленной большими размерами нашей страны необходимости преодолевать рельсовым транспортом большие расстояния за минимальное время, становится насущно актуальным решение задачи по строительству высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ) в РФ. Важнейшим элементом ВСМ являются мостовые сооружения.

Отечественное мостостроение способно решать сложные задачи по проектированию и строительству российских высокоскоростных железнодорожных магистралей. Технологии строительства, применявшиеся за рубежом при строительстве ВСМ, используются и в нашей практике и могут быть реализованы при строительстве отечественных ВСМ.

Библиографический список

1. Смирнов В. Н. Мосты на высокоскоростных железнодорожных магистралях / В. Н. Смирнов, А. А. Барановский и др. — СПб.: ПГУПС. — 2015. — 274 с.
2. Бенин А. В. Особенности проектирования и строительства мостов высокоскоростной железнодорожной магистрали «Москва — Казань» / А. В. Бенин, Л. К. Дьяченко, В. Н. Смирнов // Известия Петербургского университета путей сообщения — ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. — С. 15–20.
3. Смирнов В. Н. Специальные вопросы проектирования и строительства транспортных объектов: курс лекций / В. Н. Смирнов, Л. К. Дьяченко. — СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2019. — 140 с.
4. Смирнов В. Н. Особенности высокоскоростного движения железнодорожных экспрессов по мостам / В. Н. Смирнов // Новые технологии в мостостроении (от прошлого к будущему): сборник трудов Международной научно-технической конференции 2015 года. — ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. — С. 50–57.
5. Смирнов В. Н. Из истории разработки проекта специальных технических условий для проектирования мостов на ВСМ 2 Москва — Казань / В. Н. Смирнов, Г. И. Богданов // Новые технологии в мостостроении (от прошлого к будущему): сборник трудов Международной научно-технической конференции 2015 года. — ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. — С. 57–67.
6. Киселев И. П. Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс: учебное пособие в 2-х т. / И. П. Киселев, Л. С. Блажко, Н. С. Бушуев и др.; под редакцией И. П. Киселева. — М., 2014. — Т. 1.
7. Петров А. П. Особенности проектирования мостов на высокоскоростных железнодорожных магистралях. Новые технологии в мостостроении: мосты на высокоскоростных железнодорожных магистралях: сб. трудов / А. П. Петров: под ред. В. Н. Смирнова. — СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2013. — С. 8–12.
8. Смирнов В. Н. Учет резонансных явлений при проектировании мостов на высокоскоростных железнодорожных магистралях / В. Н. Смирнов, Л. К. Дьяченко // Путь и путевое хозяйство. — 2021. — № 6. — С. 30–33.
9. Смирнов В. Н. Методика определения динамических воздействий подвижного состава на мосты при высокоскоростном движении / В. Н. Смирнов, А. В. Ланг, Н. А. Лабутин // Известия ПГУПС. — 2022. — С. 90–96.
10. Смирнов В. Н. Влияние неровностей пути на вертикальные ускорения при высокоскоростном движении поездов на мостах / В. Н. Смирнов, А. В. Ланг, Н. А. Лабутин // Известия ПГУПС. — 2021. — Вып. 3. — С. 335–339.
11. Смирнов В. Н. Расчет мостов высокоскоростных железнодорожных магистралей на продольные силы: монография / В. Н. Смирнов. — СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2013. — 65 с.
12. Смирнов В. Н. Динамическая работа мостов высокоскоростных железнодорожных магистралей при продольных воздействиях поездной нагрузки: моногра-

фия / В. Н. Смирнов. — СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2013. — 65 с.

13. Смирнов В. Н. Исследование работы мостов с бесстыковым путем / В. Н. Смирнов // Путь и путевое хозяйство. — 2018. — № 4. — С. 15–17.

14. Смирнов В. Н. Взаимодействие бесстыкового пути с мостовыми сооружениями на высокоскоростных магистралях: учебное пособие / В. Н. Смирнов. — М.: ФГБОУ УМЦ ЖДТ, 2015. — 96 с.

15. EN 1991-2 (2003): Eurocode 1: Actions on structures — Part 2: Traffic loads on bridges.

16. СТУ для проектирования, строительства и эксплуатации новой ВСМ «Москва — Санкт-Петербург». Согласованы Минрегиона РФ от 28.07.2009.

17. Специальные технические условия. Сооружения искусственные участка Москва — Казань высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва — Казань — Екатеринбург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству. — СПб., 2014. — 271 с.

