

УДК 624.164.4

Попов Виктор Иванович

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»
Россия, Москва¹
Профессор кафедры мостов и транспортных тоннелей
Кандидат технических наук
E-Mail: vpopov@stpr.ru

Прохоров Андрей Анатольевич

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»
Россия, Москва
Аспирант, специалист
E-Mail: Prokhorov2010@gmail.com

Способы сопряжения конструкций путепроводов с насыпями подходов

Аннотация. В местах сопряжения мостов и путепроводов в процессе их эксплуатации возникают просадки грунта подходов, трещины в асфальтобетонном покрытии, протечки воды. Эти дефекты связаны с необеспеченностью плавного перехода от конструкции насыпи подходов к более жесткой конструкции пролетных строений. Частично эта проблема решается устройством переходных железобетонных плит, заглубляемых в зоне сопряжения устоя с насыпью подхода и деформационных швов для обеспечения температурных перемещений. Несмотря на это, наблюдаются протечки воды по шкафным стенкам опор, намокают торцы балок, вызывая коррозионные процессы в бетоне и арматуре. В условиях современного города вопросы комфортабельности движения приобретают большое значение и поэтому узлы сопряжений городских путепроводов с насыпями подходов должны быть запроектированы таким образом, чтобы обеспечивались высокие потребительские свойства транспортных сооружений, включая городские путепроводы. В статье проведен обзор конструктивных предложений и внедренных решений по конструкции сопряжения путепроводов с насыпями подходов. Приведены сведения и преимущества современных решений с использованием интегральных и полуинтегральных устоев. Сделаны выводы о необходимости проведения исследований с целью получения новых данных, которые могут быть использованы для проектирования путепроводов с интегральными и полуинтегральными устоями.

Ключевые слова. Путепровод, устой, сопряжение, переходная плита, интегральный устой, полуинтегральный устой, деформационный шов, бесшовный мост.

¹ 115432, г. Москва, 2-ой Южнопортовый проезд, д.15, кв.59 (домашний) 117588, г. Москва, ул. Тарусская, д.10, офис 103.

Развитие способов сопряжения мостовых конструкций с насыпью подходов

Конструкция сопряжения пролетного строения и насыпи подхода мостов со временем эволюционировала и, в целом, проделала большой путь по совершенствованию. Еще в 1937г. году были разработаны первые прототипы современных конструкций сопряжения, как например, приведенный на рис.1. Устой имеет шарнирное опирание и снабжен переходной плитой, конец которой сопрягается с накладной плитой, уложенной в цементобетонное покрытие подхода. Такое решение в определенной степени снижало ударный эффект проезжающего транспорта.

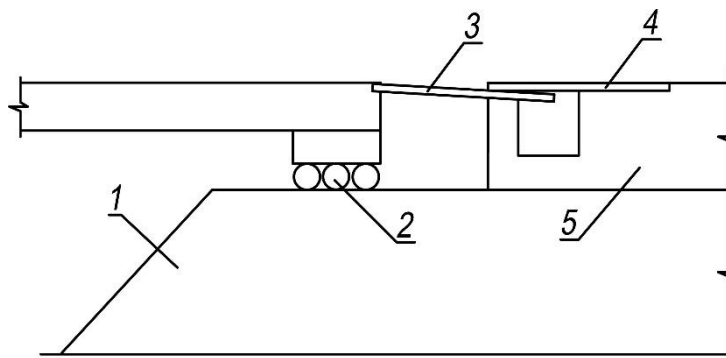


Рис. 1. Одно из первых решений сопряжения с помощью переходной плиты:
1- устой; 2 – катки шарнирного опирания; 3- переходная плита;
4-накладная плита; 5 – цементобетонное покрытие

Еще тогда в сопряжении возникали такие проблемы как заклинивание инородными веществами, накопленными на пути движения которые делали движение пролета невозможным, просачивание воды и грязи, в результате чего опоры или устои были загрязнены и корродировали. В дополнение к высокой стоимости так же отмечалось повреждение дорожного полотна, что представляло опасность для рабочего скота и всех пользователей моста.

