

对莫喀高铁设计文件的审查意见的回复

Ответы на замечания экспертов к проектной документации проекта строительства Москва-Казань ВСМ-2



中国中铁二院工程集团有限责任公司
CHINA RAILWAY ERYUAN ENGINEERING GROUP CO. LTD

5-4-2018

1

关于箱梁构造优化和节省材料用量

Оптимизация разрезных пролетных строений из предварительно-напряженного железобетона и экономика материалоемкости

1. Оптимизация разрезных пролетных строений из предварительно-напряженного железобетона и экономия материалов

莫交大（МИИТ）给出的意见 Замечания экспертов МИИТ

预应力钢筋混凝土简支梁需要优化，优化能在保持移动荷载引起的内部动应力不变化及满足行车舒适性和安全性要求的情况下，降低15-17%的材料用量。节约莫喀高铁经济效益不少于58亿卢布。

Разрезные пролетные строения из предварительно-напряженного железобетона нуждаются в оптимизации, которая может снизить материалоемкость пролетных строений на 15-17% при сохранении неизменными внутренних динамических усилий от подвижной нагрузки и выполнения требований комфорта и безопасности движения. При указанном снижении материалоемкости экономический эффект на ВСМ Москва-Казань составит не менее 5,9 млрд. руб.

CREEC:

- (1) 计算还必须考虑运输和架设梁工况。
- (2) 与中国350km/h无砟轨道箱梁比，梁高约有增加，但增加高度主要是由于排水坡加大造成。
- (3) 理论上说，会有优化空间，但幅度有限，不可能达到降低15-17%的材料用量。

1. При расчете необходимо учесть условия перевозки и установки балок;
2. В связи с уклоном по верху балки равным 3‰, высота балки выше, чем коробчатая балка, применяемая на безбалластных ВСМ со скоростью 350км/ч в Китае;
3. Оптимизация конструкции балки теоретически возможна, но для этого необходимо провести тщательное исследование с учетом всех нагрузок.

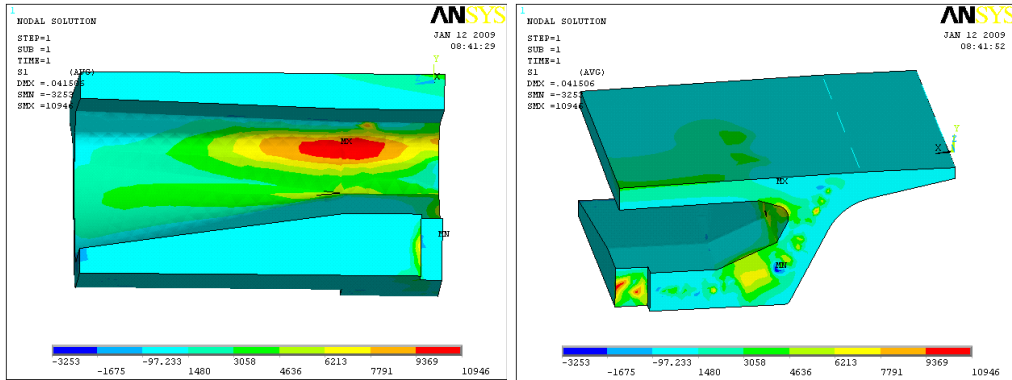
Но также следует отметить, что оптимизация не может составлять 15-17%.

