

References

1. Krasotina L.V. Modelirovanie sistem svodchatogo pokrytija, sostavlenno iz arochnyh zagotovok [Modeling vaulted coating systems composed of arched blanks]. *Materialy 66-j nauchno-prakticheskoy konferencii FGBOU VPO SibADI*, Omsk, 2012. pp. 231-235.
2. Afanas'ev V.Ju., Sokolovskij Z.N., Makeev S.A. Nesushhie arochnye pokrytija iz trapecievidnogo profilja proizvodstva OOO «Montazhprouekt», g. Omsk [Nesushhie arochnye pokrytija iz trapecievidnogo profilja proizvodstva OOO «Montazhprouekt», g. Omsk]. *Rol' mehaniki v sozdanii jeffektivnyh materialov, konstrukcij i mashin 21 veka: Trudy vsrossijskoj nauchno- tehnikeskoj konferencii, 6 -7 dekabrja 2006*, Omsk: SibADI, 2006. pp.81 – 86.
3. Makeev S.A., Afanas'ev Ju.V., Krasotina L.V. Bol'sheproletnye pokrytija na osnove arochnyh nesushhih balok sostavnogo sotovogo sechenija [Span coating on the basis of arch bearing beams composite honeycomb section]. *Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij*, 2008, no 3. pp. 16 – 20.
4. SNiP II-23-81* *Stal'nye konstrukcii* [SNIP II-23-81 * Steel structures]. Moscow, CITP Gosstroja SSSR, 1990. 94 p.
5. TU 112-235-39124899-2005. *Profili stal'nye gnutye arochnye s trapecievidnymi goframi* [TU 112-235-39124899-2005. Steel bent profile, arched with

trapezoidal corrugations]. SibNIISroj, Novosibirsk, 2005. 18 p.

6. Balabuh L.I., Alfutov N.A., Usjukin V.I. *Stroitel'naja mehanika raket* [Construction missiles mechanics]. Moscow, Vysshaja shkola, 1984. 391 p.

7. Shimkovich D.G. *Femap & Nastran. Inzhenernyj analiz metodom konechnyh jelementov* [Engineering finite element analysis]. Moscow, DMC Press, 2008. 704 p.

8. GOST 24045-94. Profili stal'nye listovye gnutye s trapecievidnymi goframi dlja stroitel'stva. Tehniceskie uslovija (s popravkoj, opublikovannoj v IUSE № 4 1996). [State standard 24045-94. Profiles Bent steel sheet with trapezoidal corrugations for building. Technical conditions (as amended, published in IUSE number 4 of 1996)]. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 2000. 22 p.

Красотина Лариса Владимировна (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры Строительные конструкции ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: krasotina.larisa@gmail.com).

Larisa V. Krasotina (Omsk, Russian Federation) – candidate of technical sciences, associate professor Department of building construction Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Mira, 5 prospect, Omsk, e-mail: krasotina.larisa@gmail.com).

УДК 625.731.2:624.138.26

СОПРЯЖЕНИЕ ПОДХОДНЫХ НАСЫПЕЙ С МОСТАМИ И ПУТЕПРОВОДАМИ

А.Л. Ланис, Д.А. Разуваев, П.О. Ломов
ФГБОУ ВО СГУПС, Россия, г. Новосибирск.

Аннотация. Рассмотрены вопросы сопряжения мостов, путепроводов и виадуков с подходными насыпями. Обозначены причины образования остаточных деформаций в дорожном полотне, рассмотрены применяемые конструкции. Предложена конструкция сопряжения перечисленных искусственных сооружений с подходными насыпями, заключающаяся в армировании рабочего слоя земляного полотна на переходном участке бетонными буронабивными сваями (БНС) в раскатанных скважинах. Расчетами упругих прогибов дорожного полотна и исследованием их изменения вдоль участка подтверждена эффективность применения предложенного способа сопряжения.

Ключевые слова: земляное полотно, подходные насыпи, мосты, путепроводы, уплотнение грунтов, буронабивные сваи, раскатка скважин.

Введение

Сопряжение мостов, путепроводов и виадуков с подходными насыпями является важным элементом автомобильных дорог, предназначенным обеспечить плавный переход от относительно податливого земляного полотна на жёсткое пролетное строение. Вместе с тем именно в местах сопряжения земляного полотна с перечисленными искусственными сооружениями очень часто наблюдаются

деформации, которые снижают ровность покрытия, а нередко приводят и к разрушению дорожной одежды (рис. 1).

Анализ показывает, что подобные деформации обусловлены целым комплексом объективных и субъективных факторов, связанных в первую очередь с недостаточным уплотнением грунтов при возведении подходной насыпи и их избыточным увлажнением при последующей эксплуатации автомобильной дороги [1]. При

этом деформации проявляются, как правило, в виде местных просадок, захватывающих зону сопряжения.



Рис. 1. Деформации насыпи на сопряжении с мостом

Земляные работы на сопряжении дорог с мостами и путепроводами являются одними из трудновыполнимых операций в дорожном строительстве. Производство работ по отсыпке конусов и устройству сопряжения представляет собой сложный технологический процесс с большими объёмами ручного труда. Поэтому грунты на конусах и сопряжении, как правило, остаются недоуплотнёнными [2].

Водно-тепловой режим земляного полотна на подходах к искусственным сооружениям имеет свои особенности. Располагаясь в теле насыпи, искусственное сооружение прерывает движение воды по дренирующим слоям дорожной одежды и миграции влаги в грунтах насыпи, основание которой почти всегда имеет уклон в сторону водотока или лога. Поэтому возле искусственного сооружения накапливается больше влаги, чем на других участках земляного полотна [3]. Кроме того, в осенний период грунты земляного полотна возле мостов промерзают интенсивнее, причём это промерзание носит сложный характер в связи с наличием большого количества бетонных, железобетонных и металлических конструкций, являющихся хорошими мостиками холода (устои мостов, плиты сопряжения, плиты укрепления конусов, лестничные сходы, ограждения безопасности, водоотводные сооружения и т.д.). В весенний период, наоборот, оттаивание происходит медленнее, чем на подходах. Это объясняется затенённостью конусов от солнечной радиации пролётными строениями и большей хладоёмкостью грунта вместе с бетонными конструкциями опор и сопряжения. Значительное интенсивное промерзание в зимний период года и длительное сохранение мерзлоты весной

способствуют аккумуляции влаги на участках сопряжения искусственных сооружений с подходными насыпями.