Союздорнии были предложены новые конструкции сопряжений (проекты и нормы которых в 1969 - 1970 гг. были разработаны Союздорпроектом и Гипроавтотрансом) и организовано строительство опытных объектов [Методические рекомендации по проектированию и строительству сопряжений автодорожных мостов и путепроводов с насыпью. М.: Союздорнии, 1975. – 19 с.]. Наблюдения за состоянием сопряжений в процессе эксплуатации показали существенное улучшение эксплуатационных качеств покрытий около мостов и подтвердили целесообразность принятых технологических и конструктивных решений.

В конструкцию сопряжений входит часть земляного полотна за береговой опорой моста (отсыпаемая из дренирующего грунта), заканчивающаяся объемлющим опору конусом. Дорожное покрытие в этом месте устраивают из переходных плит (рис.2).

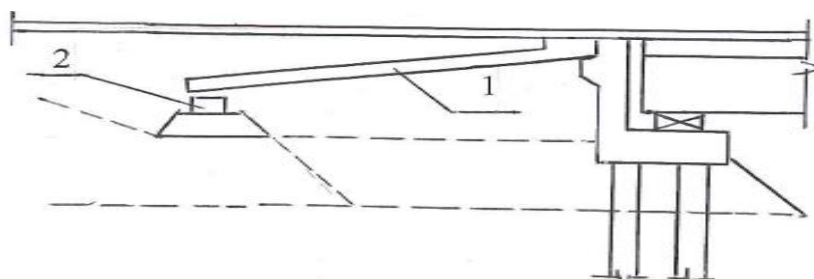


Рис. 2. Сопряжение моста с насыпью с помощью переходных плит: а – в составе единой конструкции с лежащим устоем; б - с опиранием на выступ устоя и лежень;
1 – переходная плита, 2- заглубленный лежень

В соответствии с [1] длину переходной плиты рекомендовано принимать от 4 до 8 м в зависимости от допустимых углов перелома профиля, который определяется суммарной осадкой тела насыпи и ее основания. При этом плавный проезд транспортных средств по сопряжению обеспечивается только при соблюдении достаточно жестких требований к степени уплотнения грунтов насыпи, отводу поверхностных вод и необходимости выдерживания земляного полотна до устройства покрытия не менее 1 года.

На практике рекомендуемые требования учесть довольно непросто и поэтому при наличии переходных плит все же наблюдаются осадки насыпи и, как их следствие, образуются трещины в покрытии.

С целью улучшения эффекта от применения переходных плит можно найти немало предложенных разными авторами конструктивных способов. Например, есть предложение объединить переходную плиту с плитой пролетного строения гибкой связью из арматурных элементов и концу переходной плиты обеспечить шарнирное опирание. В этом случае предполагается, что трещины в покрытии на границе устой - пролетное строение будут исключены.

Очень распространенным способом улучшения свойств грунта насыпи подходов в настоящее время является армирования грунта геосинтетическими полотнами. Используя долговечный синтетический материал как арматурный элемент насыпного грунта, удастся существенно снизить деформации грунта за устоем. На рис.3 показана конструкция сопряжения с мостом путем применения армированного геотекстилем грунта насыпи и переходной плиты. Полотна геотекстиля, расположенные рядами, создают плотную грунтовую конструкцию, снижающую вертикальные перемещения грунта под нагрузками.

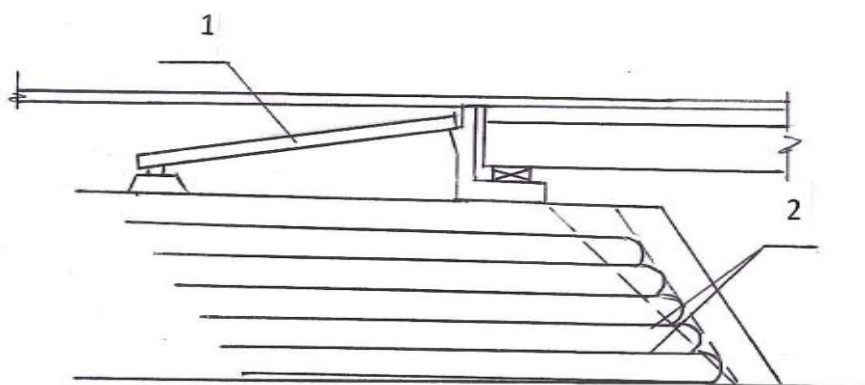


Рис. 3. Применение геосинтетических полотен для армирования грунта насыпи: 1 – переходная плита; 2- геосинтетические полотна

