

СРАВНЕНИЕ РАБОТЫ КОСЫХ ОДНОПРОЛЕТНЫХ ПУТЕПРОВОДОВ С ИНТЕГРАЛЬНЫМИ И ПОЛУИНТЕГРАЛЬНЫМИ УСТОЯМИ

Канд. техн. наук, профессор **В.И. Попов**,
аспирант **Нгуен Ван Хиен**
(Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ))
Конт. информация: +7 (925)010-10-97;
+7 (965)299-80-68;
vpopov@stpr.ru;
nvhienmadi@gmail.com

В статье приведены результаты анализа расчетов косых железобетонных путепроводов с интегральными и полуинтегральными устоями на трубчатых стальных сваях и естественном основании. Показано, что применение полуинтегральных устоев типичной конструкции на естественном основании для косых однопролетных путепроводов предпочтительнее интегральных устоев. Применение полуинтегральных устоев на гибком свайном основании в конкретных случаях требует специального обоснования.

Ключевые слова: интегральный устой, полуинтегральный устой, косой путепровод, стальные трубчатые сваи, перемещения.

Введение

В течение нескольких десятилетий в ряде западных стран в практике мостостроения применяют малые мосты и путепроводы с модифицированными интегральными устоями (англ. Integral Abutment Bridges) [1]. Первые в России путепроводы с интегральными устоями были запроектированы и построены по проекту АО «Гипротрансмост» на одном из участков скоростной автомобильной дороги Москва-Санкт-Петербург. При этом имеются ограничения по использованию интегральных устоев в косых сооружениях из-за ухудшения их работы вследствие поворота мостовых сооружений в горизонтальной плоскости [2].

Преимущества мостов с интегральными устоями связаны с отсутствием опорных частей и с незначительными перемещениями в уровне проезжей части за счет восприятия возникающих от внешних воздействий значительной части деформаций гибкими стальными сваями, заделанными в монолитных устоях в виде стенки. Эта особенность

позволяет исключить в ряде случаев устройство даже простейших деформационных швов.

Как показывают исследования авторов данной статьи, при косине пролетных строений более 30° наблюдается существенное увеличение линейных перемещений интегральных устоев, объединенных с пролетным строением, что снижает целесообразность применения косых сооружений с интегральными устоями [3].

При надежных грунтах основания возможно применение так называемых полностью интегральных мостов и путепроводов (англ. Full Integral Abutment Bridges), у которых пролетное строение жестко объединяется с устоем в виде гибкой стенки. Такие сооружения по своей работе близки к мостам с интегральными устоями со свайным основанием [4]. Промежуточное положение занимают мосты и путепроводы с полуинтегральными устоями (англ. Semi Integral Abutment Bridges), возможности применения которых в косых мостах и путепроводах пока не исследованы.

В настоящей статье приведены результаты анализа работы под нагрузками и воздействиями косых в плане сооружений с интегральными и полуинтегральными устоями двух типов.

Исходные данные и допущения

Рассмотрена работа интегральных и полуинтегральных устоев со стальными сваями в составе однопролетного путепровода с характерным пролетом 30 м для пересечения в двух уровнях над шестиполосной автомобильной дорогой, и изменяющейся косиной в плане до 45° .

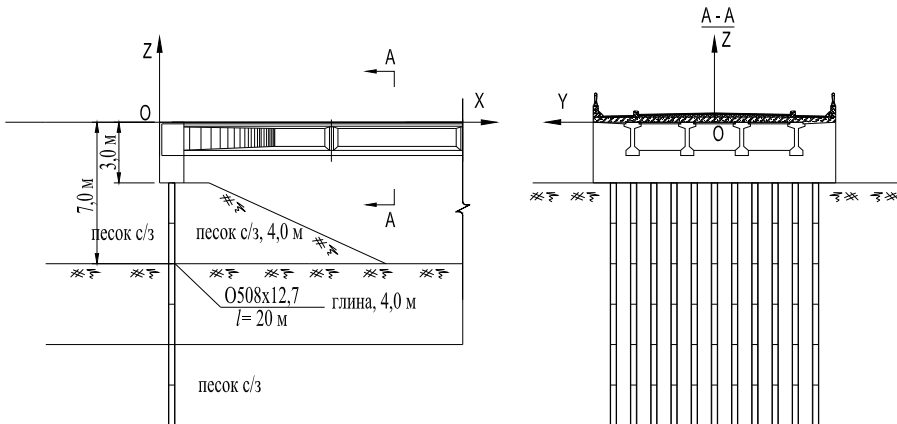


Рис. 1. Схема путепровода с интегральным устоем:
песок с/з – песок среднезернистый
(0508x12,7 – трубчатые сваи; $l = 20$ м – глубина свай)