Увлажнение грунтов подходных насыпей происходит также в периоды паводков путем инфильтрации паводковой воды в тело земляного полотна, а при низких насыпях и за счёт капиллярного поднятия воды из переувлажнённых грунтов основания водотока или лога.

Следует отметить особенности работы участков сопряжения подходных насыпей с мостами и путепроводами, характеризующихся различной жесткостью и, как следствие, неравномерностью осадки. Дорожная одежда, уложенная на железобетонном пролетном строении (у устоя), характеризуется значительно большим модулем упругости, чем конструкция, уложенная на грунте примыкающей подходной насыпи. В связи с чем, темпы осадки двух смежных отрезков автомобильной дороги могут существенно различаться. Мосты и путепроводы, как правило, сооружают на фундаментах глубокого заложения, поэтому они относительно нечувствительны к существующим автомобильным нагрузкам. Напротив, земляное полотно на подходных участках укладывают в насыпях, и оно, обычно, подвержено существенной осадке.

Неравномерность осадок дорожного полотна приводит к «скачкам» транспортных средств и возникновению динамических составляющих нагрузок на дорожную одежду и земляное полотно. Ситуация прогрессирует с началом появления остаточных деформаций дорожного полотна.

Опознавательными признаками деформаций подобного типа являются снижение ровности покрытия в месте сопряжения искусственного сооружения и подходной насыпи, поперечные трещины, иногда разрушение покрытия, нарушение ровности поверхности откосов, креплений конусов с ухудшением стока поверхностных вод, загромождение сечений малых мостов.

Решение проблем на участках сопряжений искусственных сооружений и подходных насыпей, связанных с недостаточным уплотнением и повышенным увлажнением грунтов земляного полотна, а так же с регулированием жесткости конструкции, является актуальной задачей.

Конструкции сопряжения мостов и путепроводов с подходными насыпями достаточно сложны, а их устройство связано

с использованием большого объема ручного труда.

В практике строительства и эксплуатации конструкций сопряжения используются различные типы устройств:

- а) с укладкой железобетонной плиты;
- б) с устройством подходной насыпи большей плотности;
- в) с устройством железобетонных коробов, заполненных щебнем;
- г) с устройством щебеночной подушки переменной толщины, послойно армированной геосинтетическими материалами и др.

Основной из используемых на автомобильных дорогах России конструкций, является сопряжение с укладкой железобетонной плиты. При этом устраивается дренажная засыпка в пределах конуса и за опорами сооружения, по которой выполняют укладку железобетонных переходных плит длиной 4, 6 или 8 м в пределах проезжей части. Длина переходных плит всех типов выбирается в зависимости от высоты насыпи, геологических условий ее основания и категории дороги. Известно, что средняя высота насыпи на подходах составляет: для средних мостов 4,0 м, для больших – 5,0 м. Зона активных местных деформаций возле моста простирается на длину, в среднем равную высоте насыпи. Поэтому, как правило, с формальной точки зрения длина переходных плит, используемых в настоящее время, является достаточной для ее перекрытия [3]. Однако деформации земляного полотна здесь по-прежнему продолжают.

Технология реализации других перечисленных конструкций сопряжений имеет ряд существенных недостатков, основным из которых является частичное, либо полное переустройство земляного полотна подходного участка, что вызывает сложности и приводит к значительным трудозатратам. Переустройство земляного полотна, в свою очередь, приводит к полному, либо частичному (в зависимости от количества полос движения) длительному ограничению движения по участку автомобильной дороги.

В Сибирском государственном университете путей сообщения ведется разработка новых конструкций сопряжения мостов и путепроводов с подходными насыпями, исключая перечисленные недостатки [3,4]. Сопряжение проезжей части автодорожного моста с подходной насыпью

по разработанному методу выполняют путем формирования набивных свай, размещенных поперек насыпи. При этом, среднюю жесткость полосы насыпи уменьшают от максимальной у устоя моста до минимальной у границы сопряжения. Такая совокупность операций позволяет использовать набивные сваи вместо укладки переходной плиты, обеспечивая плавное изменение жесткости грунта в насыпи в вертикальном и в горизонтальном направлении за счет жесткости тела самой сваи. Кроме того, плотность грунта в теле насыпи повышается за счет его глубинного уплотнения, происходящего при формировании набивной сваи. Набивные сваи целесообразно устраивать из дренирующих грунтов (крупные и гравелистые пески, щебень, шлак) в пробитых скважинах. Такие, дренажные сваи одновременно выполняют несколько функций: дополнительно уплотняют грунты земляного полотна или его основания в наиболее опасной зоне; воспринимают нагрузку от движущегося транспорта, передаваемую через дорожную одежду; осуществляют отвод избыточной воды из верхней зоны земляного полотна в основание насыпи [3].

Уменьшение жесткости насыпи достигается путем уменьшения количества набивных свай, размещенных в параллельных рядах, по мере удаления от устоя моста. Такая операция позволяет выдержать необходимую среднюю жесткость насыпи, не прибегая к послойной отсыпке гравийно-щебеночных слоев с их послойным уплотнением. Набивные сваи выполняют с переменной несущей способностью путем изменения их длин и/или диаметров в каждом последующем ряду от устоя моста. Изменение длин набивных свай в каждом последующем ряду от устоя моста обеспечивает переменную жесткость подходной насыпи в направлении от опоры моста.