Дата поступления: 17.07.2023

Решение о публикации: 25.08.2023

Контактная информация:

СМИРНОВ Владимир Николаевич — д-р техн. наук, проф.; svn193921@rambler.ru

Issues of Design and Construction of Bridge Structures for Domestic High-Speed Railways

V. N. Smirnov

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Smirnov V. N. Issues of Design and Construction of Bridge Structures for Domestic High-Speed Railways // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2023, vol. 20, iss. 3, pp. 645–659. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2023-3-645-659

Summary

Purpose: The purpose is to highlight the state of the issue on the design and construction of domestic bridge structures for high-speed railways (HSR) and to develop proposals for structural and technical solutions for multi-span bridge structures of the overpass type, ensuring the operation of overpasses outside the resonance conditions. **Methods:** The method of analysis of structural and technological solutions of foreign bridge structures on HSR lines and design developments of domestic designers has been used. **Results:** The generalization of the world and domestic experience in the design and construction of the HSR infrastructure given in the article allows us to develop certain recommendations for the design and construction of bridge structures on the HSR in Russia. The relevance of the topic lies in the need to obtain data required for the construction of bridge facilities on the HSR in domestic conditions, since we do not have our own HSR yet. **Practical significance:** The article describes the design features of bridge structures on the HSR, the requirements for artificial structures operating in conditions of high-speed train traffic, describes bridge structures built abroad, as well as project and design developments of domestic design organizations. An assessment is given to some of the bridge facilities of the HSR built in Germany, South Korea, Spain. The high level of unique bridge structures of the HSR built in recent years in China is particularly emphasized. Proposals have been developed for structural and technological solutions of bridge multi-span regular structures in the form of overpasses based on the prevention of resonant effects

in the “train — bridge” system during the movement of rolling stock at high speeds. The conclusion is made about the ability of the domestic bridge community to successfully solve the problems associated with the construction of bridge structures for domestic high-speed railways.

Keywords: High-speed railway, bridge construction, requirements for HSR bridges, multi-span overpass, foreign experience, resonant effect.

References

1. Smirnov V. N., Baranovskiy A. A. et al. *Mosty na vysokoskorostnykh zhelezнодороzhnykh magistralyakh* [Bridges on high-speed railway lines]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2015, 274 p. (In Russian)
2. Benin A. V., D'yachenko L. K., Smirnov V. N. Osobennosti proektirovaniya i stroitel'stva mostov vysokoskorostnoy zhelezнодороzhnoy magistrali “Moskva — Kazan'” [Features of the design and construction of bridges of the Moscow-Kazan high-speed railway line]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg Transport University]. 2015, pp. 15–20. (In Russian)
3. Smirnov V. N., D'yachenko L. K. *Spetsial'nye voprosy proektirovaniya i stroitel'stva transportnykh ob'ektov: kurs lektsiy* [Special issues of design and construction of transport facilities: a course of lectures]. St. Petersburg: FGBOU VO PGUPS Publ., 2019, 140 p. (In Russian)
4. Smirnov V. N. *Osobennosti vysokoskorostnogo dvizheniya zhelezнодороzhnykh ekspressov po mostam. Novye tekhnologii v mostostroenii (ot proshlogo k budushchemu): sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii 2015 goda* [Peculiarities of high-speed movement of railway express trains on bridges. New technologies in bridge building (from the past to the future): Proceedings of the International Scientific and Technical Conference 2015]. St. Petersburg: FGBOU VPO PGUPS Publ., 2015, pp. 50–57. (In Russian)
5. Smirnov V. N., Bogdanov G. I. *Iz istorii razrabotki proekta spetsial'nykh tekhnicheskikh usloviy dlya proektirovaniya mostov na VSM 2 Moskva — Kazan'. Novye tekhnologii v mostostroenii (ot proshlogo k budushchemu): sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii 2015 goda* [From the history of the development of the project of special technical conditions for the design of bridges on the high-speed line 2 Moscow — Kazan. New technologies in bridge building (from the past to the future): collection of works International Scientific and Technical Conference 2015]. St. Petersburg: FGBOU VPO PGUPS Publ., 2015, pp. 57–67. (In Russian)
6. Kiselev I. P., Blazhko L. S., Bushuev N. S. et al.; ed. by I. P. Kiselev. *Vysokoskorostnoy zhelezнодороzhnyy transport. Obshchiy kurs: uchebnoe posobie v 2-kh tomakh* [High-speed rail transport. General course: textbook in 2 volumes]. Moscow, 2014, vol. 1. (In Russian)
7. Petrov A. P.; ed. by V. N. Smirnova. *Osobennosti proektirovaniya mostov na vysokoskorostnykh zhelezнодороzhnykh magistralyakh. Novye tekhnologii v mostostroenii: mosty na vysokoskorostnykh zhelezнодороzhnykh magistralyakh: sb. trudov* [Design features of bridges on high-speed railway lines. New technologies in bridge building: bridges on high-speed railway lines: Sat. Proceedings]. St. Petersburg: Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya Publ., 2013, pp. 8–12. (In Russian)
8. Smirnov V. N., D'yachenko L. K. Uchet rezonansnykh yavleniy pri proektirovanii mostov na vysokoskorostnykh zhelezнодороzhnykh magistralyakh [Accounting for resonance phenomena in the design of bridges on high-speed railway lines]. *Put' i putevoe khozyaystvo* [Way and track management]. 2021, Iss. 6, pp. 30–33. (In Russian)
9. Smirnov V. N., Lang A. V., Labutin N. A. Metodika opredeleniya dinamicheskikh vozdeystviy podvizhnogo sostava na mosty pri vysokoskorostnom dvizhenii [Methods for determining the dynamic effects of rolling stock on bridges during high-speed traffic]. *Izvestiya PGUPS* [Proceedings of Petersburg Transport University]. 2022, pp. 90–96. (In Russian)
10. Smirnov V. N., Lang A. V., Labutin N. A. Vliyanie nerovnostey puti na vertikal'nye uskoreniya pri vysokoskorostnom dvizhenii poezdov na mostakh [Influence of track irregularities on vertical accelerations at high-speed