На **рис. 1** показана соответственно типичная схема путепровода с интегральными устоями, а на **рис. 2** – с полуинтегральными устоями.

В путепроводе с интегральными устоями пролетное строение жестко заделывается в интегральный устой, и в этом случае опорные части отсутствуют (**рис. 1**). При применении типичного полуинтегрального устоя балки пролетного строения опираются на опорные части, расположенные на устое, который может представлять собой стенку по всей ширине путепровода (**рис. 2 а**). В этом случае усилия, возникающие от деформации пролетного строения, воспринимаются грунтом засыпки через стенку, устраиваемую по концам пролетного строения. Засыпка работает как деформационный шов, и при наличии переходной плиты, жестко объединенной с пролетным строением, деформации в уровне проезжей части будут восприниматься простейшим по конструкции деформационным швом, который устраивается по концам переходной плиты.

Приведенная на **рис. 2 б** схема отображает особенности двух выше упомянутых схем.

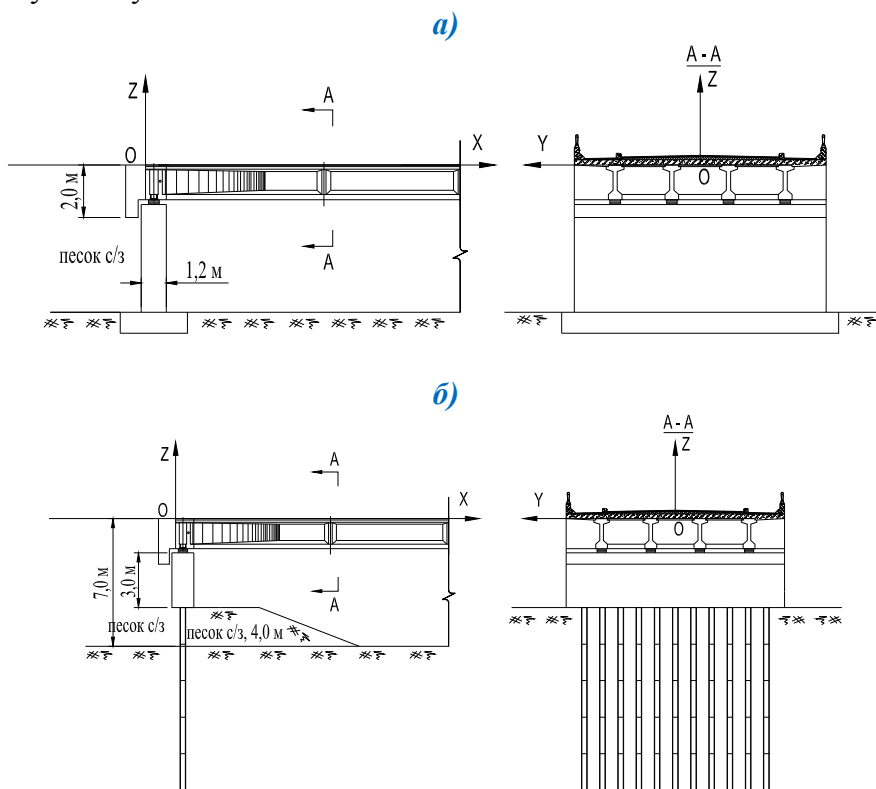


Рис. 2. Схемы путепроводов с полуинтегральными устоями:
*а – на естественном основании; б – со свайным основанием
 (песок с/з – песок среднезернистый)*

В качестве пролетного строения принята балочная конструкция, состоящая из 4-х железобетонных балок с напрягаемой арматурой, объединенных монолитной плитой проезжей части. Предполагается, что для объединения железобетонных балок с телом интегрального устоя в них предусмотрены выпуски ненапрягаемой арматуры, расположенные в верхней зоне узла объединения. Поперечное сечение пролетного строения показано на **рис. 3**.