Достижение переменной несущей способности набивных свай за счет одновременного изменения их длин и диаметров в каждом последующем ряду от устоев моста позволяет оптимизировать параметры свай при минимальных технологических затратах и обеспечивать переменную жесткость грунта в насыпи как под дорожной одеждой, так и под переходной плитой [3].

Работы в данном направлении ведутся и в настоящее время. Разрабатываются и апробируются технологии применения современных материалов и методов устройства буронабивных свай (жестких вертикальных элементов) в конструкциях сопряжений искусственных сооружений с подходящими насыпями.

В частности, авторами предлагается для изготовления набивных свай использовать раскатчик скважин, который имеет ряд преимуществ относительно пневмопробойника, а для заполнения скважин использовать низкомарочную бетонную смесь. Основное преимущество – повышение качества уплотнения грунтов земляного полотна в межсвайном пространстве, при том, как пневмопробойник уплотняет грунты в основном в нижней части рабочего органа, образуя «ядро» перед собой. Применение бетонной смеси позволяет значительно повысить несущую способность набивных свай и упрощает технологию заполнения раскатанных скважин [5].

Предложенный способ позволяет не только исключить факторы просадок, связанных с недостаточным уплотнением грунтов при возведении насыпи, но и создать конструкцию переменной жесткости за счет варьирования шагом и глубиной свай. При этом конструкция сопряжения практически не восприимчива к её водонасыщению.

Технология реализации описанного способа армирования грунта путем раскатки

скважин заключается в следующем. На предварительно подготовленной площадке (после разборки дорожной одежды) осуществляется разметка будущих скважин. Раскатчик скважин устанавливается в рабочее положение и производится формирование скважин. После извлечения раскатчика скважина заполняется бетоном класса В10 на мелкозернистом заполнителе, при этом заполнение скважины следует производить не позднее чем через 2 часа после окончания формирования скважин. При более длительном перерыве необходимо производить повторное формирование скважины.

Раскатчик скважин (рис. 2а) содержит эксцентрично установленные на приводном валу и развернутые относительно его оси конические (нарастающего диаметра) катки, которые, при вращении приводного вала, спирально обкатываясь по соответствующим каждому катку забою, уплотняют грунт и формируют стенку скважины. Разворот катков раскатчика относительно оси приводного вала и вращение приводного вала в правом (вид со стороны привода) направлении обеспечивают собственную прямую осевую подачу (самопродвижение) рабочего органа.

В процессе раскатки в грунте формируется зона уплотнения, диаметр которой составляет до четырех диаметров образуемой скважины (рис. 2б). Радиус зоны деформации при этом составляет до шести диаметров раскатываемой скважины.

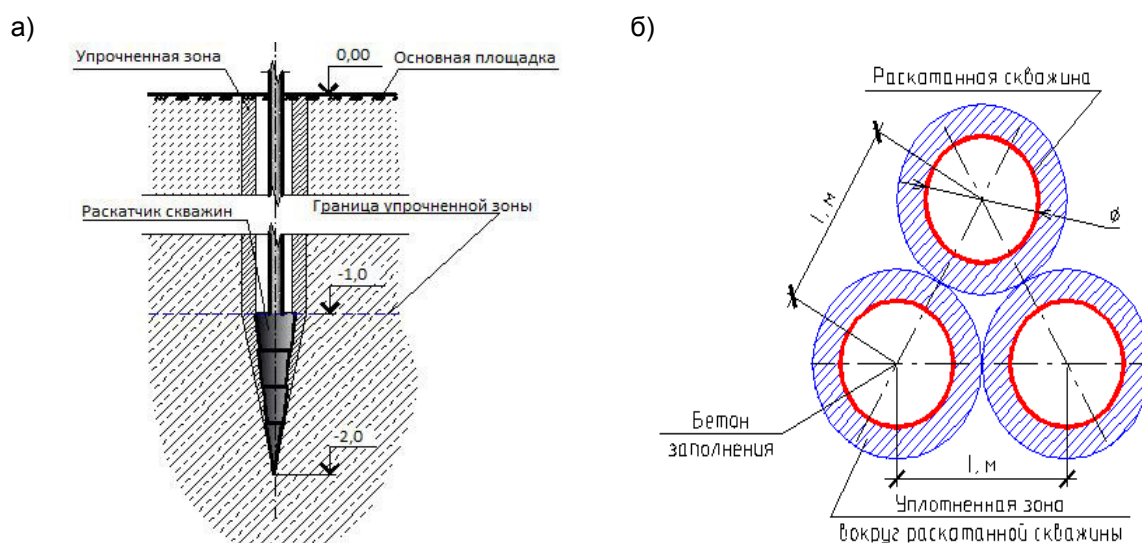


Рис. 2. Раскатчик скважин

Из опыта применения метода уплотнения грунтов известно, что значительное улучшение физико-механических свойств грунта достигается при достижении плотности сухого грунта $\rho_d^{упл}=1,65 \text{ т/м}^3$. Так же, при такой плотности, грунт становится маловодопроницаемым. Максимальный шаг скважин в плане, дающий требуемый эффект, определяется по формуле:

$$L = 0,95 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{\rho_d^{упл}}{\rho_d^{упл} - \rho_d^{ест}}}, \quad (1)$$

где d – диаметр скважины, м; $\rho_d^{упл}$ – требуемая плотность сухого грунта, т/м^3 ; $\rho_d^{ест}$ – плотность сухого грунта до уплотнения, т/м^3 .

При применении для производства работ раскатчиков скважин с диаметром $d=150 \text{ мм}$, рекомендуется применять шаг расстановки свай в продольном направлении $L_{\text{прод}}=500 \text{ мм}$, в поперечном направлении – $L_{\text{поп}}=300 \text{ мм}$ (в шахматном порядке).

Отметка низа уплотненной зоны переменная – длина свай уменьшается по мере удаления от устоя моста.