1、关于箱梁构造优化和节省材料用量

1. Оптимизация разрезных пролетных строений из предварительно-напряженного железобетона и экономия материалов

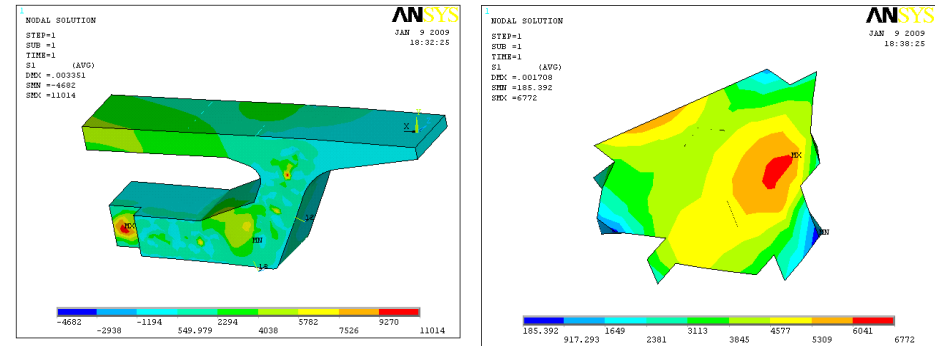
吊梁检算

Перерасчет точки подвески



架梁检算

Перерасчет установки пролетных строений

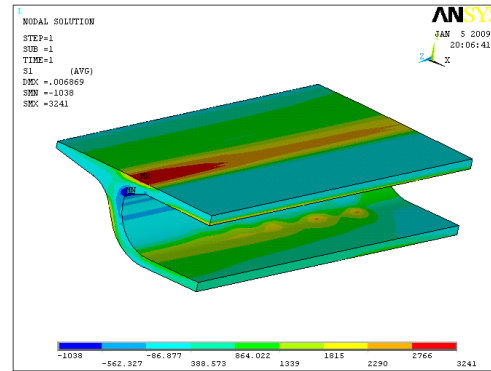
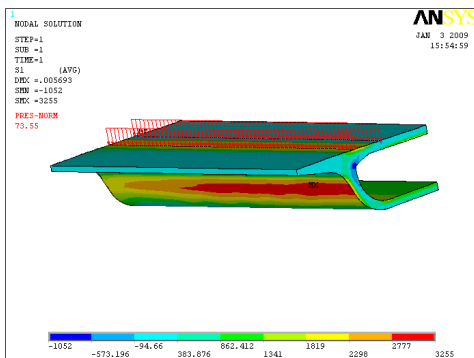


箱梁上桥（提梁上桥、路基便线上桥）、桥上箱梁运输。

Подъем коробчатой балки на мост, перевозка коробчатой балки по мосту

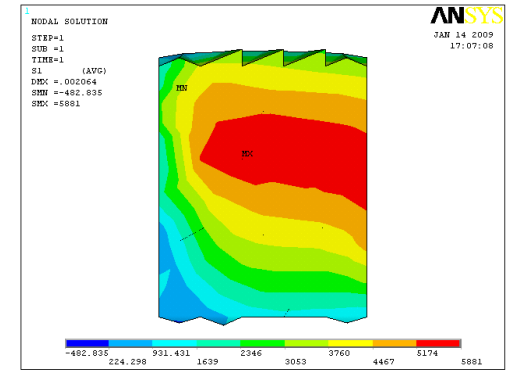
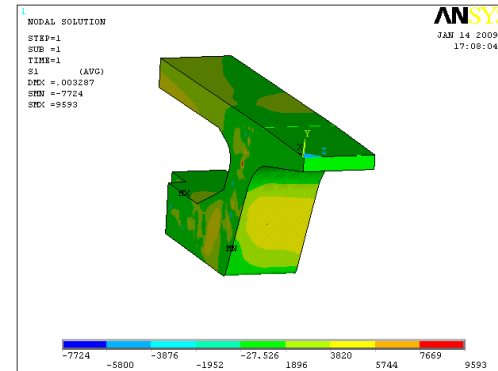
双线荷载

Двухлинейная нагрузка



架桥机落梁、顶梁

Опускание и подъем пролётного строения мостоподъемной машиной



1. Оптимизация разрезных пролетных строений из предварительно-напряженного железобетона и экономия материалов

大桥院：Гипростроймост

因为没有计算，所以无法评估有没有考虑在设计文件编制时所必须考虑的包括通行运输荷载（沿着跨构上安装好的结构运输梁）。

Поскольку расчеты не приведены не представляется возможным оценить были учтены следующие обязательные проверки, влияющие на параметры конструкции, которые учитывались при разработке проектной, в том числе и пропуск монтажной нагрузки (транспортировка балок по смонтированной в пролете конструкции).