Все приведенные выше технические решения способствуют обеспечению плавного проезда автомобилей зону сопряжения моста с дорогой. Однако эти решения не исключают необходимости устройства деформационных швов в сопряжении. Деформационный шов, как показывает практика, представляет собой участок сопряжения, который способствует образованию дефектов в проезжей части и динамических ударов от подвижных нагрузок.

Сопряжение путепроводов и малых мостов с подходами путем применения интегральных устоев

В последние годы в зарубежной практике строительства мостов и путепроводов малой и средней длины (общей длиной до 100 м) активно внедряются интегральные схемы сооружений. При этом к интегральным мостам по определению относятся рамные конструкции без деформационных швов и шарниров [2].

Из определения следует, что железобетонные интегральные мосты (точнее - мосты с интегральными устоями) представляют собой монолитные сооружения. Прообразом современных интегральных мостов являются ранее возводимые рамные путепроводы из монолитного железобетона (рис.4). Такие сооружения при однопролетной схеме (рис.4,а) имели пролеты $L \leq 25$ м при армировании обычной арматурой и $L \leq 60$ м – при использовании напрягаемой арматуры. В многопролетных схемах (рис.3,б-г) пролеты L не превышали 40 м, если применяли предварительное напряжение. Для условий современных дорог и городских улиц указанные величины пролетов также приемлемы.

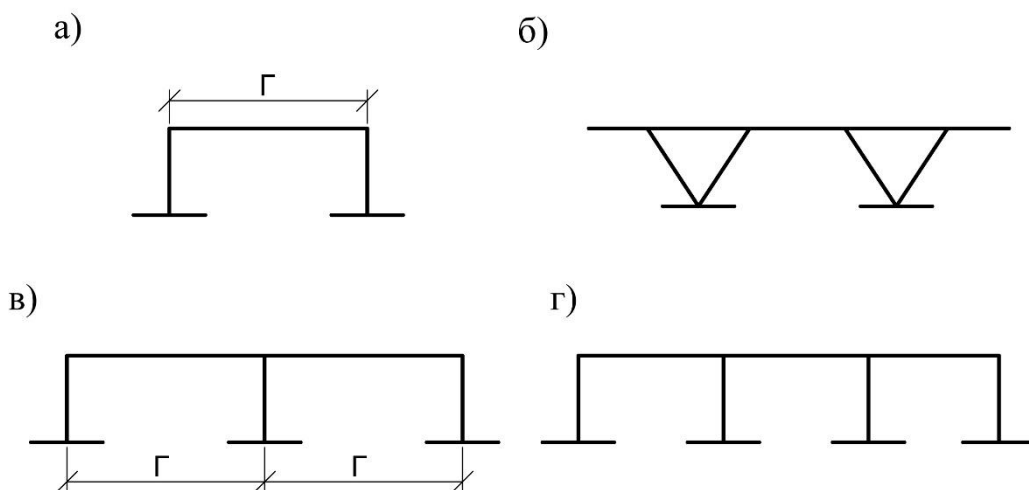


Рис. 4. Схемы рамных путепроводов: а – однопролетная; б – с наклонными стойками; в – двухпролетная; г - трехпролетная

Интегральные мосты по сравнению с традиционными рамными мостами имеют особую конструкцию конечных опор, которая улучшает эксплуатационные качества системы. В частности, стоимость содержания таких мостов и путепроводов оказывается ниже, чем мостов балочной и рамной систем. Этому в большой степени способствует отсутствие деформационных швов и опорных частей в конструкции.

