

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов

УДК [UDC] 624.01.032

DOI 10.17816/transsyst20206445-60

© Г. А. Аверченко, А. Д. Павленко, Е. А. Зорина, Д. Н. Наборщикова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Инженерно-строительный институт
(Санкт-Петербург, Россия)

СТРОИТЕЛЬСТВО ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ МЕТОДОМ ПРОДАВЛИВАНИЯ ГОТОВЫХ ЗВЕНЬЕВ В НАСЫПЬ

Аннотация. Объектом исследования данной статьи являются водопропускные трубы, а именно технология их строительства. Данная тема является актуальной в связи с развитием дорожного строительства, которое в свою очередь требует качественного водоотвода, осуществляемого в большинстве случаев водопропускными трубами.

Целью исследования является выбор и обоснование наиболее рационального способа строительства водопропускных труб на автомобильных и железных дорогах. В статье проанализированы преимущества и недостатки метода продавливания готовых звеньев в насыпь. Рассмотрены различные варианты используемых в этом методе труб, выбраны самые подходящие материал и форма. Выделены особенности работы вновь возведенных водопропускных труб в первый год их службы.

Результатом исследования является доказанное преимущество метода продавливания готовых звеньев в насыпь, а именно с помощью труб круглой формы из наиболее подходящего материала для выполнения данных работ-гофрированного железа.

Ключевые слова: водопропускная труба, гофрированное железо, продавливание звеньев, возведение труб, автомобильные дороги, железные дороги, водопропускные сооружения, искусственные сооружения, инженерные сооружения.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field – Design and construction of roads, subways

© G. A. Averchenko, A. D. Pavlenko, E. A. Zorina, D. N. Naborschikova
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
(Civil Engineering institute, St. Petersburg, Russia)

CONSTRUCTION OF CULVERTS BY PUSHING THE FINISHED LINKS INTO THE EMBANKMENT

Annotation. The object of research in this article is culverts, namely the technology of their construction. This topic is relevant in connection with the development of road construction, which in turn requires high-quality drainage, carried out in most cases by culverts.

The purpose of the study is to select and justify the most rational method of construction of culverts on roads and Railways. The article analyzes the advantages and disadvantages of the method of pushing finished links into the embankment. Various variants of pipes used in this method are considered, and the most suitable material and shape are selected. The features of operation of newly constructed culverts in the first year of their service are highlighted.

The result of the study is a proven advantage of the method of pushing finished links into the embankment, namely, using round-shaped pipes made of the most suitable material for performing these works-corrugated iron.

Keywords: culvert, corrugated iron, link punching, pipe construction, highways, Railways, culverts, artificial structures, engineering structures.

ВВЕДЕНИЕ

В 21 веке дороги имеют стремительные темпы развития. Это связано с большим объемом перевозок. Объем перевозок увеличивается, прежде всего с развитием производства, бизнеса, обеспечения занятости населения, укрепления межрегиональных связей в масштабах страны и еще многого другого. Водопрпускные трубы, в свою очередь, являются одними из самых многочисленных искусственных сооружений на автомобильных и железных дорогах. Основной целью их возведения является безопасный отвод воды. Правильно организованный отвод воды от дороги обеспечивает ее безопасность и увеличивает срок службы. Именно поэтому вопрос строительства водопрпускных труб является актуальным в наши дни [1, 2]. Также немаловажной задачей является нахождение наилучшего варианта производства работ и стандартизация методов возведения данных сооружений.

В своем исследовании основное внимание в первую очередь мы обратили на возведение труб на новом месте, так как при постройке на новом месте наилучшим образом можно применить индустриальные методы типизированного строительства.

Также были изучены важные особенности строительства труб на новом месте, которые помогли сделать значимые выводы. В частности, о том, что предпочтительнее применение закрытых способов (продавливание готовых звеньев, тоннельные способы). Этой теме посвящен первый раздел нашей работы.

В исследовании были проанализированы преимущества и недостатки постройки труб методом продавливания готовых звеньев в насыпь. Изложению этих аспектов посвящен второй раздел этой работы.

В третьем разделе подвергнут обсуждению выбор рационального типа труб при таком способе производства работ. Такими наиболее удачными оказались трубы из гофрированного железа.

