

## КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРЕОБРАЗОВАНИИ БАЛОЧНЫХ МОСТОВ В ПОЛУИНТЕГРАЛЬНЫЕ

Канд. техн. наук, профессор **В.И. Попов**,  
аспирант **А.А. Жаворонкова**  
(Московский автомобильно-дорожный  
государственный технический университет (МАДИ))  
Контактная информация: [popov.viktor@gmail.com](mailto:popov.viktor@gmail.com);  
[a.zhavoronkova@pdnspb.ru](mailto:a.zhavoronkova@pdnspb.ru)

---

*В статье представлены применяемые в зарубежной практике предложения по преобразованию эксплуатируемых малых мостов в полуинтегральные. Отмечены особенности полуинтегральных мостов в сравнении с интегральными. Показаны существующие недостатки балочных мостов малых пролетов, которые могут быть в основном исключены при использовании полуинтегральной схемы. Даны конструкции опорных узлов мостов, преобразованных из балочных в полуинтегральные.*

**Ключевые слова:** *устой, полуинтегральный мост, деформационный шов, опорная часть, реконструкция.*

---

### ВВЕДЕНИЕ

Балочные мосты являются наиболее распространенными в мире конструкциями в транспортном строительстве благодаря своей простоте и ясности работы под нагрузками и воздействиями. Вместе с тем балочные мосты имеют и ряд существенных недостатков, которые сказываются при их эксплуатации. Содержание деформационных швов, их замена, исправление просядок в месте сопряжения мостов с насыпью подходов, протечки – все это характерно для балочных мостов и в наибольшей степени разрезной системы.

Указанными недостатками не обладают интегральные мосты, у которых отсутствуют опорные части и деформационные швы [1]. По сравнению с балочными мостами сроки строительства и затраты на содержание интегральных мостов значительно меньше. В целом технико-экономические показатели интегральных мостов выше, чем у балочных мостов. О конкретных преимущественных показателях по интегральным мостам, включая экономические, сообщается в работе соавтора настоящей статьи [1], а также в ряде статей, в том числе в [2, 3].

Промежуточное положение между балочными и интегральными занимают полуинтегральные мосты. Они, как и интегральные, не имеют деформационных швов над устоями, но как балочные содержат опорные части [4].

Существенным преимуществом полуинтегральных мостов является возможность их образования из эксплуатируемых балочных разрезных и неразрезных мостов, что позволяет продлить срок службы существующих мостов и сократить эксплуатационные расходы на содержание.

### **Недостатки балочных мостов**

Балочные мостовые сооружения наиболее распространены во всем мире благодаря простоте конструкции и ясности их работы под нагрузками. Мосты и путепроводы длиной до 100 м составляют основную массу балочных мостовых сооружений в России. Согласно действующему своду правил, срок службы таких сооружений составляет 50 лет [5].

Среди малых мостов преобладают мосты с железобетонными пролетными строениями и в основном со сборными балками с обычной или предварительно напряженной арматурой длиной от 12 до 33 м, разработанные в институте «Союздорпроект».

После введения в действие временных нагрузок А14 и Н14 в 2014 г. [6], при проектировании мостов разрезной и температурно-неразрезной систем начали использовать тавровые многофункциональные балки АО «Союздорпроект». С 2016 г. для малых мостов применяют также сборно-монолитные железобетонные пролетные строения разработки АО «Институт «Стройпроект». Указанные конструкции составляют основную долю эксплуатируемых и строящихся мостов и путепроводов.

Мосты со сборными и сборно-монолитными пролетными строениями не требуют больших затрат на проектирование и строительство, что является их преимуществом, но все их недостатки проявляются во время эксплуатации, исправление которых ведет к дополнительным расходам.

Можно перечислить следующие недостатки балочных мостов:

- большое число деформационных швов в разрезной системе;
- просадки грунта и трещины в покрытии в местах сопряжения устоев с насыпью подхода;
- осадки, сдвиги и крены устоев;
- недопустимая сдвижка пролетных строений в сторону устоев;

- увлажнение верха опор водой с проезжей части, проникающей через деформационные швы;
- засорение опорных частей из-за попадания на них мусора и грязи через деформационные швы;
- выщелачивание цементного раствора из продольных стыков балок;
- переломы в продольном профиле в местах расположения деформационных швов.

Как видно из перечисленного выше, наличие деформационных швов создает ряд проблем при эксплуатации мостов. В современной практике за счет использования температурно-неразрезной схемы мостов частично удастся избежать таких проблем, но деформационные швы над устоями при этом остаются.