Поведение построенных интегральных мостов во времени еще недостаточно изучено, а проектирование их с использованием разработанных различными авторами моделей, не позволяет с большой уверенностью говорить об абсолютных достоинствах мостов интегральной системы. Тем не менее, в США интегральные мосты строят с 1970 г. и на сегодня в штате Нью-Йорк эксплуатируется около 450 таких мостов. В основном это однопролетные мостовые сооружения длиной до 30 м. Есть среди этих мостов и сооружения длиной до 100 м. Построены мосты интегральной схемы в Китае, Японии, Италии, Словении и др. странах.

Из-за недостаточного количества статистических данных особенностей работы интегральных мостов под нагрузками не запроектированы и построены пока косые и криволинейные интегральные путепроводы. В литературе даже встречаются рекомендации по неприменению интегральных систем к косым мостам [3].

Помимо более низкой стоимости путепроводов с интегральными устоями и отсутствие в них деформационных швов они имеют и другие преимущества, а именно:

- простота и целостность конструкции;
- эффективность конструкции благодаря тому, что нагрузки, действующие на пролетное строение распределяются на большую площадь;
- сейсмическая выносливость сооружения делает интегральные устои наиболее предпочтительной конструкцией в сейсмически опасных районах;
- сравнительно малые сроки строительства, так как используется преимущественно один ряд свай;
- простота в возведении насыпи. Требуется небольшое количество простейшего оборудования для уплотнения грунта насыпи;
- интегральные устои могут быть построены на существующих фундаментах без необходимости полного удаления старого основания моста.
- Небольшие затраты на содержание;
- улучшение качества проезда в месте сопряжения путепровода с насыпью.

Несмотря на значительный опыт сооружения мостов и путепроводов с интегральными устоями, нет нормативных документов, регламентирующих проектирование такого вида конструкций. Проведенные в США исследования показали [4], что высота устоя и жесткость соединения его с балками пролетного строения значительно влияют на величину изгибающего момента в сваях, перемещения устоя и напряжения в месте объединения свай с бетоном устоя (рис.5).

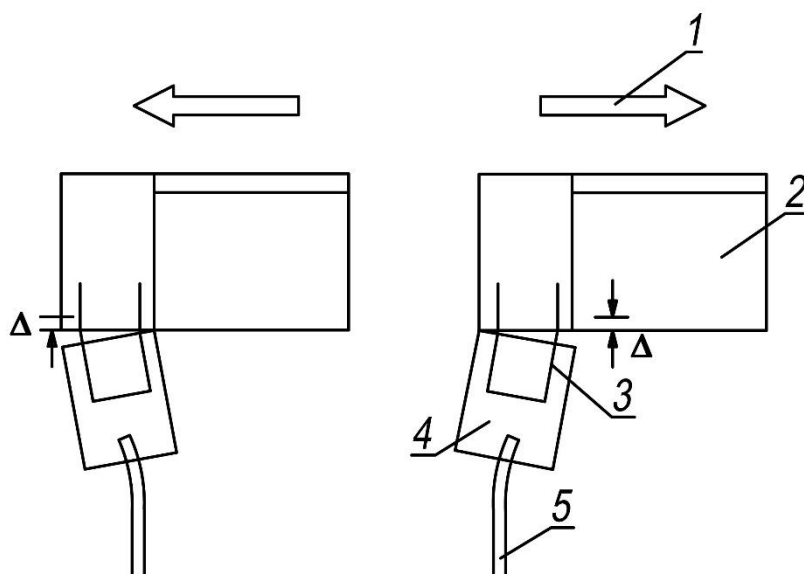


Рис. 5. Деформации интегрального устоя под действием температуры: а – при температурном расширении; б – тоже при сжатии:

1 – направление силы сжатия/растяжения; 2 – пролетное строение;
3 – соединение с армированием; 4 – тело устоя; 5 – свая

Свойства грунта подхода почти не оказывают влияние на перемещения верха устоя в поперечном направлении из-за более высокой жесткости свай в этом направлении. Кроме того, важное значение имеет армирование узла сопряжения устоя с балками пролетного строения. Из-за недостатка армирования возникают трещины, формирующиеся по нижней грани интегрального устоя (рис.6).