统一梁图是针对两种轨道上部结构方案 – 有砟和无砟（根据技术任务书条款）编制的，在施工图阶段针对具体的轨道上部结构的具体工程，无砟轨道段落的材料用量参数将降低，但是15-17%这一参数还是过高。

Балки разработаны унифицированными для двух вариантов конструктивного решения верхнего строения пути – балластный и безбалластный (по условиям Технического задания), на стадии разработки рабочей документации для конкретных объектов с конкретной конструкцией верхнего строения пути показатели по материалоемкости для участков с безбалластной конструкцией пути будут снижены, однако и для этого случая показатель снижения 15-17% представляется завышенным

大桥院还确认，结构材料用量降低的可能性应该依据无砟轨道段落的34.2m跨构的优化。应该在施工图阶段实施这一可能的优化，并考虑高铁上运行列车的实际参数（特殊技术条款有考虑这一必要的规范）。

Институт Гипростроймост также подтверждает, что наибольшую потенциальную возможность снижения материалоемкости конструкций, следует рассматривать за счет оптимизации конструкций пролетных строений 34,2 м, на участках только с безбалластной конструкцией пути. Реализовывать такую возможность следует на стадии разработки рабочей документации, учитывая реальные параметры обращающихся на ВСМ поездов (данная обязательная норма учтена нормами СТУ).

知识

Contents

2

关于频率和稳定性

Частота и устойчивость

莫交大（МИИТ）给出的意见 Замечания экспертов МИИТ

23.6及50m的跨构不完全符合特殊技术条款4的要求，因为23.6m的跨构有扭曲的第一频率，而不是弯曲形式的，50m的跨构有过大的第二（扭曲）自振频率，比第一（弯曲）模型大1.08倍（原来是1.2）。50m跨构的列车共振弯曲和扭曲模型临界速度分别为280.8和294.6km/h，这比计算速度低。甚至在一列火车通过时该跨构也会出现扭曲振动的共振，这会引起轨道上车轮的稳定性问题。

Пролетные строения 23,6 м и 50 м, по нашему мнению, не в полной мере соответствуют требованиям СТУ4, т.к. пролетное строение 23,6 м имеет первую частоту по крутильной, а не изгибной форме, а пролетное строение 50м имеет чрезмерно близкую вторую (крутильную) частоту собственных колебаний, отличаясь от первой (изгибной) формы в 1.08 раза (вместо 1.2). Для пролетного строения 50м критические скорости поезда по изгибной и крутильной форме резонансных колебаний составляют 280,8 и 294,6 км/ч, что меньше расчетной скорости. Для этого пролетного строения резонанс по крутильным колебаниям возникнет при проходе даже одного поезда, что вызовет проблемы с устойчивостью колеса на рельсе.

CREEC:

(1) 高速铁路路线顺直，轨道平顺，加之规范对竖向刚度、横向刚度、扭曲变形、脱轨系数、轮重减载率均有限值要求，即便是扭曲振型先于竖向振型出现，也不可能出现稳定性要求。

(2) 共振是允许的，但共振速度下对桥梁的最大竖向加速度不应大于 5m/s^2 ，且梁体强度必须满足该冲击力的受力要求。

(3) 中国规范对非箱型截面有 $f_{1t} > 1.2f_1$ 的规定要求，而莫喀高铁标准梁为箱型截面，可不受此条限制。中国规范没有自振频率上限要求（ $f_{1\text{max}}$ ），同意按莫交大意见研究修改特殊技术条款。[根据中方计算结果，23.6、34.2、50m梁竖向自振频率满足上限要求（ $f_{1\text{max}}$ ）规定。]

1. Путь ВСМ прямой, геометрия пути регулируется на очень качественном уровне, и в СТУ предусмотрены предельные значения вертикальной и поперечной жесткости, кручения и деформации, коэффициента схода с рельса, обезгруживания колес высокоскоростных поездов. Поэтому невозможно вызвать проблемы с устойчивостью колеса на рельсе, даже при возникновении кручения раньше, чем вертикального колебания.