В балочных мостах нередко возникает сдвиг устоев, в результате чего балки пролетного строения упираются в шкафную стенку устоя. Так, например, при строительстве путепровода на пусковом комплексе № 3 ЦКАД в 2020 г. произошло смещение устоя, при этом замеренные по его верху продольные перемещения составили 13 мм (**рис. 1**).



*Рис. 1. Сдвиг устоя путепровода на ЦКАД*

Путепровод выполнен по неразрезной схеме 27,25 + 37,70 + 27,25 м. Пролетное строение – сталежелезобетонное. Опорные части – стальные сферические; деформационные швы – Maurer D80. При проектном зазоре между шкафной стенкой устоя и торцами балок величиной 40 мм расчетные перемещения пролетного строения от перепада температуры для путепровода составляли 21,7 мм и, таким образом, замеренные (при температуре +5°C) смещения приводят почти к полной ликвидации зазора.

К таким же результатам приводят крены устоев из-за неустойчивого основания или давления грунта насыпи. От больших перепадов температуры наружного воздуха возникают предельные деформации резиновых опорных частей. Такая же картина наблюдается при расположении мостов на косогоре. Характерное состояние опорной части при этом показано на примере путепровода в составе транспортной развязки на автомобильной дороге А104 Москва – Дмитров – Дубна в 2017 г. (рис. 2).



*Рис. 2. Предельный сдвиг резиновой опорной части*

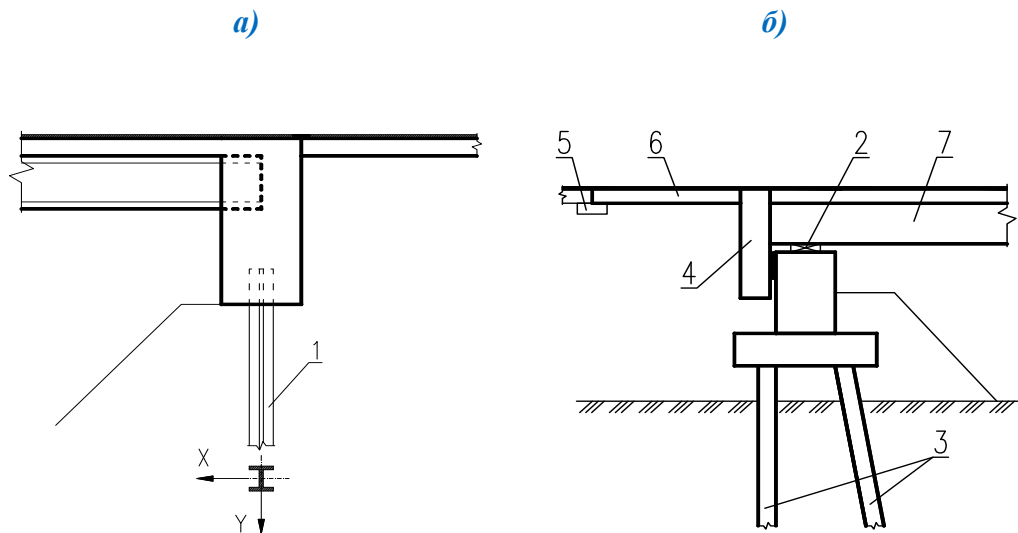
При исправлении указанных дефектов приходится закреплять устои специальными анкерами, заделывать возникающие трещины, армировать грунт насыпи, заменять опорные части. Просадки насыпи требуют вскрытия переходных плит, подсыпки и уплотнения грунта насыпи, укладки новых слоев покрытия на ремонтируемом участке.

Вода и грязь, проникающие через поврежденные деформационные швы, способствуют разрушению бетона опор.

Многие из приведенных выше дефектов балочных мостов исключаются при использовании полуинтегральной их схемы.

### Особенности полуинтегральных мостов

Полуинтегральные мосты являются разновидностью интегральных [1, 4]. Этот тип сооружений отличается тем, что пролетное строение воспринимает боковое давление грунта насыпи подхода, но в отличие от интегральных мостов пролетное строение опирается на опорные части (рис. 3).



**Рис. 3. Устои:**

- а) интегрального моста; б) полуинтегрального моста:**  
1 – стальные сваи; 2 – опорная часть; 3 – железобетонные сваи;  
4 – концевая диафрагма; 5 – лежень; 6 – переходная плита;  
7 – пролетное строение

Первые полуинтегральные мосты были построены в конце 1960-х годов в США, штате Онтарио. Благодаря применению полуинтегральных мостов расширен диапазон применения интегральных мостов. С их появлением стало возможно строительство неразрезных мостов без деформационных швов длиной более 90 м и косиной более 30 градусов.