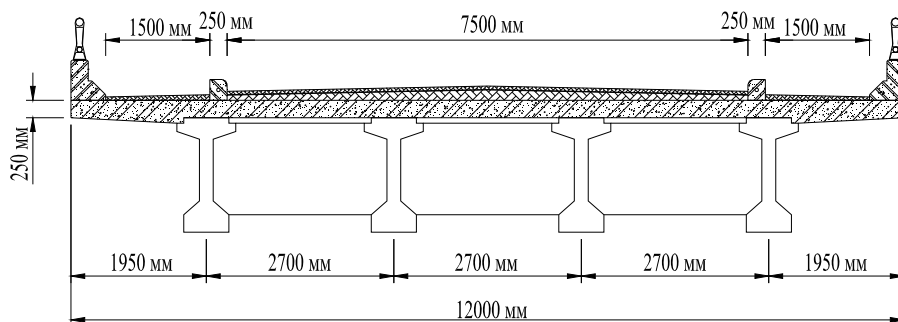


Рис. 3. Поперечное сечение пролетного строения путепровода

Для пролетных строений был применен бетон класса С4500 по ASTM-RC [5]. Использование в основании интегральных устоев трубчатых свай обусловлено преимуществами, установленными по результатам авторских исследований по сравнению с другими видами стальных свай, применяемыми в зарубежной практике [6]. Сваи имеют прокатный трубчатый профиль в соответствии с сортаментом ASTM(S)-A709-50W, рекомендуемом нормами AASHTO (предел текучести 250 МПа) [7]. Поперечное сечение свай и геометрические характеристики сечения свай приведены на **рис. 4** и в **табл. 1**.

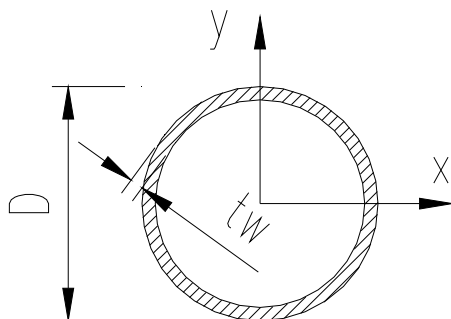


Рис. 4. Поперечное сечение свай

Таблица 1

Сортамент	Диаметр трубчатых свай, $D, м$	Толщина трубчатых свай, $t_w, м$	Площадь поперечного сечения, $S, м^2$	Момент инерции от- носительно оси $Y, I_{yy}, м^4$
O508x12.7	5.08E-01	1.27E-02	1.97E-02	5.67E-04

При формировании расчетной конечно-элементной модели использовали пространственные конечные элементы. В качестве расчетного инструмента был принят программный комплекс Midas Civil 2011. Расчеты велись по нормам Вьетнама, которые в целом совпадают с нормами США, в том числе по временным нагрузкам. Пределы текучести стали соответствуют нормам Вьетнама. Схема временной подвижной нагрузки HL-93, принятая в нормах Вьетнама, представлена на **рис. 5**.

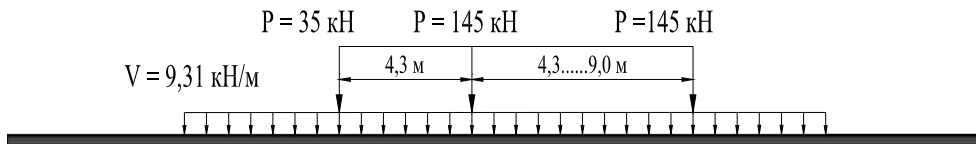
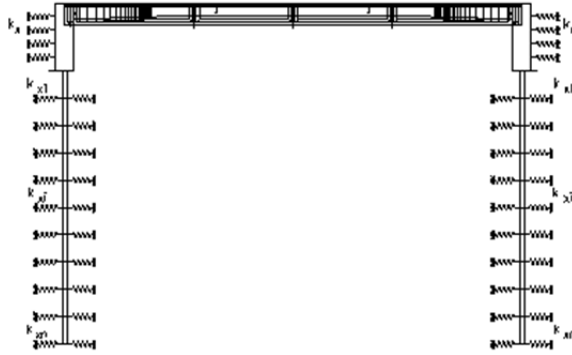