2. Резонанс допускается, но при резонансной скорости максимальное вертикальное ускорение должно быть не больше 5 м/с^2 , прочность тела балки должна соответствовать требованию к усилию от данной силы удара.

3. В китайских нормах установлены требования к не коробчатому сечению балки - $f_{1t} > 1.2f_1$, но применяемые на ВСМ-2 балки с коробчатым сечением могут не учитывать этих требований. Требования по ограничению диапазона первых собственных частот колебаний пролётного строения ($f_{1\text{max}}$) отсутствуют в китайских нормах. Мы согласны внести корректировку в СТУ-4 согласно замечаниями МИИТ. (По результатам расчетов китайских коллег вертикальная собственная частота колебаний пролетных строений длиной 23,6м, 34,2м, 50,0м соответствует указанным требованиям ($f_{1\text{max}}$)).

大桥院：Гипростроймост:

大桥院同意二院结论，并确认，实际上这些梁的扭曲振动频率比理论值低。欧洲标准没有规定 $f_{\text{扭曲}} / f_{\text{弯曲}} < 1.2$ ，但在这种情况下应根据振动扭曲模型进行动力计算。欧洲标准也是这么规定的。大桥院承认，特殊技术条款的俄罗斯国家标准还需要修订和发展。

同时，特殊技术条款的缺点可以用无法细化规范来解释，因为在俄罗斯联邦缺乏实际的高速列车荷载下人工构筑物实验及运营的必要资料。二院专家根据中国标准完成的检查计算证实了结构与规范相符合，在施工图阶段收到必要的初始资料后可以验证这一点，根据结合扭曲模式的计算结果不需要修改跨构结构。

Институт Гипростроймост согласен с выводами ЭР Юань и подтверждает, что действительно, частоты крутильных колебаний для данных балок ниже теоретических, что объясняется отсутствием опорных диафрагм. Еврокод не запрещает $f_{\text{кр}} / f_{\text{изг}} < 1.2$, но в этом случае необходим динамический расчет с учетом крутильных форм колебаний. Именно такой подход предусматривается нормами EN. В тоже время нормы EN для детального расчета отправляют к национальным стандартам, в которых содержатся конкретные показатели, в том числе и по подвижному составу. Институт Гипростроймост признает, что российская национальная норма СТУ несовершенна и подлежит доработке и развитию.

В тоже время, недостатки СТУ объясняются невозможностью детализации нормы, поскольку в Российской Федерации отсутствует необходимые данные по испытаниям и эксплуатации искусственных сооружений под нагрузками от реальных высокоскоростных поездов. Выполненные поверочные расчеты специалистами ЭР Юань по нормам КНР подтверждают соответствие конструкций данным нормам и это позволяет ожидать что после получения необходимых исходных данных на стадии разработки рабочей документации, по результатам расчета с учетом крутильных форм не потребуется вносить изменения в конструкции пролетных строений.

