

THE AREA OF RATIONAL USE OF BRIDGES OF VARIOUS TYPES FOR HIGH-SPEED HIGHWAYS

Yaxshiyev E.T.

Tashkent state transport university

Ismailova G.B.

Tashkent state transport university

Zokirov F.Z.

Tashkent state transport university

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7091887>

Abstract. Based on the analysis of the rational use of bridge structures of various types for high-speed railways, the dependences of the parameters of artificial structures, both in climatic and regional conditions, were obtained. The types of reinforced concrete bridge structures, their technical parameters and corresponding characteristics with an increase in speed due to an increase in dynamic loads are considered. For reasons of construction technology, as well as maintenance, the use of a through method for the construction of ballast less tracks from a free site along the bridge was revealed, without changing the method of construction.

Keywords: bridge construction, metal bridge, steel-reinforced concrete, reinforced concrete, superstructure, ballast, ballast less, strength, rigidity, frame, arched, girder.

ОБЛАСТЬ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МОСТОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПОД СКОРОСТНЫХ И ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЯХ

Аннотация. На основании анализа рационального применения мостовых сооружений различного типа под высокоскоростные железнодорожные магистрали, получены зависимости параметров искусственных сооружений, как по климатическим, так и по региональным условиям. Рассмотрены типы железобетонных мостовых сооружений, их технические параметры и соответствующие характеристики при увеличении скорости в связи с возрастанием динамических нагрузок. По соображениям технологии строительства, а также технического обслуживания выявлено применение сквозного способа сооружения безбалластных путей от свободного участка по мосту, не меняя способ сооружения.

Ключевые слова: мостостроение, металлический мост, сталежелезобетонный, железобетонный, пролётное строение, балластный, безбалластный, прочность, жёсткость, рама, арочный, балочный.

ВВЕДЕНИЕ

В мостостроении немаловажное место занимает вопрос температурного интервала и условия внешней среды, а именно, при каких погодных и температурных условиях будет эксплуатироваться рассматриваемое мостовое сооружение. Эти факторы оказывают существенное влияние на прочность и срок службы мостов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При расчете конструкций незащищенных от воздействий солнечной радиации КМК 2.01.01-94 рекомендует средние суточные температуры наружного воздуха в теплое (теw) и холодное (тес) время года определять по формулам:

$$t_{ew} = t_{vII} + \Delta_{vII} \quad (1)$$

$$t_{ec} = t_I + \Delta_I \quad (2)$$

где: t_I , t_{vII} - многолетние средние месячные температуры воздуха в январе и июле месяц, для Узбекистана соответственно - 15°C и 45°C :

Δ_I , Δ_{vII} - отклонение средних суточных температур от средних месячных, для Узбекистана $\Delta_I = 10^{\circ}\text{C}$. $\Delta_{vII} = 6^{\circ}\text{C}$.

Общая закономерность изменения температуры воздуха за период наблюдений совпадает с закономерностью изменений среднемесячной температурой воздуха по КМК 2.01.01.- 94 (рис. 1).

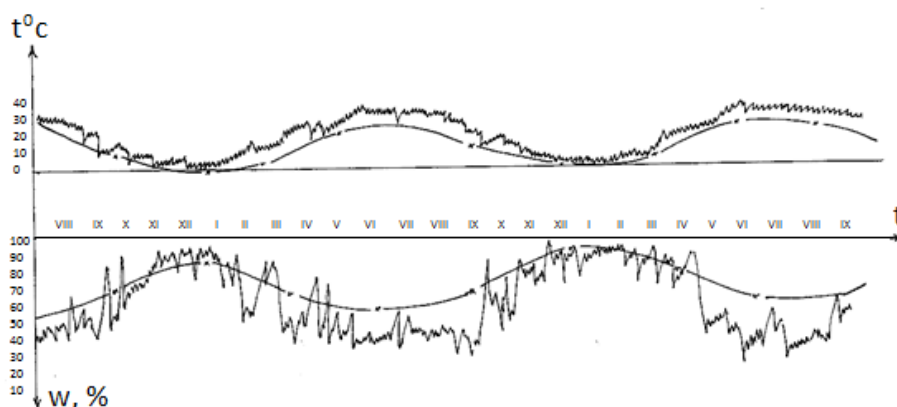


Рис. 1. Изменение температуры и влажности воздуха: 1-фактическая температура, $^{\circ}\text{C}$ и влажность воздуха в %; 2 - среднемесячные изменения температуры и влажности воздуха по КМК 2.01.01.-94.