Разработанный способ обладает рядом преимуществ:

а) при устройстве такого рода свай исключаются работы, связанные с вывозом и складированием грунта, так как в процессе производства буровых работ грунт не извлекается, а уплотняется в стенки скважин;

б) при проходке скважин раскатчиком и заполнении их бетонной смесью в рабочем слое земляного полотна образуются дополнительные армирующие бетонные элементы, а грунт в уплотненной зоне становится маловодопроницаемым;

в) малые габариты установок, невысокая стоимость, материалоемкость, и высокая производительность работ. Буровая установка типа «манипулятор» располагается за пределами насыпи;

г) оперативное проведение контроля качества работ на строительной площадке;

д) не ограничена длина переходных участков, как, например, длинной переходной

железобетонной плиты. Достигается большая плавность перехода.

Расчет конструкций сопряжения искусственных сооружений с подходными насыпями

Для подтверждения технической эффективности разработанной технологии сопряжения таких искусственных сооружений, как мосты, путепроводы и виадуки (далее ИССО) с подходными насыпями, произведено сравнение двух вариантов конструкций переменной жесткости:

Вариант №1: Укладка железобетонной переходной плиты;

Вариант №2: Армирование рабочего слоя земляного полотна на переходном участке бетонными буронабивными сваями (БНС), в раскатанных скважинах.

Кроме того рассчитан вариант без конструкций переменной жесткости.

Исследование работы грунтов подходной насыпи выполнено с использованием численного моделирования в программном комплексе, основанном на методе конечных элементов. Для каждого расчетного варианта определялась осадка насыпи в плоской постановке задачи. Моделирование работы насыпи выполнялось с применением стандартных модулей программного комплекса. Для этого в графическом редакторе программного комплекса создавалась геометрическая модель участка сопряжения. Затем с помощью инструментов геометрического редактирования создавалась сетка конечных элементов с операционным контролем связности генерированных элементов.

Расчетные схемы вариантов сопряжения ИССО с подходными насыпями представлены на рисунке 3. Нагрузка на подходные насыпи принята по ГОСТ Р 52748-2007 [6] в виде одиночной четырехосной тележки НК (9К на колесо, k для земляного полотна 8,3). При расчете, с определенным шагом имитировалось движение автомобильной нагрузки в направлении с моста на подходную насыпь (на рисунке 3 представлены расчетные схемы в различный момент времени).

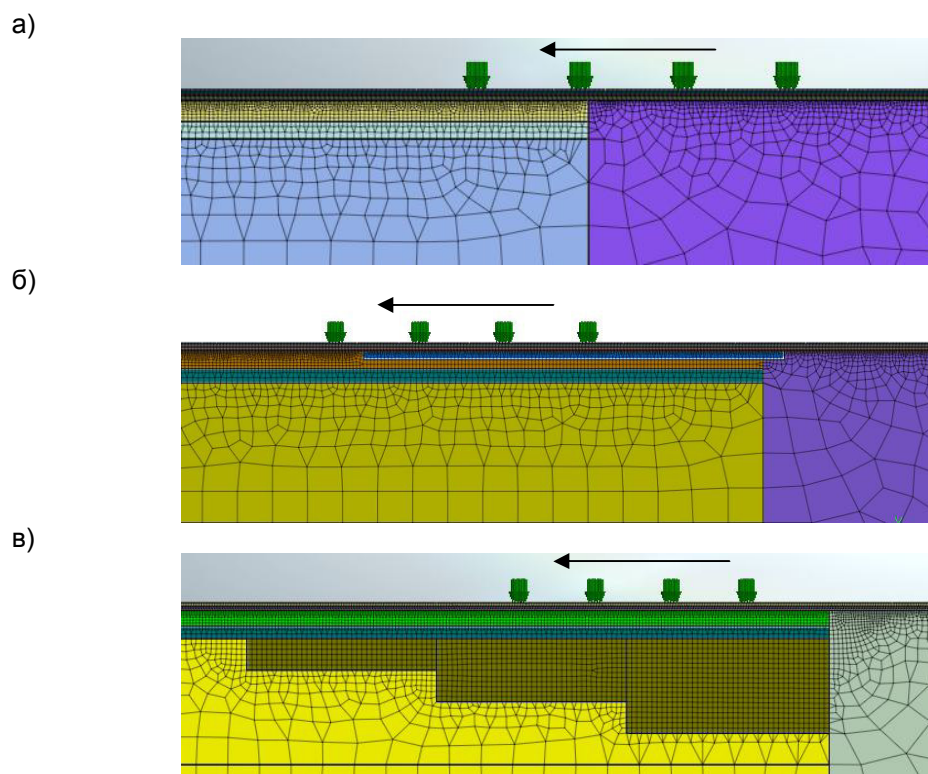


Рис. 3. Расчетные схемы конструкций сопряжения ИССО с подходными насыпями:
а) без конструкций переменной жесткости; б) укладка железобетонной переходной плиты;
в) армирование рабочего слоя земляного полотна на переходном участке БНС в раскатанных скважинах.

Участок подходной насыпи без конструкций переменной жесткости (рисунок 3а) включает в себя следующие слои покрытия и основания дорожной одежды, в так же рабочего слоя земляного полотна (сверху вниз): верхний слой покрытия (а/б плотный – 6 см, характеристики приняты по [7]); нижний слой покрытия (а/б пористый – 8 см, по [7]), верхний слой основания (ЩПС С5 – 25 см, по [7]), нижний слой основания (песок крупный – 20 см, по [7]), земляное полотно (суглинок III.X.1 дорожного района, характеристики приняты по [8]). Построение грунтовой среды выполнялось на базе модели упруго-пластичной среды Кулона-Мора, использующей основные параметры пластичности – удельное сцепление c , угол внутреннего трения ϕ , модуль упругости E и коэффициент Пуассона ν .

Вариант с железобетонной переходной плитой заключается в укладке конструкции, длиной 6,0 м и толщиной 12,0 см (рис. 3б), опирающейся одним краем на конструкции мостового устоя.