知识

Contents

3

关于共振
Резонанс

莫交大（МИИТ）给出的意见 **Замечания экспертов МИИТ**

特殊技术条款4第6.4.15条需要修改，因为在车轮与轨道间的竖向应力为0时满足该条关于控制车轮卸载的要求，这会导致轮对脱离。竖向应力的零值是有可能的，例如，在50m跨构出现共振时。根据全俄铁道运输科学研究院及莫交大的研究竖向应力的规范瞬时最低值在23,8 – 26,6 kN范围内。为确定上述规范值和最小应力计算值的可靠系数进行补充研究是合理的。

П. 6.4.15 СТУ4 нуждается в изменении, поскольку требования этого пункта по контролю «обезгруживания» колес выполняются и при вертикальном усилии между колесом и рельсом равном 0, что ведет к сходу колесной пары. Нулевые значения вертикального усилия возможны, например, при резонансных колебаниях пролетного строения 50м. Согласно исследованиям ВНИИЖТ (ВЭИП) и МИИТ нормативный мгновенный минимум вертикального усилия находится в диапазоне 23,8 – 26,6 кН. Целесообразно проведение дополнительных исследований для определения коэффициентов надежности к указанному нормативному значению и расчетного значения минимального усилия.

CREEC:

与中国规范相同，特殊技术条款4第6.4.15条对最高速度下轮重减载率做了限制，即 $\Delta P/P \leq 0.6$ ，因此不可能出现竖向力0的情况。根据中方的检算，车速达到420km/h，也不可能出现。因此可以不修改特殊技术条款4第6.4.15条。

В П. 6.4.15 СТУ-4 ограничено предельное обезгруживание колес высокоскоростных поездов $-\Delta P/P \leq 0.6$, поэтому нулевые значения вертикального усилия невозможны. По результатам расчетов китайских коллег, даже при скорости движения поезда до 420км/ч нулевые значения вертикального усилия невозможны. Таким образом, можно не корректировать П. 6.4.15 СТУ-4.

大桥院： Гипростроймост

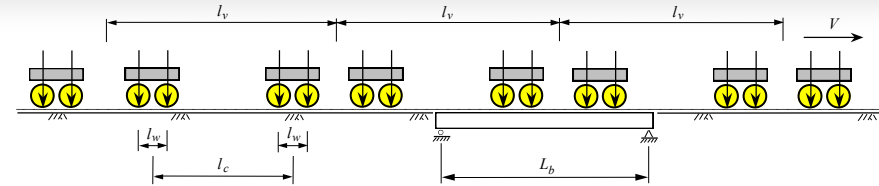
大桥院确认在特殊技术条款的该条中有不准确（笔误），在说明中 ΔP 参数作为最小的力不可能等于零。关于6.4.15条规范的使用说明告知了所有设计参与者，在编制的规范汇编中会进行必要的订正。特殊技术条款规范条款条文的不准确不影响设计方案，文件也不需要修改。二院同事的上述结论也证实了这一点。

Институт Гипростроймост подтверждает, что в данном пункте СТУ допущена неточность (описка) в разъяснении показателя ΔP как минимальной силы, которое не может быть равной нулевому значению. Для всех участников проектирования разъяснения по применению нормы п. 6.4.15 доведены, в разработанной редакции свода правил необходимые уточнения внесены. Данная неточность в формулировке положения нормы СТУ не повлияла на проектные решения и корректировка документации не требуется. Это подтверждается и заключением коллег Эр Юань, приведенным выше.

3、关于共振

3. Резонанс

$$EI \frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4} + \bar{m} \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} = \sum_{k=0}^{N-1} \delta \left[x - V \left(t - \frac{k \cdot d_v}{V} \right) \right] P$$



Длина промежуточный вагона по осям сцепки: 25,65 м
Длина головного вагона по осям сцепок: 27,1 м

沿联结轴的中间车厢长度：25.65米
沿联结轴的先头车厢长度：27.1米

1 (1) $V_{br} = \frac{3.6 \cdot f_{bn} \cdot d_v}{i} \quad (n=1,2,3, \dots) \quad (i=1,2,3, \dots)$

$$V_{br1} = \frac{3.6 \cdot f_{bn} \cdot d_v}{i} = \frac{3.6 \times 7.81 \times 26.0}{1} \approx 731 \text{ km/h}$$

$$V_{br1} = \frac{3.6 \cdot f_{bn} \cdot d_v}{i} = \frac{3.6 \times 6.24 \times 26.0}{1} \approx 584 \text{ km/h}$$