Эти сооружения стали популярными во всем мире из-за ряда преимуществ. Полуинтегральные мосты требуют меньших затрат на содержание, имеют простую конструкцию и являются более долговечными по сравнению с балочными сооружениями.

Полуинтегральная концепция мостов обладает следующими основными характеристиками: такие мосты имеют одно- или многопролетное неразрезное пролетное строение без деформационных швов, устои должны располагаться на надежном основании (скальном, свайном, армогрунте), а пролетное строение может смещаться в продольном направлении относительно устоя за счет опорных частей.

Одно из преимуществ полуинтегральных мостов – возможность быстрого строительства, за счет которого достигается большая часть экономии. Конструкция состоит из простейших элементов, отсутствуют трудоемкие виды работ, что в итоге делает возможным возведение таких конструкций за один строительный сезон. Полуинтегральная схема мостов бывает целесообразной при ремонте балочных мостов, когда балки по концам объединяют монолитной диафрагмой.

Увеличение автомобильного трафика, которое в настоящее время наблюдается во многих странах, приводит к строительству и реконструкциям магистралей и мостов малого и среднего пролетов. Во многих странах, таких как США, Великобритания, Канада активно используется концепция полуинтегральных мостов.

Тенденция преобразования существующих балочных мостов в полуинтегральные становится актуальной из-за возрастающего объема ремонта и замены деформационных швов, опорных частей, подферменных площадок, шкафных стенок устоев, устранения просадок насыпи на участках сопряжения с мостами. Идея использования концепции полуинтегральных мостов вместо ремонта балочных мостов была одобрена специалистами ряда стран в попытке решить проблемы с долговечностью, снизить затраты на содержание и продлить срок службы существующих мостов.

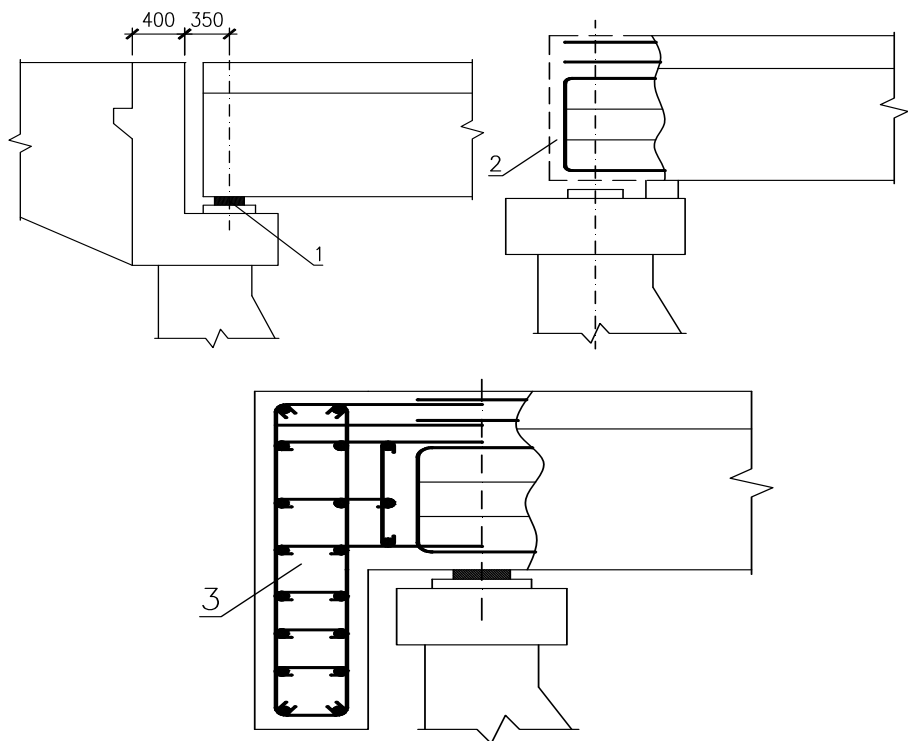
Из литературных источников следует, что на практике полуинтегральные схемы чаще всего использовались для реконструкции однопролетных разрезных и многопролетных неразрезных мостов длиной до 100 м [7].

### **Реконструкция балочных мостов путем их преобразования в полуинтегральные**

В основе преобразования балочных мостов в полуинтегральные лежит максимальное сохранение существующей конструкции устоев и перемещение деформационных швов от устоев на концы переходных плит.