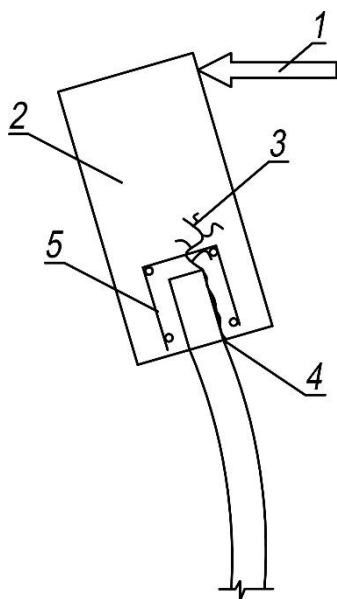


Рис. 6. Зона образования трещин в интегральном устое: 1 - направление силы сжатия; 2 – тело устоя; 3 – прогрессирующие трещины; 4 - формирование трещины в месте соединения сваи с бетоном; 5 – дополнительное армирование

Отмечено также появление по задней грани устоя больших растягивающих напряжений. По данным тех же исследований такие напряжения могут превышать предел прочности бетона в 1,8 раза, что свидетельствует о необходимости существенного армирования тела устоя.

Технология возведения интегрального устоя так же, как и сама конструкция, имеет большое значение для создания надежной конструкции. Практика показывает, что при однорядной конструкции свайного основания бывает сложно обеспечить идеальное расположение свай, особенно, при их забивке. Учитывая это факт, предложены конструкции устоев, состоящие их гибких в продольном направлении стальных свай, объединенных железобетонным оголовком, который затем с помощью арматуры объединяется с телом устоя (рис.7). В случае сталежелезобетонных балок их проектное положение в теле устоя регулируется перед объединением регулировочными болтами (см. рис.7).

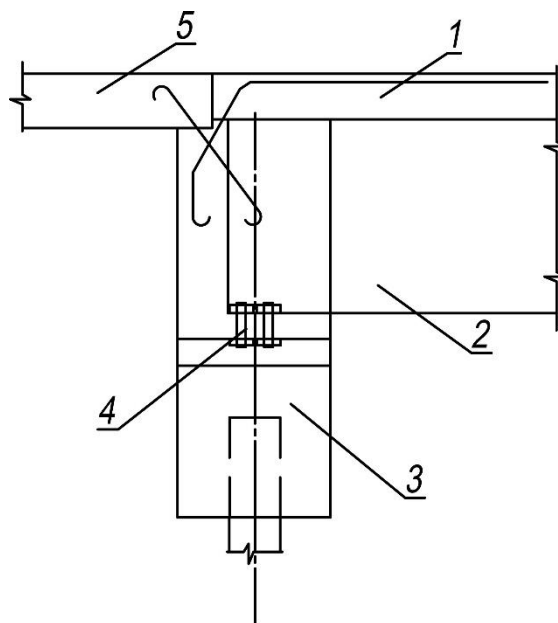


Рис. 7. Конструкция интегрального устоя: 1 – железобетонная плита; 2 – стальная балка; 3 – оголовки свай; 4 – регулировочные болты; 5 – переходная плита

Помимо интегральных устоев для путепроводов в зарубежной практике применяют так называемые полуинтегральные устои для тех случаев, когда интегральные устои не могут быть применены. Типичные интегральные устои должны быть достаточно неподвижными и поэтому требуют определенной длины свай, чтобы противостоять горизонтальным смещениям пролетного строения. Это может стать препятствием для использования интегральных устоев, расположенных, например, на скальных грунтах.

В случае полуинтегральных устоев можно использовать обычные классические типы опор (рис. 8), Балки пролетного строения по концам имеют вертикальные железобетонные стенки-диафрагмы, выполняющие роль подпорных элементов несущей конструкции.