(2) $V_{br} = \frac{7.2 \cdot f_{bn} \cdot L_b}{n} \quad (n=1, 2, 3, \dots)$

$$V_{br1} = \frac{3.6 \cdot f_{bn} \cdot d_v}{i} = \frac{7.2 \times 7.81 \times 24.0}{1} \approx 1350 \text{ km/h}$$

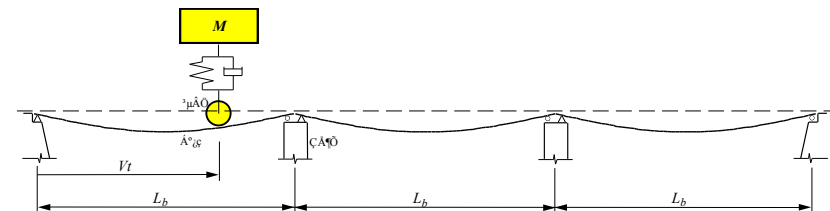
$$V_{br1} = \frac{3.6 \cdot f_{bn} \cdot d_v}{i} = \frac{7.2 \times 6.24 \times 24.0}{1} \approx 1078 \text{ km/h}$$

2 $V_{br} = \frac{3.6 \cdot f_{bn} \cdot L_s}{i} \quad (n=1,2,3, \dots) \quad (i=1,2,3, \dots)$

$$V_{vr} = 3.6 \cdot f_v \cdot L_b$$

$$f_v = 0.8 \sim 1.5 \text{ Hz}$$

$$V_{vr} = 69 \sim 129 \text{ km/h}$$



引起车桥系统共振的因素包括：

факторы, вызывающие резонанс поезд-мост:

- 1、移动荷载列间距 расстояние между подвижными нагрузками
- 2、荷载列移动速度 скорость движения подвижных составов
- 3、轨道不平顺 неплавность рельса

由移动荷载列的周期性加载引起的桥梁共振

Резонанс моста, вызванный периодической загрузкой подвижных нагрузок

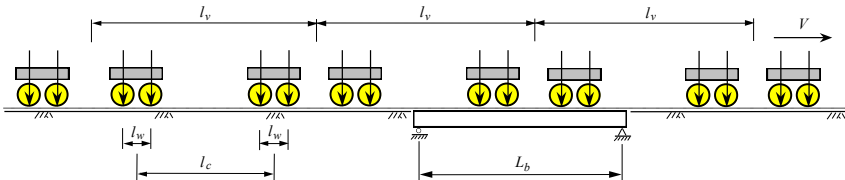
京沪高速铁路24m简支梁的一阶竖向频率是6.55Hz，动车组列车的车辆长度都在26m左右，产生共振的列车车速可以由下式进行估算：

Первая вертикальная частота разрезного пролетного строения длиной 24м на ВСМ Пекин – Шанхай составляет 6.55 Гц. Длина мотор-вагонного поезда – около 26м. Резонансная скорость поезда возможно рассчитана по следующей формуле:

$$V_{br1} = \frac{3.6 \cdot f_{bn} \cdot d_v}{i} = \frac{3.6 \times 6.55 \times 26.0}{1} \approx 613 \text{ km/h}$$

列车通过时，在不同的速度会使桥梁产生相应模态或其谐波的共振，形成一系列的共振临界车速，而且不同车速引起的桥梁响应程度也不一样。因此，准确的共振分析通常需要按照实际列车编组和轴重排列情况通过车桥系统仿真计算完成。

При прохождении поезда разная скорость движения поезда вызывает соответствующий гармонический резонанс моста, сформировав ряд резонансных предельных скоростей. Реакция моста, вызванная разной скоростью движения поезда, тоже неодинакова. В связи с этим точный резонансный анализ обычно выполняется с помощью моделирования взаимодействия поезд- мост, учитывая фактическое формирование поездов и расстановку нагрузок от колесной пары на рельсы.