Последний вариант (БНС_В1) устройства сопряжения моста с подходной насыпью

заключается в армировании рабочего слоя земляного полотна бетонными БНС, в раскатанных скважинах (рисунок 3в). Переменная жесткость достигается за счет разноглубинного усиления грунтов методом раскатки скважин. В насыпи смоделировано три участка длиной по 3,0 метра. Высота усиленных массивов составляет 1,5, 1,0 и 0,5 м считая от моста. Диаметр скважин принят $d=150$ мм, шаг расстановки свай в продольном направлении $L_{\text{прод}} = 500$ мм, в поперечном направлении – $L_{\text{поп}} = 300$ мм (в шахматном порядке). По проведенным ранее исследованиям зависимости характеристик усиленного массива от шага расстановки свай [5], принят приведенный модуль деформации усиленного массива 400 МПа.

По результатам расчета при различном положении нагрузки (через определенные интервалы) получены значения вертикальных упругих прогибов / покрытия дорожной одежды при проезде нагрузки НК. На рисунке 4 представлены примеры деформированного вида вариантов сопряжений (положение нагрузки не совпадает).

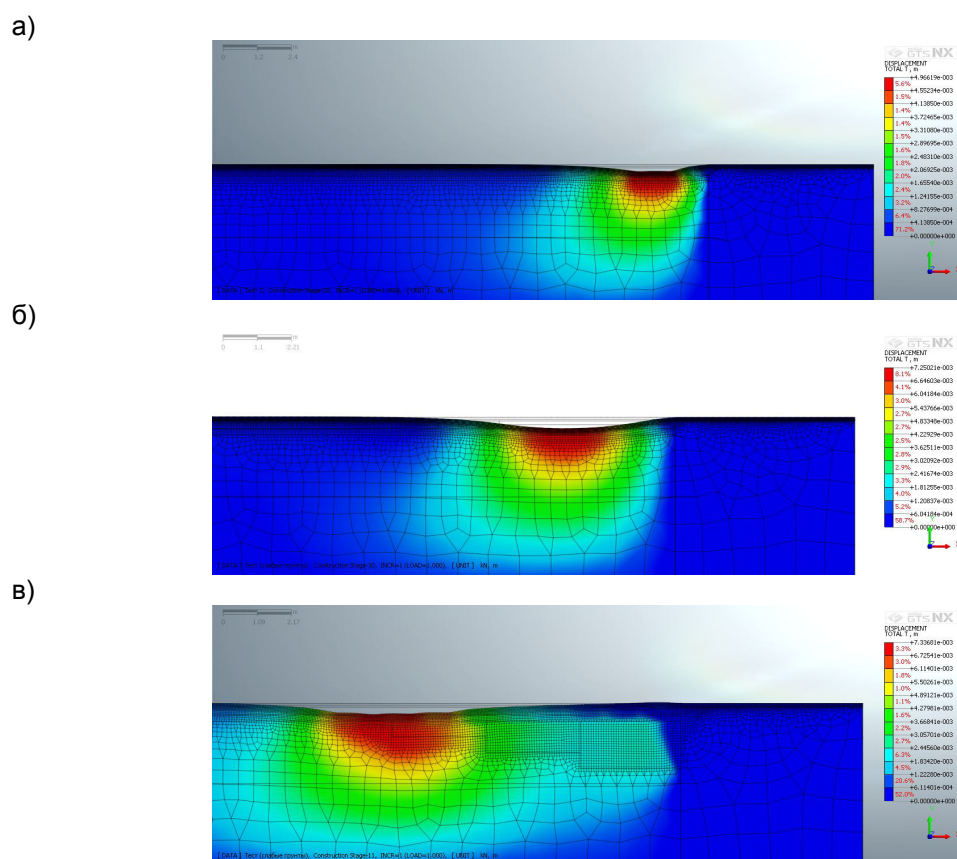


Рис. 4. Примеры деформированного вида вариантов сопряжения:

а) без конструкций переменной жесткости; б) укладка железобетонной переходной плиты; в) армирование рабочего слоя земляного полотна на переходном участке БНС в раскатанных скважинах.

Далее, после обработки результатов расчета, выполнено построение эпюр максимального упругого прогиба f в

зависимости от расстояния L до ИССО (рис.5).

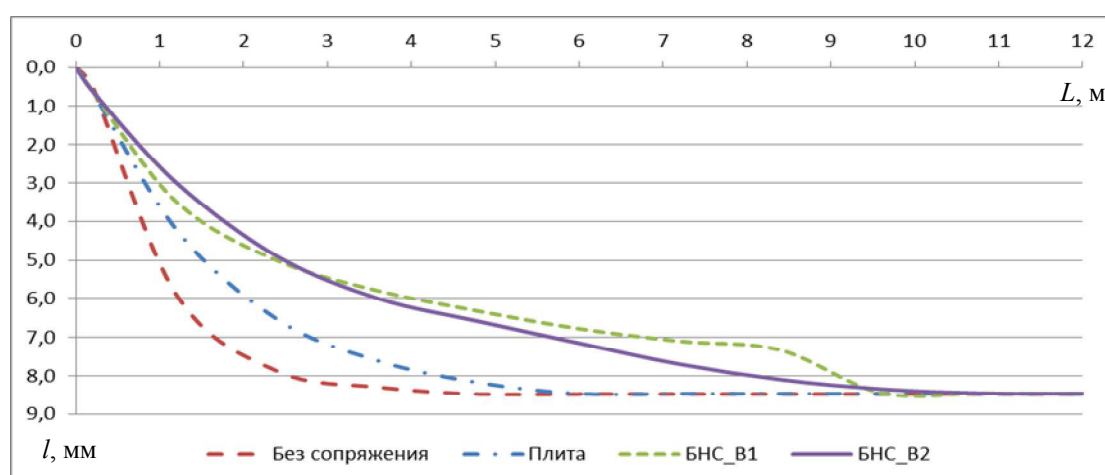


Рис. 5. Эпюры максимального упругого прогиба f в зависимости от расстояния L до ИССО

Анализ эпюр показал, что без применения каких либо конструкций сопряжения, практически сразу ($L=1,0-1,5$ м) упругий прогиб подходного участка принимает свое

максимальное значение, и транспортное средство резко «проваливается» на величину упругой осадки. В непосредственной близости от моста (до 1,0 м) упругий прогиб меньше,

что объясняется особенностями четырехосной тележки НК с расстоянием между осями 1,2 м. В этой зоне тележка частично опирается на мост либо воздействует крайней осью, под которой наблюдается меньшее значение упругого прогиба в отличие от 2 или 3 оси.