Узбекистан, известный своим резко континентальным климатом, что говорит о большом температурном интервале от -20 до $+55$ $^{\circ}\text{C}$, имеет на своём счету порядка 900 мостовых сооружений, отвечающих вышеперечисленным условиям. Из них 40% мостов являются железнодорожными. Большую часть (90%) железнодорожных мостов Узбекистана составляют железобетонные мосты, остальные 10 % занимают металлические и сталежелезобетонные мосты. Количественное преимущество железобетонных мостов объясняется конструктивной жёсткостью и долговечностью по сравнению с металлическими и сталежелезобетонными мостами. Возникающие температурные деформации железобетонного элемента при этом можно вычислять по формуле:

$$\varepsilon_{bt} = \alpha_{bt}(t_b - t_b) \quad (3)$$

где α_{bt} - коэффициент температурной деформации бетона;

t'_b и t_b - температуры бетона соответственно в наиболее жаркое и холодное время.

По данным опытов можно отметить, что от повышения температуры железобетонный элемент удлиняется на некоторую величину, которая меньше, чем удлинения арматуры. Деформации железобетонного элемента в таких условиях близки к деформациям бетона. Согласно "Рекомендациям по проектированию бетонных и железобетонных конструкций для жаркого климата" удлинение оси элемента и ее кривизну $(l/r)t$ от нагревания до расчетной летней температуры наружного воздуха

определяют как для бетонного элемента соответственно по формулам:

$$\varepsilon_t = \Delta t_w \cdot \alpha_{bt} \cdot \gamma_t \quad (4)$$

$$(1/r)_t = \frac{v_w \cdot \alpha_{bt}}{h} \gamma_t \quad (5)$$

При расчете железобетонных конструкций для длительного повременного нагрева до расчетной летней и охлаждения до расчетной зимней температуры наружного воздуха изменение длины оси элемента δt_{cs} и ее кривизну $(1/r)_t$ под воздействием температуры и усадки бетона определяют: - в теплое время года соответственно по формуле:

$$\varepsilon_{t,cs} = (\Delta t_w \cdot \alpha_{bt} - \varepsilon_{cx}) \cdot \gamma_t \quad (6)$$

- в холодное время года соответственно по формуле

$$\varepsilon_{t,cs} = (\Delta t'_w \cdot \alpha_{bt} - \varepsilon_{cx}) \cdot \gamma_t \quad (7)$$

где Δt_w - нормативное изменение во времени средней по сечению элемента температуры в теплое время года.

$\Delta t'_w$ - тоже в холодное время года;

α_{bt} - коэффициент температурной деформации бетона;

ε_{cx} - укорочение оси элемента от усадки бетона.

На рис. 2. показаны различные системы железобетонных мостов, используемых в условиях республики Узбекистан.

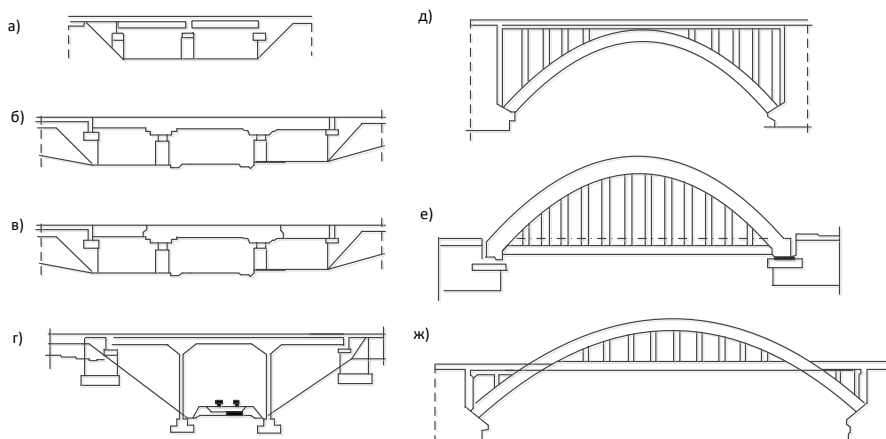


Рис.2 Железобетонные мосты различных систем:

а — балочные разрезные; б — неразрезные; в — консольные; г — рамные; д — арочные с ездой поверху; е — с ездой понизу; ж — с ездой посередине

Среди железобетонных мостов наиболее многочисленны балочные малых и средних пролетов. Наряду с разрезными (рис. 2,а) распространены, хотя и менее, неразрезные и консольные пролетные строения (рис. 2, б и в) с целью увеличения пролетов при минимальной строительной высоте балок.

Уменьшение строительной высоты достигается также применением рамных мостов (рис. 2, г). В них опоры составляют одно целое с пролетным строением, благодаря чему уменьшается не только высота пролетного строения, но и толщина опор.

Балочные и рамные мосты с увеличением пролетов получают все более громоздкими и неэкономичными. Устройство ферм вместо балок сокращает расход материалов и снижает массу пролетных строений, но сложнее. Разрабатывались проекты различных пролетных строений с фермами для пролетов 33—110 м. Некоторые из них пролетом до 66 м осуществлены и эксплуатируются, но распространения не получили, уступая сталежелезобетонным пролетным строениям.

Большие пролеты до 200 м и более в железобетонных мостах перекрывают арочными пролетными строениями (рис. 2, д, е, ж) с ездой поверху, понизу и посередине.

Во всех мостах перечисленных видов, исключая рамные, опоры сооружают каменные, бетонные, в том числе с использованием железобетона для подферменников, подферменных плит, свай и ростверков, а также целиком железобетонные.

В рамных мостах из железобетона выполнены и сами опоры, поскольку они составляют одно целое с пролетными строениями. Железобетонные опоры широко применяют для путепроводов, где по условиям подмостового проезда, как правило, недопустима большая толщина опор, неизбежная при бетонной и бутовой кладке из-за их малого сопротивления растяжению [1]. По своим техническим особенностям железобетонные мосты принимаются балластными (рис. 3) и безбалластными (рис. 5). Опыт эксплуатации мостовых сооружений показывает, что стабильность пути на мосту и подходах при мостовом полотне с ездой на балласте выше, чем при безбалластном. По сравнению с подходами, жесткость пути на мосту с ездой на балласте выше в среднем в 1,5 раза и более чем в 2,5 раза при езде по железобетонным плитам безбалластного мостового полотна (БМП). Тем не менее, стабильность пути на подходах к мостам с безбалластным полотном может быть обеспечена при наличии участков переменной жесткости.

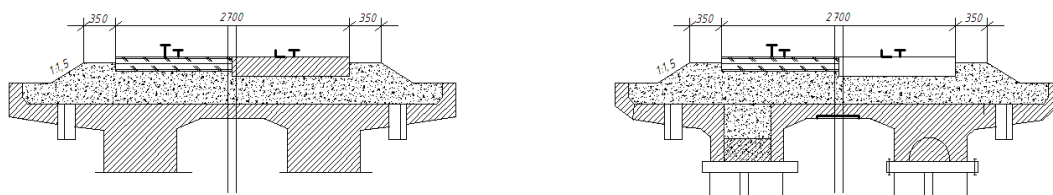


Рис. 3 Типы конструкций мостового полотна железнодорожных мостов:

а – на железобетонных пролетных строениях с ездой на балласте и деревянных шпалах; б – то же на железобетонных шпалах

Мостовое сооружение, объединенное бесстыковым путем, работает как единая система мост – бесстыковой путь (МБП), причем элементы системы активно взаимодействуют между собой, чем достигается перераспределение усилий внутри системы, зависящее как от параметров её элементов, так и от характера связи между ними.