知识

Contents

4

关于行车舒适性
Комфортность

莫交大（МИИТ）给出的意见 Замечания экспертов МИИТ

需要重新审查特殊技术条款4第6.4.14条，按照舒适标准允许车体内的加速度达到 1.45m/s^2 。根据欧洲标准舒适度评价比“良好”更差。同时特殊技术条款1要求限制舒适度标准的车体加速度至 $0.3\text{-}0.4\text{ m/s}^2$ 。特殊技术条款4第6.4.14条与欧洲标准相矛盾，欧洲标准要求根据舒适度限制人行天桥的加速度至 0.7 m/s^2 。

Нуждается в пересмотре п. 6.4.14 СТУ-4, который допускает ускорения в кузове по критерию комфорта до $1,45\text{м/с}^2$, что соответствует оценке комфорта согласно европейским нормам хуже “хорошего”. При этом СТУ-1 требует ограничения ускорений в кузове по критерию комфорта до $0,3\text{-}0,4\text{ м/с}^2$. П. 6.4.14 СТУ-4 противоречит и европейским нормам, которые требуют ограничивать по комфорту ускорения пешеходных мостов до 0.7 м/с^2 .

CREECS:

特殊技术条款4第6.4.14条与中国规范相近。中国规范规定车体竖向加速度不应大于 1.3 m/s^2 ，车体横向加速度不应大于 1.0 m/s^2 ，不同车辆可能舒适度不同。中铁二院对ICE3、400km动车组、HSLM-A1、HSLM-A2、HSLM-A3、AVE、THALYS、EUROSTAR 373-1、EP200、BC1十种车型均作了动力计算，舒适度均满足至少“合格”的要求。

п. 6.4.14 СТУ4 похож на китайские нормы. В китайских нормах предусматривается, что вертикальное ускорение в кузове $\leq 1.3\text{ м/с}^2$, а поперечное ускорение $\leq 1.0\text{ м/с}^2$, комфорт разных типов поезда возможно разный. CREEC провел расчеты для десятки типов поезда, как ICE3, мотор-вагонных поездов со скоростью 400км/ч , AVE, THALYS, EUROSTAR 373-1, EP200, BC, что соответствует оценке комфорта “хорошего”.

大桥院：Гипростроймост

特殊技术条款4的该部分目前不需要修改。为消除特殊技术条款1和4关于舒适性标准的异文，应该在高铁机车车辆设计框架下进行必要的工作。同时认为，标准跨构的舒适性标准不应该与高铁线路平面和纵断面联系在一起。

По мнению института СТУ-4 в данной части в настоящее время не нуждается в изменении. Для устранения разночтений положений СТУ 1 и СТУ4 по критерию комфортности также следует вести необходимую работу в рамках проектирования подвижного состава для ВСМ. В тоже время, представляется, что для типовых пролетных строений критерий комфортности, не следует привязывать к плану и профилю пути ВСМ..

知识

Contents

4

总结
Заключение

专家意见涉及到特殊技术条款-4和特殊技术条款-1，也涉及到高铁统一跨构设计文件。这些意见总体上就是纯理论性质的，主要涉及两个方面：优化跨构问题（为降低材料总量）和高铁列车内乘客的安全性及舒适性问题。同时没有提交任何确认意见中结论的计算资料。

Замечания эксперта касаются как норм, изложенных в СТУ-4 и СТУ-1, так и проектной документации унифицированных пролетных строений для ВСМ. Эти замечания носят общий чисто теоретический характер и касаются, в основном, двух аспектов: вопросов оптимизации пролетных строений (с целью снижения их материалоемкости) и вопросов безопасности и комфорта пассажиров в поезде на ВСМ. При этом никаких расчетных материалов, подтверждающих выводы, изложенные в замечаниях, представлено не было.