movement of trains on bridges]. *Izvestiya PGUPS* [Proceedings of Petersburg Transport University]. 2021, Iss. 3, pp. 335–339. (In Russian)

11. Smirnov V. N. *Raschet mostov vysokoskorostnykh zheleznodorozhnykh magistralей na prodol'nye sily: monografiya* [Calculation of bridges of high-speed railway lines for longitudinal forces: monograph]. St. Petersburg: Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya Publ., 2013, 65 p. (In Russian)

12. Smirnov V. N. *Dinamicheskaya rabota mostov vysokoskorostnykh zheleznodorozhnykh magistralей pri prodol'nykh vozdeystviyakh poezdnoy nagruzki: monografiya* [Dynamic operation of bridges of high-speed railway lines under longitudinal effects of a train load: monograph]. St. Petersburg: Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya Publ., 2013, 65 p. (In Russian)

13. Smirnov V. N. *Issledovanie raboty mostov s besstykovym putem* [Research of work of bridges with jointless way]. *Put' i putevoe khozyaystvo* [Way and track economy]. 2018, Iss. 4, pp. 15–17. (In Russian)

14. Smirnov V. N. *Vzaimodeystvie besstykovogo puti s mostovymi sooruzheniyami na vysokoskorostnykh magistralyakh: uchebnoe posobie* [Interaction of a seamless path with bridge structures on high-speed highways: a tutorial]. Moscow: FGBOU UMTs ZhDT Publ., 2015, 96 p. (In Russian)

15. EN 1991-2 (2003): Eurocode 1: Actions on structures — Part 2: Traffic loads on bridges.

16. *STU dlya proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii novoy VSM "Moskva — Sankt-Peterburg"*. *Soglasovany Minregiona RF ot 28.07.2009* [STU for the design, construction and operation of the new Moscow — St. Petersburg high-speed line. Agreed by the Ministry of Regional Development of the Russian Federation on 28.07.2009]. (In Russian)

17. *Spetsial'nye tekhnicheskie usloviya. Sooruzheniya iskusstvennye uchastka Moskva — Kazan' vysokoskorostnoy zheleznodorozhnoy magistrali Moskva — Kazan' — Ekaterinburg. Tekhnicheskie normy i trebovaniya k proektirovaniyu i stroitel'stvu* [Special technical conditions. Artificial structures of the Moscow — Kazan section of the high-speed railway line Moscow — Kazan — Yekaterinburg. Technical norms and requirements for design and construction]. St. Petersburg, 2014, 271 p. (In Russian)

Received: July 17, 2023

Accepted: August 25, 2023

Author's information:

Vladimir N. SMIRNOV — Dr. Sci. in Engineering, Professor; svn193921@rambler.ru