Рис. 5. Схема временной подвижной нагрузки HL-93

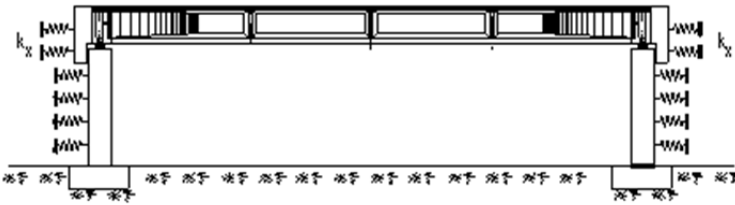
Работа устоев рассматривалась в линейно-деформируемой среде, а взаимодействие свай с грунтом моделировалось упругими пружинами, жесткость которых назначалась различной вдоль высоты тела устоя и длины свай в предположении, что за устоями расположен песок, а в основании мягкая глина мощностью 4 м, далее среднезернистый песок.

Расчетные модели рассматриваемых схем путепроводов приведены на **рис. 6**. Податливость грунтов характеризуется жесткостью упругих пружин k_x , которая изменяется в зависимости от типа грунта насыпи и основания.

a)



б)



в)

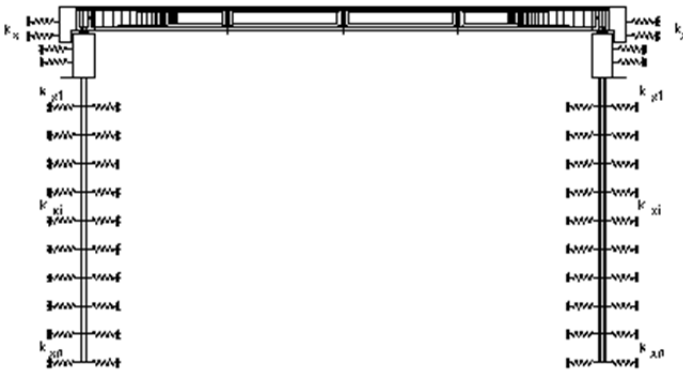


Рис. 6. Расчетные модели косо́го путепровода:
а – с интегральными устоями; б – с полуинтегральными устоями на естественном основании; в – то же на свайном основании

Сравнительные работы приведенных схем путепроводов проводили при воздействии постоянных нагрузок, временной подвижной нагрузки HL-93 и отрицательного перепада температур, принимаемого для условий Ханоя (Вьетнам) – плюс 16 °С.

Анализ полученных результатов

Результаты проведенных расчетов для перемещений устоя в остром угле и верха свай приведены на представленных ниже графиках.