Шкафная часть устоя должна быть разобрана, при этом оголена арматура балок с ненапрягаемой арматурой. Далее производится установка каркаса концевой свисающей диафрагмы и его объединение с

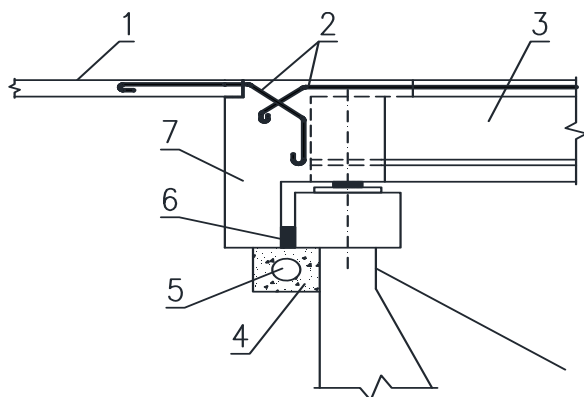
арматурой балок и плиты. После чего осуществляется бетонирование концевой диафрагмы (**рис. 4**).



*Рис. 4. Схема преобразования балочного моста в полунтегральный:*

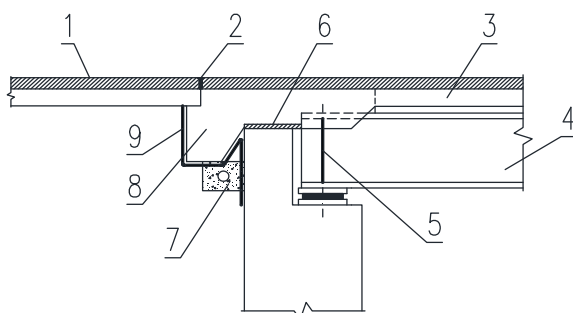
*1 – опорная часть; 2 – оголение арматуры балок;  
3 – бетонизируемая концевая диафрагма*

Возможен вариант, при котором концевые участки балок не разбираются, а входят в монолитную концевую диафрагму. Выпуски плит балок и переходной плиты при этом анкеруются в монолитной концевой диафрагме (**рис. 5**). Этот способ может быть использован для железобетонных пролетных строений как с обычной, так и напрягаемой арматурой.



**Рис. 5. Конструкция опорного узла полуинтегрального моста:**  
 1 – переходная плита; 2 – выпуски арматуры; 3 – балка; 4 – дренаж;  
 5 – дренажная труба; 6 – уплотнение; 7 – монолитная концевая диафрагма

Шкафная стенка существующего устоя может быть сохранена, и тогда конструкция опорного узла будет выглядеть, как это показано на **рис. 6**. Данное решение целесообразно для сталежелезобетонных пролетных строений.



**Рис. 6. Конструкция опорного узла для сталежелезобетонных пролетных строений:**  
 1 – покрытие проезжей части; 2 – заполненный шов в покрытии;  
 3 – плита балок; 4 – стальная балка; 5 – опорное ребро жесткости;  
 6 – эластомер; 7 – дренаж; 8 – концевая диафрагма;  
 9 – геосинтетическая пленка



В практике США полуинтегральные мосты имеют длину не более 150 м при симметричной схеме разбивки на пролеты, а при несимметричной схеме – до 75 м. Косина пролетного строения не должна быть более 30°, так как при большей косине возникают значительные поперечные перемещения пролетного строения.

Полуинтегральная схема моста мало отличается от балочной. Работа моста по полуинтегральной схеме сопряжена с воздействием давления грунта насыпи непосредственно на балки пролетного строения, из-за чего балки подвержены воздействию дополнительных продольных сил и опорных моментов. Кроме того, из-за прибетонированных опорных диафрагм опорные реакции возрастают, что требует расчётом подтверждать несущую способность фундамента на возросшую нагрузку.