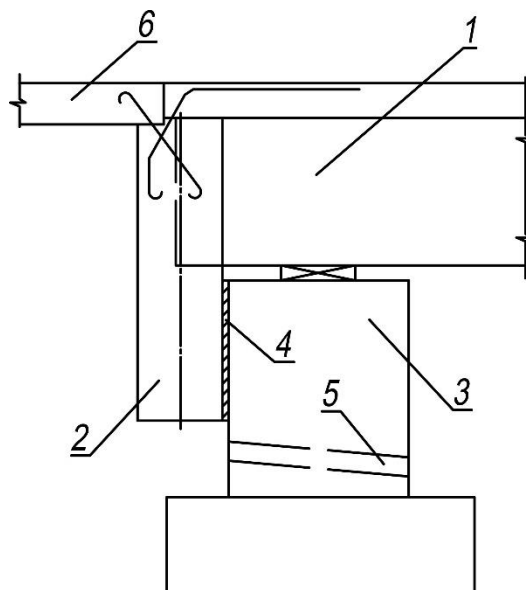


Рис. 8. Полуинтегральный устой: 1 – балка пролетного строения; 2- стенка-диафрагма; 3 - тело устоя; 4 – уплотнитель; 5 – дренажное отверстие; 6 – переходная плита

Балки опираются через опорные части на верх устоя, а за задней гранью устоя устанавливают уплотнитель, препятствующий попаданию воды и грунта к опорным частям. Через тело устоя организуют водоотвод, для чего в теле оставляют сквозное отверстие.

Плита пролетного строения и переходная плита арматурой объединяются со стенкой-диафрагмой устоя и, таким образом, деформационный шов исключается.

В Японии так же ведутся исследования в данной области с 1995 года и мостовые сооружения с интегральными устоями называют «portal frame bridge» (PFB). Один из вариантов сопряжения предполагает использование ребристой переходной плиты (рис.9).

Переходная плита укладывается горизонтально на щебеночное основание и заглубляется на 400 мм. Ребра плиты способствуют увеличению ее жесткости и уменьшению ее перемещений.

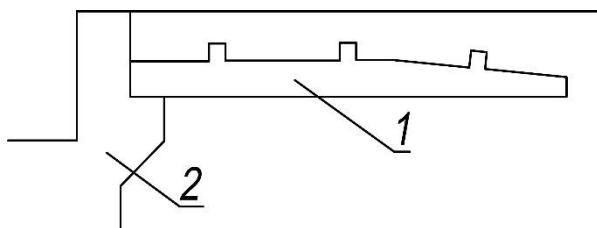


Рис. 9. Сопряжение с использованием ребристой переходной плиты: 1- железобетонная плита; 2 – устой путепровода