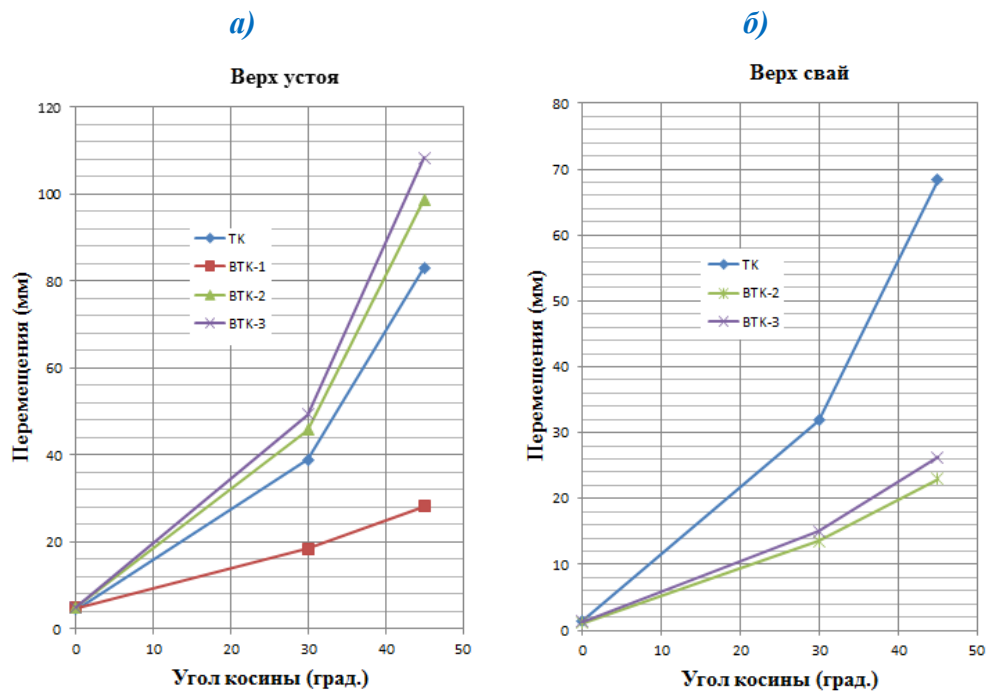


Рис. 7. Графики максимальных перемещений верха устоя (а) и верха свай (б) при интегральных и полуинтегральных устоях:

ТК – путепровод с интегральными устоями; ВТК-1 – то же с полуинтегральными устоями на естественном основании; ВТК-2 – то же на свайном основании и с шарнирно-неподвижными опорами частями на каждом устое; ВТК-3 – путепровод с полуинтегральными устоями на свайном основании с шарнирно-подвижными и шарнирно-неподвижными опорными частями

Из графиков **рис. 7** видно, что линейные перемещения полуинтегральных устоев на естественном основании при заданных его параметрах и любой косине меньше, чем интегральных устоев почти вдвое. При изменении угла косины от 30 ° до 45 ° в схемах с устоями на

свайном гибком основании происходит резкое возрастание перемещений.

Применение гибкого свайного основания у полуинтегральных устоев ведет к увеличению перемещений в уровне проезжей части на 15 и 20 % в зависимости от способа опирания пролетного строения верха по сравнению со случаем применения интегральных устоев и, таким образом, не улучшает условий работы путепровода.

Работа свай в полуинтегральных устоях существенно отличается от их работы в интегральных устоях. Сваи в полуинтегральных устоях деформируются значительно меньше, чем в интегральных устоях, что видно из графиков **рис. 7 б** и **рис. 8**.

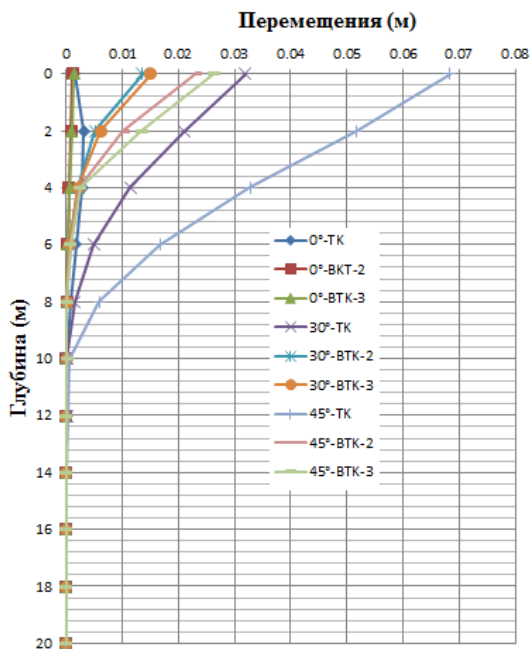


Рис. 8. Перемещения свай в интегральных и полуинтегральных устоях:

ТК – путепровод с интегральными устоями; ВТК-1 – то же с полуинтегральными устоями на естественном основании; ВТК-2 – то же на свайном основании и с шарнирно-неподвижными опорными частями на каждом устое; ВТК-3 – путепровод с полуинтегральными устоями на свайном основании с шарнирно-подвижными и шарнирно-неподвижными опорными частями

С изменением косины пролетного строения деформации стальных свай в полуинтегральных устоях, независимо от способа расположения опорных частей изменяются не так значительно, как в

интегральных устоях. Наибольшие деформации свай в полунтегральных устоях меньше, чем в интегральных устоях и составляют около 60 % при косине 45° .