关于统一跨构优化，这一提法是合理的，并且毫无疑问在跨构的施工图阶段将进行优化。专家提出的优化将降低材料用量15-17%，并节省59亿卢布，这一结论完全不现实，没有考虑跨构的实际设计和计算实践，以及包括生产、运输及安装阶段在内的所有影响跨构的因素及荷载。

Что касается вопросов оптимизации унифицированных пролетных строений, то сама по себе их постановка абсолютно правомерна, и она безусловно будет производиться на стадии разработки рабочей документации на пролетные строения. Возражение же вызывает вывод эксперта, о том, что при оптимизации возможно будет добиться снижения материалоемкости на 15-17% и экономии 5,9 млрд. р. Этот вывод абсолютно не реален, он не учитывает практику реального проектирования и расчетов пролетных строений, с учетом всех факторов и нагрузок, воздействующих на них, в том числе на стадиях производства, транспортировки и монтажа.

高铁列车内乘客安全性问题主要涉及跨构扭曲振动。根据专家的计算，其极限值超出了特殊技术条款4第6.3.14条规定的范围。特殊技术条款中的这一范围是根据欧洲所采用的类似规范确定的。同时欧洲规范允许当 $f_{кр} \text{扭曲} / f_{изг} \text{弯曲} < 1.2$ 时可以不执行条款，但在这种情况下必须结合振动扭曲模型进行动力计算。特殊技术条款也采用了类似的规范，这些计算将在施工图阶段提交。

Вопросы безопасности пассажиров в поездах ВСМ, касались в основном крутильных колебаний пролетных строений, предельные значения которых по расчетам эксперта выходят за рамки, установленные п. 6.3.14 СТУ-4. Эти рамки в СТУ были установлены аналогично нормам, принятым в Еврокодах. При этом Еврокод допускает возможность не выполнения условия, когда $f_{кр} / f_{изг} < 1.2$, но в этом случае необходим динамический расчет с учетом крутильных форм колебаний. Аналогичная норма принята и в СТУ-4 и на стадии рабочей документации такие расчеты будут выполнены.

专家关于高铁列车内乘客舒适性的问题涉及车厢内加速度限制值 1.45 m/s^2 ，这与特殊技术条款1第6.1.2条针对线路凸形及凹形竖曲线规定的更严厉的加速度限制 0.3 和 0.4 m/s^2 相矛盾。

Вопросы эксперта по комфортности пассажиров в поездах ВСМ касались ограничения ускорения в кузове (вагоне) величиной $1,45 \text{ м/с}^2$, которое противоречит жесточайшим ограничениям ускорений $0,3$ и $0,4 \text{ м/с}^2$, устанавливаемым в п. 6.1.2 СТУ-1, для выпуклых и вогнутых вертикальных кривых пути.

中铁二院和大桥院认为：特殊技术条款4是完整的规范文件，在必要时将对其进行修改。因此我们感谢任何完善特殊技术条款的结构性意见及意见。在规范汇编《铁路线路人工构筑物.设计和施工规范》方案中已经修改了很多特殊技术条款4的不准确及缺陷。

СРЕЕС и Институт Гипростроймост признает, что СТУ-4 не является совершенным нормативным документом, и его, по мере необходимости, придется корректировать. Поэтому мы благодарны за любые конструктивные замечания и предложения по его совершенствованию. Многие неточности и недоработки СТУ-4 уже исправлены в проекте СП «Сооружения искусственные высокоскоростных железнодорожных линий. Правила проектирования и строительства».

中铁二院和大桥院感谢莫交大专家对特殊技术条款-4和设计文件给出的评估。

СРЕЕС и Институт Гипростроймост благодарен экспертам МИИТ, которые дали свою оценку, как собственно СТУ-4 и проектной документации ИССО.

Спасибо !



中国中铁二院工程集团有限责任公司

CHINA RAILWAY ERYUAN ENGINEERING GROUP CO. LTD