При применении железобетонной переходной плиты, за счет опирания её края на конструкции устоя моста, происходит более плавное увеличение упругого прогиба. При этом, поскольку плита не абсолютно жесткая, увеличение прогиба происходит по достаточно криволинейному закону с малым радиусом кривизны. Кроме того, крайняя часть плиты (1,5-2,0 м), опирающаяся на грунт, практически не дает уменьшения прогиба, и увеличение длины плиты до 8,0 м практически не дает положительного эффекта. Увеличение жесткости (толщины и армирования) и длины плиты, как правило технически (трудности транспортировки) и экономически не обосновано.

При применении бетонных БНС в раскатанных скважинах по варианту БНС_В1 в зоне сопряжения моста с подходной насыпью наблюдаются наименьшие упругие прогибы, увеличивается радиус кривизны эпюры осадок, однако на конце участка наблюдается резкий «скачок» значений деформаций. Плавность эпюры упругого прогиба и скачок при переходе с зоны усиления на естественный грунт земляного полотна указывают на то, что варьирование глубиной БНС не в полной степени обеспечивает плавное изменение жесткости переходного участка, а нагрузка рассеивается главным образом в верхней части зоны усиления.

Для устранения этого недостатка произведено варьирование шагом расстановки свай (вариант БНС_В2). В ближней к мосту трети сопряжения шаг свай плавно сгущен до коэффициента 1,5 относительно исходного шага, в дальней от моста трети сваи плавно разрежены до того же коэффициента. В этом случае в первой трети сопряжения моста с подходной насыпью упругие прогибы снизились, а в последней увеличились, обеспечив плавность перехода. Общий радиус кривизны эпюры осадок увеличился.

Увеличение радиуса кривизны (плавности спуска) эпюры упругих осадок позволяет минимизировать вертикальные ускорения, а следовательно и динамическую составляющую Δ к нагрузке на колесо [9].

Динамическая составляющая к нагрузке на колесо при движении по криволинейному (вогнутому) участку автомобильной дороги может быть вычислена из уравнения (записанного согласно II закону Ньютона):

$$\frac{Q}{g} \cdot a^n = N^D - Q = \Delta, \quad (2)$$

где Q – расчетная нагрузка на колесо тележки, принимаемая в расчетах 74,7 кН; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с²; a^n – проекция ускорения колеса на ось главной нормали, м/с²; N^D – сила реакции опоры, эквивалентная динамической силе от колеса тележки на дорожную одежду, кН;

Проекция ускорения колеса на ось главной нормали определяется по формуле

$$a^n = \frac{V^2}{\rho}, \quad (3)$$

где V – линейная скорость движения колеса тележки, принимаемая в расчетах 33,34 м/с (120 км/ч); ρ – радиус кривизны траектории движения тележки, м.

Радиус кривизны траектории в точке с координатами (x,y) можно определить по формуле:

$$\rho = \frac{[1 + (y'(x))^2]^{\frac{3}{2}}}{|y''(x)|}, \quad (4)$$

где $y(x)$ – функция плоской кривой; $y'(x)$ – первая производная функции плоской кривой; $y''(x)$ – вторая производная функции плоской кривой.

Функции кривых в виде полиномов получены в результате аппроксимации эпюр максимального упругого прогиба.

Результаты расчета динамической составляющей Δ к нагрузке на колесо в рассматриваемых условиях сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчета динамической составляющей Δ к нагрузке на колесо в рассматриваемых условиях

№ п/п	Наименование расчетной схемы	Радиус кривизны траектории, $R, м$	Динамическая сила от колеса тележки $N^D, кН$	Динамическая составляющая $\Delta, кН$	Динамическая составляющая, % дополнительно к Q
1	Без конструкции сопряжения	545	90,2	15,5	20,8
2	Железобетонная переходная плита	1220	81,6	6,9	9,3
3	БНС В1	2400	78,2	3,5	4,7
4	БНС В2	3300	77,3	2,6	3,4

Наличие указанной динамической составляющей, в определенных условиях может привести к превышению итоговой нагрузки на колесо над пределом упругой работы конструкции (превышению активного напряжения сдвига над предельной величиной), что способствует образованию остаточных деформаций. Вероятность образования остаточных деформаций дорожного покрытия значительно увеличивается при превышении нормативных нагрузок, некачественном уплотнении грунтов у устоя ИССО, их увлажнении, некачественном возведении дорожной одежды и т.д. При этом сами остаточные деформации формируют «провал» дорожной одежды и усиливают динамическое воздействие на дорожные конструкции в зоне сопряжения ИССО с подходными насыпями.

Предложенная конструкция сопряжения с армированием рабочего слоя земляного полотна бетонными БНС в раскатанных скважинах в рассматриваемых условиях не только минимизирует динамическую составляющую Δ к нагрузке на колесо, но и увеличивает плотность и снижает влаговязимость рабочего слоя земляного полотна.

Заключение

Применение конструкций сопряжения ИССО с подходными насыпями в виде переходных участков из набивных свай, в отличие от альтернативных способов позволяет не только доуплотнить и снизить влаговязимость грунтов рабочего слоя земляного полотна не прибегая к земляным работам, но и дает возможность эффективного варьирования жесткостью за счет шага и глубины свай.