Мост как основание для бесстыкового пути существенно отличается от земляного полотна повышенной деформативностью конструкций под действием внешних факторов (температурных и силовых), вследствие чего в рельсах пути на мосту появляются дополнительные усилия, отсутствующие в рельсах бесстыкового пути на земляном полотне.

Напряжённое состояние рельсов вне моста определяется, как известно, сосредоточенными давлениями колёс подвижного состава и возникающими температурными силами вследствие изменения температуры рельса в зависимости от

температуры закрепления плети на шпалах до текущей температуры. Указанные продольные усилия в рельсах бесстыкового пути относятся к основным.

Дополнительные усилия в рельсах бесстыкового пути на мосту в основном обусловлены:

- деформативностью мостовых конструкций вследствие изменений температуры окружающего воздуха;
- деформативностью мостовых конструкций под действием временных вертикальных нагрузок;
- горизонтальными воздействиями поездной нагрузки вдоль оси пути (силами тяги или торможения).

Рассмотрим подробнее факторы, вызывающие появление напряжений в рельсах в период эксплуатации бесстыкового пути на мосту. Это, прежде всего факторы, общие для пути на земляном полотне и на мосту.

Изменение температуры рельсовой плети от температуры закрепления рельса на шпалах t_3 до текущей температуры t (в интервале Δt_p). В этом случае температурные осевые напряжения σ_t можно определить зависимости:

$$\sigma_t = \alpha_t \cdot E \cdot \Delta t_p, \quad (8)$$

где α_t – коэффициент температурного расширения;

E – модуль упругости стали.

В нормах на укладку и содержание бесстыкового пути приведены наибольшие и наименьшие значения температур рельсов, возможные для различных регионов Узбекистана. (соответственно $t_{\max \max}$ и $t_{\min \min}$), тогда

$$\Delta t_p = t_{\max \max} - t_3; \Delta t_p = t_3 - t_{\min \min}, \quad (9)$$

При отсутствии отступлений от норм содержания рельсовой колеи прохождение высокоскоростным поездом мостов не оказывает влияния на плавность его хода. Динамическая добавка к напряжениям в элементах моста независимо от рода езды находится на уровне нормативной величины.

В случае с нагрузкой от температуры, который, как правило, вызывает большие смещения (свыше 0,5 мм или, соотв., 2 мм), щебеночный балластный слой на мосту проваливается на многих участках. При этом расчетные нагрузки от температуры, торможения и прогиба рассчитываются и налагаются соответственно каждый для себя с нагруженным или, соотв., ненагруженным щебеночным балластным слоем. На самом же деле при нагрузках от торможения (и прогибания) в результате движения транспорта ненагруженное состояние сменяется нагруженным состоянием. При этом напряжения в рельсах иногда получают завышенную оценку, а усилия на опоре тем не менее не всегда учитываются так, как это соответствует действительности. Тем самым верхнее строение пути не включается в отвод нагрузок, а опоры испытывают повышенную нагрузку. Стальные массивные мосты без уравнильных стыков рельса возможны и при более высоких параметрах абсолютной деформации растяжения. Сведения о максимальной абсолютной деформации растяжения (60 м для стальных мостов, 90 м для бетонных и комбинированных мостов) представляют собой зарекомендовавшие себя на практике значения, которые должны надежно учесть факторы влияния, обусловленные температурой, троганием с места и торможением, а также, естественно, и конструкцией

пролетного строения (конструктивная высота, выступ строительного сооружения) наряду с различными параметрами рельса.

РЕЗУЛЬТАТЫ

За счет точного ведения документации о подтверждении соответствия требованиям возможно отказаться от уравнильных стыков рельса и на длинных мостах. Как правило, здесь возможно обеспечить дополнительную длину порядка от 12 до 20 %.