ВЫВОДЫ

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Полуинтегральные устои типичной конструкции целесообразны в косых путепроводах с косиной до 45° .
2. Полуинтегральные устои с гибким свайным основанием не имеют существенных преимуществ по сравнению с интегральными устоями и могут быть применены при соответствующем обосновании при косине путепроводов не более 30° .

ЛИТЕРАТУРА

1. Zordan T. Analytical Formulation Limit Length of Integral Bridges / T. Zordan, B. Brisegholla, Jan Cheng // *Structural Engineering International*. – 2011. – V. 21. – № 3. – August. – PP. 1-15.
2. Попов В.И. Анализ поведения однопролетных путепроводов с интегральными устоями / В.И. Попов, Фам Туан Тхань, Нгуен Ван Хиен, Нгуен Мань Ха // *Дороги и мосты*. – 2017. – №38/2. – С. 233-246.
3. Попов В.И., Нгуен Ван Хиен. Влияние свай на работу интегрального устоя косоугольного пролетного строения / В.И. Попов, Нгуен Ван Хиен // *Наука и техника в дорожной отрасли*. – 2017. – № 4. – С. 14-17.
4. Iqbal Husain, Dino Baqnariol. Semi-Integral Abutment Bridges. Report BO-99-03. Ontario. 1997. – 8 p.
5. ASTM-RC. Standard Specification / American Society for testing and materials. F1088 – 04a (2010). – 588 p.
6. Попов В.И. Подбор свай и интегральных устоев однопролетных путепроводов / В.И. Попов, Фам Туан Тхань // *Наука и техника в дорожной отрасли*. – 2016. – № 4. – С. 20-23.
7. AASHTO Second Edition. Part 2. – 1998. Bridge Design Specifications. American Association of State Highway and Transportation Officials, 1998. – 345 p.

LITERATURA

1. Zordan T. Analytical Formulation Limit Length of Integral Bridges / T. Zordan, B. Brisegholla, Jan Cheng // *Structural Engineering International*. – 2011. – V. 21. – #3. – August. – RR. 1-15.

2. Popov V.I. Analiz povedenija odnoproletnyh puteprovodov s integral'nymi ustojami / V.I. Popov, Fam Tuan Than', Nguen Van Hien, Nguen Man' Ha // Dorogi i mosty. – 2017. – #38/2. – S. 233-246.
3. Popov V.I., Nguen Van Hien. Vlijanie svaj na rabotu integral'-nogo ustoja kosogo proletnogo stroenija / V.I. Popov, Nguen Van Hien // Nauka i tehnika v dorozhnoj otrasli. – 2017. – #4. – S. 14-17.
4. Iqbal Husain, Dino Baqnariol. Semi –Integral Abutment Bridges. Report BO-99-03. Ontario. 1997. – 8 p.
5. ASTM-RC. Standard Specification / American Society for testing and materials. F1088 – 04a (2010). – 588 p.
6. Popov V.I. Podbor svaj i integral'nyh ustoev odnoproletnyh puteprovodov / V.I. Popov, Fam Tuan Than' // Nauka i tehnika v dorozhnoj otrasli. – 2016. – #4. – S. 20-23.
7. AASHTO Second Edition. Part 2. – 1998. Bridge Design Specifications. American Association of State Highway and Transportation Officials, 1998. – 345 p.

**COMPARISON BEHAVIOR OF SINGLE-SPAN SKEWED
OVERPASSES WITH INTEGRAL AND
SEMI-INTEGRAL ABUTMENTS**

*Ph. D (Tech.), Professor V.I. Popov,
Post-graduate Student Nguyen Van Hien
(Moscow Automobile and Road Construction
State Technical University (MADI))
Contact Information: +7 (925)010-10-97;
+7 (965)299-80-68;
vpopov@stpr.ru;
nvhienmadi@gmail.com*

The article deals with the results of the calculation analysis of skewed single-span reinforced concrete overpasses with integral and semi-integral abutments based on steel tube piles and spread footing. It is revealed that utilization the semi-integral abutments of typical construction on spread footing is more preferable in the single-span skewed overpasses than integral abutments. The using of semi-integral abutments based on flexible pile foundation for some cases require particular justification.

Keywords: *integral abutment, semi-integral abutment, skewed overpass, steel tube piles, displacements.*

Рецензент: канд. техн. наук В.А. Селиверстов (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 26.03.2018 г.