В заключительном разделе приводятся наметившиеся практические выводы и возникшие при исследовании вопросы, которые в нём не могли быть разрешены и которые требуют дальнейшей проработки.

ОСОБЕННОСТИ ВОЗВЕДЕНИЯ ТРУБ НА НОВОМ МЕСТЕ

Как показывает опыт строительства, большой процент вновь построенных труб даёт, особенно в первые годы их службы, трещины, перекосы, неравномерную осадку отдельных звеньев и прочие дефекты, если и не выводящие их из строя, то во всяком случае свидетельствующие о тяжелых условиях их работы в этот период.

Основной общей причиной этих отрицательных явлений следует считать значительность длительно действующих изменений внешних сил давления земли, со всех сторон окружающей трубы, и связи с осадками как грунта насыпи, так и грунта под насыпью.

Находящийся над трубой грунт насыпи заметно меняет свои свойства, пока грунт не сложится, не уплотнится. До этих пор земляные массы находятся в движении, дают осадки, уменьшающиеся по мере уплотнения грунта. Грунт под трубой, как получивший новую нагрузку в виде веса трубы и насыпи, точно так же испытывает в большей или в меньшей степени изменение своего состояния и в связи с этим дает более или менее ощутимую осадку, пока грунт основания насыпи не уплотнится до такой степени, при которой дальнейшим изменением плотности основания и соответствующими, все уменьшающимися его осадками можно будет пренебречь. Для большинства грунтов в основном процесс уплотнения заканчивается в первые три-четыре года, по истечении которых дальнейшее уплотнение протекает очень медленно и осадки становятся настолько малыми, что они уже не могут вызвать никаких последствий для исправной службы трубы [3, 4].

Наибольшую напряженность работы трубы и наибольшую опасность появления трещин, перекосов звеньев, частичного или даже полного разрушения представляют периоды первых осенних дождей и первого весеннего таяния снегов.

Эта совершенно очевидная особенность службы трубы очень хорошо согласуется с опытом строительства труб. Первые три-четыре года критические в жизни трубы, и если она выживет эти годы, то в громадном большинстве случаев можно будет рассчитывать на долговечную исправную её службу. Более того, можно с полной уверенностью утверждать, что те дефекты: трещины, перекосы звеньев т.д., которые появились за первые три-четыре года, если только они не развились до аварийного характера, в дальнейшем нарастать не будут, и с наличием их в трубе можно будет примириться без всякого риска, а при принятии самых

несложных мер и без всякого заметного ущерба для срока исправной службы [5].

Долголетнее накопление фактов по авариям и крушениям труб, тщательное их изучение заставляют особое внимание уделять этой ярко характерной особенности работы труб под свежими насыпями.

Можно сказать, что наиболее рационально производить постройку труб длительного срока службы лишь после того, когда насыпь и грунт основания под ней перестанут давать заметные осадки, уплотнятся и земляные массы в основном достигнут состояния равновесия т. е. крайне желательно приступать к постройке постоянного типа труб по истечении трех-четырех лет со времени возведения насыпи, а если это невыполнимо, в крайних случаях можно считать допустимым начинать постройку труб постоянного типа, после того как насыпь простоит осень и следующую за ней весну [6].

Величина осадки насыпи может быть определена по следующей формуле:

$$S = \sum_{i=1}^k \Delta S_i, \quad (1)$$

где ΔS_i - осадка i -го слоя грунта, определяемая по формуле:

$$\Delta S_i = \sum_{j=1}^l \Delta h_{ij} \varepsilon_{ij}, \quad (2)$$

где Δh_{ij} - толщина j -й полоски i -го геологического слоя на заданной вертикали поперечного сечения дороги; ε_{ij} - безразмерный коэффициент, характеризующий сжимаемость грунта в пределах j -й плоскости i -го геологического слоя.