Представленные способы реконструкции балочных мостов путем их преобразования в полуинтегральные применяют в США, Канаде, Италии, Швейцарии, Китае и Сингапуре [5]. До реконструкции мосты эксплуатировали от 40 до 65 лет. Применение полуинтегральной схемы мостов позволяло не только продлить срок службы мостов, снизить эксплуатационные расходы, но и повысить их сейсмостойкость.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Преобразование железобетонных балочных мостов в полуинтегральные с пролетами до 33 м, наибольшее количество которых находятся в эксплуатации, представляет один из возможных способов увеличения их долговечности при одновременном снижении эксплуатационных затрат. Такая же технология целесообразна и для сталежелезобетонных разрезных пролетных строений с пролетами до 42 м. Эффективность применения рекомендуемого способа в российских условиях должна быть подтверждена дополнительными исследованиями, которые в настоящее время проводятся в МАДИ. Цель таких исследований состоит в обосновании целесообразности и технической возможности преобразования эксплуатируемых наиболее часто применяемых балочных пролетных строений в полуинтегральные.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Попов В.И. Путепроводы с классическими и интегральными устоями / В.И. Попов. – М.: Библио-Глобус, 2019. – 342 с.
2. Попов В.И. Об инновационных мостовых сооружениях с интегральными устоями / В.И. Попов // Дороги. Инновации в строительстве. Мосты и время. – 2018. – № 71. – С. 108-112.

3. Попов В.И. О работе стальных свай интегральных устоев мостов / В.И. Попов // *Дороги и мосты*. – 2020. – № 43. – С. 67-76.
4. Husain I. *Semi-Integral Abutment Bridges. Bridge Office Report BO-99-03* / I. Husain, D. Bagnariol / *Ministry of Transportation. – Ontario: The Queen's Printer for Ontario, 1999. – 31 p.*
5. СП 35.13330.2011. Свод правил. Мосты и трубы. – Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\* (с изменением № 3). – Утвер. приказом Минрегиона России от 28 декабря 2010 г. № 822. – Введ. 20.05.2011. – 347 с.
6. ГОСТ 32960-2014. Нормативные нагрузки. Расчетные схемы нагружения. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2016. – 5 с.
7. Russo G. *Retrofitting a Short Span Bridge with Semi-Integral Abutment Bridge: The Treviso Bridge* / G. Russo, O. Bergamo, L. Damiani // *Structural Engineering International*. – 2009. – № 2. – P. 137-141.

## L I T E R A T U R A

1. Popov V.I. *Puteprovody s klassicheskimi i integral'nymi ustoyami* / V.I. Popov. – М.: Biblio-Globus, 2019. – 342 с.
2. Popov V.I. *Ob innovacionnyh mostovyh sooruzheniyah s integral'nymi ustoyami* / V.I. Popov // *Dorogi. Innovacii v stroitel'stve. Mosty i vremya*. – 2018. – № 71. – S. 108-112.
3. Popov V.I. *O rabote stal'nyh svaj integral'nyh ustoev mostov* / V.I. Popov // *Dorogi i mosty*. – 2020. – № 43. – S. 67-76.
4. Husain I. *Semi-Integral Abutment Bridges. Bridge Office Report BO-99-03* / I. Husain, D. Bagnariol / *Ministry of Transportation. – Ontario: The Queen's Printer for Ontario, 1999. – 31 p.*
5. SP 35.13330.2011. *Svod pravil. Mosty i truby*. – Aktualizirovannaya redakciya SNIП 2.05.03-84\* (s izmeneniem № 3). – Utver. prikazom Minregiona Rossii ot 28 dekabrya 2010 g. № 822. – Vved. 20.05.2011. – 347 s.
6. GOST 32960-2014. *Normativnye nagruzki. Raschetnye skhemy nagruzheniya. Mezhhosudarstvennyj standart*. – М.: Standartinform, 2016. – 5 s.
7. Russo G. *Retrofitting a Short Span Bridge with Semi-Integral Abutment Bridge: The Treviso Bridge* / G. Russo, O. Bergamo, L. Damiani // *Structural Engineering International*. – 2009. – № 2. – P. 137-141.

.....  
**CONSTRUCTIVE SOLUTIONS WHEN TRANSFORMATING-  
GIRDER BRIDGES INTO SEMI-INTEGRAL ONES**

*Ph. D. (Tech.), Professor V.I. Popov,  
Post-graduate student A.A. Zhavoronkova  
(Moscow State Automobile and Road  
Technical University (MADI))  
Contact information: popov.viktor@gmail.com;  
a.zhavoronkova@pdnspb.ru*

*The article presents the proposals, which are used in foreign practice for transforming operated small bridges into semi-integral ones. The peculiarities of semi-integral bridges in comparison with integral ones are noted. The existing disadvantages of girder bridges of small spans are given, which can be mostly eliminated using a semi-integral scheme. The constructions of bridge bearing units transformed from girder to semi-integral ones are provided.*

**Key words:** *abutment, semi-integral bridge, expansion joint, bearing unit, reconstruction.*

---

Рецензент: канд. техн. наук Б.П. Кутько (ФАУ «РОСДОРНИИ»).  
Статья поступила в редакцию: 03.06.2021.