Использование для изготовления набивных свай раскатчика скважин, позволяет повысить качество уплотнения грунтов земляного полотна в межсвайном пространстве, а применение в качестве

заполнителя бетонной смеси значительно повышает жесткость конструкции и упрощает технологию заполнения раскатанных скважин.

Расчетами установлено, что в рассматриваемых условиях при применении предложенного способа в зоне сопряжения моста с подходной насыпью наблюдаются наименьшие упругие прогибы и обеспечивается плавность перехода. Варьирование глубиной БНС не в полной степени обеспечивает плавное изменение жесткости переходного участка, что нивелируется варьированием шагом расстановки свай. При этом динамическая составляющая Δ к нагрузке на колесо, возникающая при съезде транспортного средства с ИССО на подходную насыпь минимизируется.

Библиографический список

1. Бобылев, Л.М. Уплотнение грунтов и щебня в местах сопряжения земляного полотна с мостами и трубами / Л.М. Бобылев, М.М. Журавлев // Автомобильные дороги. – 1974. – № 1. – С. 16-17.
2. Журавлев, М.М. Сопряжение проезжей части автодорожных мостов с насыпью / М.М. Журавлев. – М.: Транспорт, 1976. – 81 с.
3. Крицкий, М.Я. Новая конструкция сопряжения насыпей автомобильных дорог с мостами и путепроводами / М.Я. Крицкий, В.Ф. Скоркин, В.Н. Кошелев // Актуальные проблемы повышения надежности и долговечности автомобильных дорог и искусственных сооружений на них. – Барнаул, 2003. – С. 75-78.
4. Ланис, А.Л. К вопросу разработки конструкций участка насыпи переменной жесткости на подходах к мосту / А.Л. Ланис, Д.А. Разуваев, К.В. Востриков // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути: мат.-лы IX науч.-техн. конф. с международным участием, г. Москва. (4-5 апреля 2012 г.). – Москва, 2012. – С. 185 – 188.
5. Ланис, А.Л. К вопросу определения грунтовых параметров, оказывающих влияние на диаметр раскатанной скважины / А.Л. Ланис, П.О. Ломов // Научные проблемы транспорта Сибири и

Дальнего Востока. – Новосибирск: НГАСУ, 2015. – № 3. – С. 92 – 97.

6. ГОСТ Р 52748-2007 Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения. – М.: Стандартинформ, 2008. – 13 с.

7. ОДН 218.046–01. Проектирование нежестких дорожных одежд / Минтранс России. – М.: Информавтодор, 2001. – 145 с.

8. СТП ТУАД 32-03–2000. Расчетные значения характеристик глинистых грунтов земляного полотна для проектирования по условиям морозостойкости и прочности нежестких дорожных одежд автомобильных дорог Новосибирской области / ТУАД НСО. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2000. – 32 с.

9. Смолин, Ю.П. Исследование динамических воздействий автотранспортом на дорожную одежду, закрепленную синтетическим полимером / Ю.П. Смолин, А.Л. Ланис, Д.А. Разуваев // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – Томск: ТГАСУ, 2012. – №2 (35). – С. 230 – 234.

CONJUGATION OF APPROACH FILL WITH BRIDGE AND OVERBRIDGE

A.L. Lanis, D.A. Razuvaev, P.O. Lomov

Abstract. Questions of conjugation bridge, overbridge and viaducts with approach fill were considered. Reasons for the formation of residual deformations in the roadway identified, also It was considered applicable constructions. It was suggested construction of conjugation listed artificial structures with approach fill, consisting in reinforcement of the subgrade in the transition area concrete filling pile. The effectiveness was confirmed by estimations of elastic deflection of the roadway and research their changes along area of the proposed method of conjugation.

Keywords: subgrade, approach fill, bridge, overbridge, soil compaction, filling pile, flaring apertures.

References

1. Bobylev L.M., Zhuravlev M.M. Uplotnenie gruntov i shchebnya v mestakh sopryazheniya zemlyano-nogo polotna s mostami i trubami [Consolidation of soil and crushed stone in places of interface of a road bed to bridges and pipes]. *Avtomobilnye dorogi*, 1974, no 1. pp. 16-17.

2. Zhuravlev M.M. *Sopryazhenie proezzhey chasti avtodorozhnykh mostov s nasypyu* [Interface of the carriageway of road bridges to an embankment]. Moscow, Transport, 1976. 81 p.

3. Kritskiy M.Ya., Skorkin V.F., Koshelev V.N. Novaya konstruktivnaya sopryazheniya nasypей avtomobilnykh dorog s mostami i puteprovodami [New design of interface of embankments of highways to bridges and overpasses]. *Aktualnye problemy povysheniya nadezhnosti i dolgovechnosti avtomobilnykh dorog i iskusstvennykh sooruzheniy na nikh*, Barnaul, 2003. pp. 75-78.

4. Lanis A.L., Razuvaev D.A., Vostrikov K.V. K voprosu razrabotki konstruktivnykh uchastka nasypi peremennoy zhestkosti na podkhodakh k mostu [To a question of development of designs of a site of an embankment of variable rigidity on approaches to the bridge]. *Sovremennye problemy proektirovaniya, stroitelstva i ekspluatatsii zheleznodorozhnogo puti: mat-ly IX nauch.-tekhn. konf. s mezhdunarodnym uchastiem*, g. Mooscow. (4-5 aprelya 2012), Mooscow, 2012. pp. 185- 188.

5. Lanis A.L., Lomov P.O. K voprosu opredeleniya gruntovykh parametrov, okazyvayushchikh vliyaniye na diametr raskatannoy skvazhiny [To a question of determination of the soil parameters exerting impact on diameter of the rolled well]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dalnego Vostoka*, Novosibirsk, NGAVT, 2015, no 3. pp. 92 – 97.