Вместе с тем содержание пути в требуемых показателях перед мостами с безбалластным полотном включает большую долю ручного труда. При этом отметки головки рельса на мосту с плитами БМП жестко зафиксированы, что затрудняет выравнивание пути на подходах. При езде на балласте обслуживание пути на мосту и подходах может производиться в едином технологическом комплексе [3].

Основным преимуществом балластного пролётного строения является то, что верхнее строение пути и мост работают как одна система. Это проявляется равномерным распространением динамической нагрузки по сравнению с БМП. Однако статическая нагрузка является недостатком данной конструкции.

Безбалластное мостовое полотно на железобетонных плитах предназначено для применения на металлических пролетных строениях эксплуатируемых и вновь строящихся железнодорожных мостов, расположенных на прямых участках пути с уклоном 8‰ и менее в районах с расчетной сейсмичностью не более 7 баллов [2].

Безбалластное мостовое полотно на железобетонных плитах обладает высокой стабильностью положения элементов, имеет длительный срок службы, предохраняет от загрязнения и коррозии верхние пояса балок и связи между ними, дает возможность заменять мостовое полотно на деревянных поперечинах без подъема или опускания пути на подходах, обеспечивает безопасный проход по мосту колесных пар в случае схода с рельсов, является экономичным по суммарной стоимости изготовления, укладки и эксплуатации в течение срока службы моста.

На эксплуатируемых мостах безбалластное мостовое полотно на железобетонных плитах целесообразно укладывать вместо полотна на деревянных поперечинах при его сплошной смене, если в течение ближайших 10-15 лет не предполагается замена пролетного строения [4].

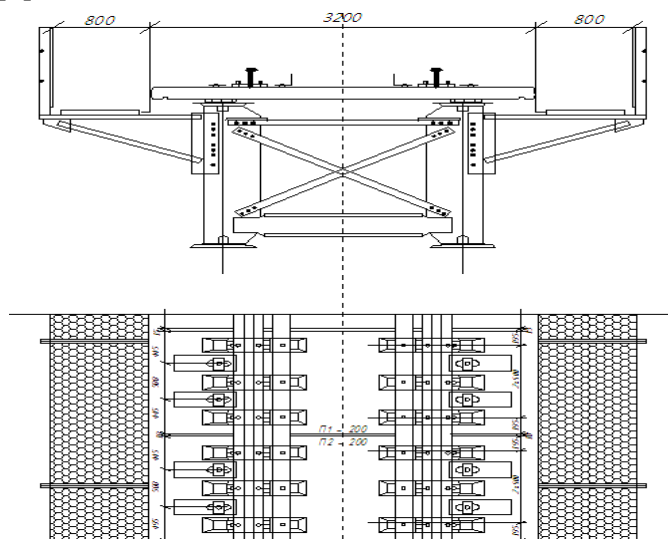


Рис.5 Вид безбалластного пролётного строения

ОБСУЖДЕНИЕ

Преимуществами безбалластных пролётных строений перед балластными является:

- их использование на мостах с внеклассовой длиной в 500 м и выше, так как вес всей конструкции будет значительно меньше по сравнению с балластным пролётным строением;
- обязательная бесстыковая прокладка рельсов, позволяющая поезду проходить по мосту с высокой скоростью (для ВСМ);
- совместимость работы с пролётными строениями.

Влияние на конструкцию и на расчет размеров безбалластных путей на мостах оказывает в основном способ сооружения безбалластных путей.

Поэтому по соображениям технологии строительства, а также технического обслуживания целесообразно применить сквозной способ сооружения безбалластных путей от свободного участка по мосту, не меняя способ сооружения. Тем не менее, наряду с отводом продольных усилий для применения безбалластного пути на мостах решающее значение имеет переход между мостом и свободным участком, а также между пролетами моста. Вследствие этого определяющим фактором для использования на мостах является, как правило, длина моста.

ВЫВОДЫ

По вышеизложенному можно сделать вывод, что для ВСМ Узбекистана по всем климатическим и температурным условиям соответствуют железобетонные мостовые сооружения рамочного типа, так как такой тип мостовых сооружений более жёсткий и экономичный. Эти две характеристики играют важную роль при увеличении скорости движения поездов в связи с возрастанием динамических нагрузок.