Заключение

1. Интегральные и полуинтегральные устои, применяемые в последние годы в зарубежной практике показали ряд эксплуатационных положительных качеств.
2. Представляется целесообразным проведение исследований по выявлению особенностей работы путепроводов с интегральными устоями в российских условиях с целью их последующего использования.
3. Необходимо разработать методику расчета интегральных устоев, основываясь как на зарубежном опыте, так и на основе результатов собственных исследований работы таких конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zordan T., Brisegholla B., Jan Cheng. Analytical Formulation Limit Length of Integral Bridges/ Zordan T., Brisegholla B.//Structural Engineering International, vol.21, № 3, August 2011, pp.304-310.
2. Sayasin Zsin. A New Category of Semi-integral Abutment in China. //Structural Engineering International. Vol.15, № 3, 2005, pp. 210-216.
3. Keisa T.Baptiste, WooSeok, Jeffrey A.Laman. Parametric Study and Length Limitations for Prestressed Concrete Girder Integral Abutment Bridges./ Keisa T.Baptiste // Structural Engineering International. Vol. 21, № 2, May 2011, pp. 151-156.
4. Дробышевский Б.А. Беспшовные мосты. Учеб. Пособие. – М.: РИОР: ИНФА-М, 2014. -154 с.
5. Балючик Э.А., Целиков Ф.И., Бирюкова Л.М., Песов А.И., Яковлева Е.А., Шульман С.А., Ткаченко С.С., Брусилловский В.Б., Лемасова Т.Г., Рязанов Ю.С., Молотков В.В. Патент SU 1339186 А1 1987 г. / Всесоюзный научно-исследовательский институт транспортного строительства и Государственный институт по изысканиям и проектированию мостов.
6. Соколов А.Д., Беда В.И., Егорушкин Ю.М., Кондаков Е.И., Ким А.И., Солодуниин А.Н.; Сопряжение моста с насыпью (патент РФ No 2136809), публикация патента: 10.09.1999
7. Henri C. Vidal. Patent bridge abutment EP 0113543 B1; Date of publication: 7 March 1990
8. Structural Engineering International 2/2011; Parametric Study and Length Limitations for Prestressed Concrete Girder Integral Abutment Bridges
9. THE 2005 – FHWA CONFERENCE Integral Abutment and Jointless Bridges (IAJB 2005); March 16 – 18, 2005; Baltimore, Maryland; New York State Department of Transportation's Experience with Integral Abutment Bridges
10. Wilhelm Haunt, Dortmund-Horde. United States patent office, Patented Jan. 26; 1937 No2.069.146 ROADWAY BRIDGE CONNECTION; Germany Application September 2, 1936, Serial No. 99,144; In Germany September 30, 1935.
11. HASSIOTIS S., ROMAN E. K., Bridge Structures, Vol. 1, No. 2, June 2005, 81 – 101, A survey of current issues on the use of integral abutment bridges.

12. John S. Horvath, Ph.D., P.E. Professor of Civil Engineering. Integral-Abutment Bridges: Problems and Innovative Solutions Using EPS Geofom and Other Geosynthetics Manhattan College Research Report No.
13. Нобумаса Ивасаки - Инженер проекта, Fukken Co. Ltd, Осака, Япония; Синья Тенма -Инженер проекта, Fukken Co. Ltd, Хиросима, Япония и Акимицу Курита – профессор, кандидат наук. Рамные мосты Японии: обзор современных технических достижений, отделение по гражданскому строительству и градостроительному проектированию, факультет инженерного проектирования, Технологический Институт г. Осака
14. Пегин П.А., Лапин А.В. Автомобильные дороги, мосты и транспортные тоннели, обеспечение ровности дорожного покрытия и безопасности движения транспортных средств в местах сопряжения моста с насыпью
15. Гибшман М.Е., Попов В.И. Проектирование транспортных сооружений, Москва «Транспорт» 1988 г.

Рецензент: Соколов Александр Дмитриевич, ведущий научный сотрудник Филиала ОАО ЦНИИС «НИЦ «Мосты», к.т.н, академик Международной академии транспорта, почетный транспортный строитель.

Andrey Prokhorov

The Moscow State automobile and road technical university
Russia, Moscow
E-Mail: Prokhorov2010@gmail.com

Viktor Popov

The Moscow State automobile and road technical university
Russia, Moscow
E-Mail: vpopov@stpr.ru

Connection means of overpasses construction with approach

Abstract. In the connection of bridges and overpasses during their exploitation arise subsidence approaches, cracks in asphalt, water leakage. These defects are connected with insecurity smooth transition from the construction of the embankment approaches to more rigid design superstructures. Partly the problem is solving with setup of transient concrete slabs, burying at the connection with the abutment embankment approach and abutment joints for thermal movements. Despite this, there can be water leakage on the cabinet wall supports, the ends of the beams become wet, causing the corrosion process in the concrete and reinforcement. In a modern city, questions of comfortable movement come up to a great importance and that's why the connection between urban nodes overpasses with mounds of approaches have to be designed in such way to ensure high consumer characteristics of transportation facilities, including urban overpasses. The article presents a review of technical proposals and introduced conclusions concerning connection means of overpasses construction with approach. Presented reductions and modern conclusion points of integral and semi-integral abutments. Presented resumes about a necessity of investigations and new results receiving, which can use in a designing of the integral and semi-integral abutment overpasses.