6. GOST R 52748-2007 Dorogi avtomobilnye obshchego polzovaniya. Normativnye nagruzki, raschetnye skhemy nagruzeniya i gabarity priblizheniya [State standard P 52748-2007 public highways. Standard loadings, settlement schemes of loading and dimensions of approach]. Moscow, Standartinform, 2008. 13 p.

7. ODN 218.046–01. *Proektirovanie nezhestkikh dorozhnykh odezhd* [ODN 218.046-01. Design of nonrigid road clothes]. Moscow, Informavtodor, 2001. 145 p.

8. СТП ТУАД 32-03–2000. Raschetnye znacheniya kharakteristik glinistykh gruntov zemlyanogo polotna dlya proektirovaniya po usloviyam morozoustoychivosti i prochnosti nezhestkikh dorozhnykh odezhd avtomobilnykh dorog Novosibirskoy oblasti [STP TUAD 32-03-2000. Calculated values of characteristics of clay soil of a road bed for design under the terms of frost resistance and durability of nonrigid road clothes of highways of the Novosibirsk region]. *TUAD NSO*, Tomsk, TGAUS, 2000. 32 p.

9. Smolin Yu.P., Lanis A.L., Razuvaev D.A. Issledovanie dinamicheskikh vozddeystviy avto-transportom na dorozhnuyu odezhd, zakreplennuyu sinteticheskim polimerom [Research of dynamic influences by motor transport on the road clothes fixed by synthetic polymer]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, Tomsk: TGAUS, 2012, no 2 (35). pp. 230 – 234.

Ланис Алексей Леонидович (Новосибирск, Россия) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Геология, основания и фундаменты» ФГБОУ ВО «СГУПС» (630049, Новосибирск, ул. Д. Ковальчук - 191, e-mail: alangeo@bk.ru).

Разуваев Денис Алексеевич (Новосибирск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Изыскания, проектирование и постройка железных и автомобильных дорог» ФГБОУ ВО «СГУПС» (630015, г. Новосибирск, 630049, Новосибирск, ул. Д. Ковальчук - 191, e-mail: razdenis@mail.ru).

Ломов Петр Олегович (Новосибирск, Россия) – аспирант, преподаватель кафедры «Теоретическая механика» ФГБОУ ВО «СГУПС» (630015, г. Новосибирск, 630049, Новосибирск, ул. Д. Ковальчук - 191, e-mail: lomovpo@mail.ru).

Aleksey L. Lanis (Novosibirsk, Russian Federation) – candidate of technical sciences, Ass. Professor, Department «Geology, bases and foundations» Siberian State University of Transport Engineering (630015, Novosibirsk, 630049, Novosibirsk, D. Kovalchuk St. - 191, e-mail: alangeo@bk.ru).

Denis A. Razuvaev (Novosibirsk, Russian Federation) – candidate of technical sciences, Ass. Professor Department «Research, design and construction of Railways and roads» Siberian State University of Transport Engineering (630015, Novosibirsk, 630049, Novosibirsk, D. Kovalchuk St. - 191, e-mail: razdenis@mail.ru).

Petr O. Lomov (Novosibirsk, Russian Federation) – postgraduate student, teacher of Department «Theoretical Mechanics» Siberian State University of Transport Engineering (630015, Novosibirsk, 630049, Novosibirsk, D. Kovalchuk St. – 191, e-mail: lomovpo@mail.ru).

УДК 625.72:528.48:658.562

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОЛОЖЕНИЯ НИВЕЛИРНЫХ ХОДОВ ПРИ ИЗЫСКАНИИ И ВЫНОСА ВЫСОТНЫХ ОТМЕТОК ПИКЕТОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Ю.В. Столбов¹, С.Ю. Столбова¹, Л.А. Пронина¹, И.Е. Старовойтов²

¹ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск;

²Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, Россия, г. Омск.

Аннотация. Рассмотрено обеспечение точности проложения нивелирных ходов при изыскании и выноса высотных отметок пикетов при строительстве автомобильных дорог. Приведены допуски, классы нивелирования и длины высотных ходов при проложении их вдоль или по трассе при изыскании и выносе высотных отметок пикетов при строительстве автомобильных дорог с учетом их категорий, использования комплектов машин выдерживания высотных отметок и коэффициентов точности технологических процессов при выполнении геодезических и строительных работ.

Ключевые слова: автомобильные дороги, изыскание и строительство, технологические процессы, обеспечение точности, проложение нивелирных ходов, вынос высотных отметок пикетов.

Введение

Для обеспечения регламентированного высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог необходимы обоснованные нормы точности геодезических разбивочных работ по стадиям их выполнения. В нормативных документах по регламентации точности строительства автомобильных дорог, в СНиП 3.06.03 – 85 [1] и актуализированной редакции этого документа своде - правил СП 78.13330.2012 [2], нет норм точности допусков на геодезические разбивочные работы. В ранее действующих нормативных документах [3] и [4], по правилам производства и приемки работ при строительстве автомобильных дорог, были указаны допустимые отклонения (предельные погрешности) не только на строительные, но и на геодезические работы, в отличие от ныне действующих СНиП 3.06.03 – 85 [1] и СП 78.13330.2012 [2].

В СНиП 3.01.03 – 84 [5] и его актуализированной редакции – своде правил СП 126.13330.2012 [6], приведены величины среднеквадратических погрешностей разбивочных сетей и геодезических измерений, в процессе строительства автомобильных дорог, без учета их категорий, использования комплектов машин выдерживания высотных отметок, стадий выполнения работ, коэффициентов точности технологических процессов при устройстве их оснований и покрытий.

Следовательно, для обеспечения регламентируемого высотного положения оснований и покрытий дорожных одежд, необходимо обоснование норм точности: проложения нивелирных ходов вдоль или по трассе автомобильных дорог при изыскании (с закреплением рабочих реперов вне зоны производства земляных работ при их строительстве); разбивки (выноса) высотных отметок пикетов от рабочих реперов на