REFERENCES

1. Raxmanov U. S., Ismailova G. B. CALCULATION OF SEISMIC RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE RAILWAY SPANS WITHOUT PRESTRESSING REINFORCEMENT //Journal of Tashkent Institute of Railway Engineers. – 2020. – Т. 16. – №. 3. – С. 164-169.
2. Salikhanov S. et al. Determination of deformations and self-stress in concrete on stress cement //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – Т. 264. – С. 02056.
3. Ulugbek S. et al. METHOD OF SELECTING OPTIMAL PARAMETERS OF SEISMIC-PROOF BEARING PARTS OF BRIDGES AND OVERPASSES ON HIGH-SPEED RAILWAY LINE //European Journal of Molecular & Clinical Medicine. – 2020. – Т. 7. – №. 2. – С. 1076-1080.
4. Raupov C. et al. Experimental and theoretical assessment of the long-term strength of lightweight concrete and its components under compression and tension, taking into account the macrostructure of the material //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – Т. 264. – С. 02024.
5. Shermuxamedov U. Z., Zokirov F. Z. APPLICATION OF MODERN, EFFECTIVE MATERIALS IN RAIL ROAD REINFORCED BRIDGE ELEMENTS //Journal of Tashkent Institute of Railway Engineers. – 2019. – Т. 15. – №. 3. – С. 8-13.
6. Yaxshiev E. T., Zokirov F. Z., Karimova A. B. RESEARCH OF SYSTEM CONDITIONS FOR FORMATION OF FAILURE ON MATHEMATICAL MODELS BY THE RESULTS

- OF THE RESEARCH OF REINFORCED CONCRETE BRIDGES //Journal of Tashkent Institute of Railway Engineers. – 2019. – Т. 15. – №. 3. – С. 36-41.
7. Shermuhamedov U. Z. et al. Inspection And Diagnostics Of Railway Reinforced Concrete Bridge In Andijan-Khanabad Peregon //Eurasian Journal of Engineering and Technology. – 2022. – Т. 9. – С. 77-83.
 8. Bahromkulovich M. G. DESIGN OF A SPAN BEAM OF A BRIDGE MADE OF TRIANGULAR CROSS SECTION BEAMS MADE OF MATERIALS WITH DIFFERENT PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES. – 2022.
 9. Raupov C., Malikov G., Zokirov J. DETERMINATION OF THE BOUNDARY OF THE LINEAR CREEP OF EXPANDED CLAY CONCRETE DURING COMPRESSION //Science and innovation. – 2022. – Т. 1. – №. A4. – С. 301-306.
 10. Ne'Matilla Asatillayevich Nishonov, Ziyovuddin Qaxramon Ogli Raximjonov ZILZILA OQIBATIDA KO'PRIKLARINI SHIKASTLANISHI VA ULARNING SABABLARI // Academic research in educational sciences. 2022. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zilzila-oqibatida-ko-priklarini-shikastlanishi-va-ularning-sabablari> (дата обращения: 17.09.2022).
 11. Технические указания по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути. – Москва: Транспорт, 2000. – 96 с.
 12. Расчёт мостов высокоскоростных железнодорожных магистралей на продольные силы: монография / В.Н. Смирнов. – СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2013. – 65 с.
 13. Nishonov N. et al. Underground polymeric l-shaped pipeline vibrations under seismic effect //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – Т. 264. – С. 02037.
 14. СНиП 2.05.03-84. Мосты и трубы / Минстрой России. – Москва: ГП ЦПП, 1996-214с.;
 15. Железобетонные мосты / Г.И. Богданов, В.Н. Смирнов. Санкт-Петербург.- ПГУПС, 2005-127с;
 16. Овчинников А.Н, Расулев А.Ф., Фозилов З.Т. «Скоростное и высокоскоростное движение на железных дорогах Узбекистана», // журнал «Путь», М:2012-5
 17. Технические указания по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути. – Москва: Транспорт, 2000. – 96 с.