Keywords: overpass, abutment, connection, approach slab, integral abutment, semi-integral abutment, bridge joint, jointless bridge.

REFERENCES

1. Zordan T., Brisegholla B., Jan Cheng. Analytical Formulation Limit Length of Integral Bridges/ Zordan T., Brisegholla B.//Structural Engineering International, vol.21, № 3, August 2011, pp.304-310.
2. Sayasin Zsin. A New Category of Semi-integral Abutment in China. //Structural Engineering International. Vol.15, № 3, 2005, pp. 210-216.
3. Keisa T.Baptiste, WooSeok, Jeffrey A.Laman. Parametric Study and Length Limitations for Prestressed Concrete Girder Integral Abutment Bridges./ Keisa T.Baptiste // Structural Engineering International. Vol. 21, № 2, May 2011, pp. 151-156.
4. Drobyshevskiy B.A. Besshovnye mosty. Ucheb. Posobie. – M.: RIOR: INFA-M, 2014. -154 s.
5. Balyuchik E.A., Tselikov F.I., Biryukova L.M., Pesov A.I., Yakovleva E.A., Shul'man S.A., Tkachenko S.S., Brusilovskiy V.B., Lemasova T.G., Ryazanov Yu.S., Molotkov V.V. Patent SU 1339186 A1 1987 g. / Vsesoyuznyy nauchno-issledovatel'skiy institut transportnogo stroitel'stva i Gosudarstvennyy institut po izyskaniyam i proektirovaniyu mostov.
6. Sokolov A.D., Beda V.I., Egorushkin Yu.M., Kondakov E.I., Kim A.I., Solodunin A.N.; Sopryazhenie mosta s nasyp'yu (patent RF No 2136809), publikatsiya patenta: 10.09.1999
7. Henri C. Vidal. Patent bridge abutment EP 0113543 B1; Date of publication: 7 March 1990
8. Structural Engineering International 2/2011; Parametric Study and Length Limitations for Prestressed Concrete Girder Integral Abutment Bridges
9. THE 2005 – FHWA CONFERENCE Integral Abutment and Jointless Bridges (IAJB 2005); March 16 – 18, 2005; Baltimore, Maryland; New York State Department of Transportation's Experience with Integral Abutment Bridges
10. Wilhelm Haunt, Dortmund-Horde. United States patent office, Patented Jan. 26; 1937 No2.069.146 ROADWAY BRIDGE CONNECTION; Germany Application September 2, 1936, Serial No. 99,144; In Germany September 30, 1935.
11. HASSIOTIS S., ROMAN E. K., Bridge Structures, Vol. 1, No. 2, June 2005, 81 – 101, A survey of current issues on the use of integral abutment bridges.
12. John S. Horvath, Ph.D., P.E. Professor of Civil Engineering. Integral-Abutment Bridges: Problems and Innovative Solutions Using EPS Geofom and Other Geosynthetics Manhattan College Research Report No.
13. Nobumasa Iwasaki - Inzhener proekta, Fukken Co. Ltd, Osaka, Yaponiya; Sin'ya Tenma -Inzhener proekta, Fukken Co. Ltd, Khirosima, Yaponiya i Akimitsyu Kurita – professor, kandidat nauk. Ramnye mosty Yaponii: obzor sovremennykh tekhnicheskikh dostizheniy, otdelenie po grazhdanskomu stroitel'stvu i gradostroitel'nomu proektirovaniyu, fakul'tet inzhenernogo proektirovaniya, Tekhnologicheskii Institut g. Osaka
14. Pegin P.A., Lapin A.V. Avtomobil'nye dorogi, mosty i transportnye tonneli, obespechenie rovnosti dorozhnogo pokrytiya i bezopasnosti dvizheniya trasnportnykh sredstv v mestakh sopryazheniya mosta s nasyp'yu
15. Gibshman M.E., Popov V.I. Proektirovanie transportnykh sooruzheniy, Moskva «Transport» 1988 g.