Коэффициент ε_{ij} вычисляется по формуле:

$$\varepsilon_{ij} = \left(\frac{e_{ij}^{\text{быт}} - e_{ij}^{\text{полн}}}{1 + e_{ij}^{\text{быт}}} \right), \quad (3)$$

где $e_{ij}^{\text{быт}}$ - значение пористости при бытовом давлении, осредненном в пределах j -й плоскости i -го геологического слоя; $e_{ij}^{\text{полн}}$ - значение пористости при полном давлении, осредненном в пределах j -й плоскости i -го геологического слоя. Следовательно формула (2) примет вид:

$$\Delta S_i = \sum_{j=1}^l \Delta h_{ij} \left(\frac{e_{ij}^{\text{быт}} - e_{ij}^{\text{полн}}}{1 + e_{ij}^{\text{быт}}} \right). \quad (4)$$

Из формулы (4) видно, что осадка напрямую зависит от пористости грунта насыпи. Очевидно, что пористость слежавшегося грунта

минимальна, а следовательно, грунт будет давать малую осадку. Это значит, что способ выполнения работ по постройке труб должен быть предусмотрен таким, при котором наименьшим образом нарушалась бы структура слежавшегося грунта насыпи.

Выгоды такого порядка возведения труб очевидны. Выпадает наиболее острый период службы трубы, пока насыпь и основание под ней дают заметные осадки.

Конструкция труб может быть заметно облегчена и при её расчёте могут быть учтены лишь те изменения давления земли, которые обуславливаются периодическими изменениями климатических условий в разные времена года. Конструкция труб в этом случае будет приближаться к конструкции обделки тоннелей; устройство фундаментов и даже подготовка основания под трубы становятся излишними.

Особенно выгодным изложенный порядок возведения будет при строительстве труб во всех тех случаях, когда представится малейшая возможность к устройству новой трубы взамен разрушенной и временно или краткосрочно восстановленной на новом месте, где насыпь не потревожена. Во-первых, отпадают все работы по временному пропуску водотока, во-вторых, грунты насыпи и основания под ней на новом месте будут хорошо слежавшимися, уплотненными за время более или менее длительного существования насыпи.

Вследствие значительности этих выводов можно утверждать, что при строительстве труб надлежит возводить новые трубы так, чтобы наименьшим образом нарушалась структура грунтов насыпи и основания под ней.

Даже если постройка трубы на новом месте, взамен старой, получившей значительные разрушения, которые сделали невозможным ее дальнейшее использование в качестве сооружения, обеспечивающего требуемый уровень надежности, сопряжена со значительными работами по направлению водного потока по новому руслу, всё же предпочтительнее возводить трубу на новом месте.

Отказ от устройства трубы на новом месте в каждом отдельном случае должен быть значительно обоснован.

Рассмотрим те обстоятельства, при которых отказ от сооружения трубы на новом месте можно признать обоснованными, и прежде всего обстоятельства, связанные с новым направлением водотока.

Нельзя, конечно, устраивать трубу на новом месте, когда перевод потока на новое русло невозможен или крайне затруднителен, как, например, в случае глубокой ложины, узкого оврага с крутыми берегами, ущелья и т. д.

Не следует устраивать трубу на новом месте и тогда, когда новое русло потока резко ухудшает условия пропуска вод, создает неустраиваемую

опасность подмыва насыпи или фильтрации воды через насыпь, дает недопустимое поднятие горизонта подпорных вод (выше отметки 1,0 м относительно бровки насыпи) и т. п.

Вполне обоснованным можно считать отказ от возведения трубы на новом месте и в случае очень значительной стоимости перевода потока на новое русло.

Перейдем к обосновывающим отказ от сооружения трубы обстоятельствам, связанным с состоянием разрушенной трубы.

Вряд ли целесообразна постройка новой трубы, если труба разрушена лишь частично, и ее восстановление на старом месте не требует значительных расходов и даёт полноценное сооружение.

Сомнительным может оказаться возведение новой трубы при полной сохранности фундамента старой трубы и полной ненарушенной надежности основания под ним, если при восстановлении можно их использовать без больших затрат и получить надёжное сооружение.

Наконец, от сооружения трубы на новом месте может оказаться целесообразным и выгодным отказаться при относительно небольшом возвышении бровки насыпи над верхом трубы, равном или несколько превышающем отверстие трубы, особенно при значительности последнего.

В этом случае нарушение структуры грунтов небольшой по высоте насыпи существенного значения не имеет из-за невысокой насыпи, даже если она свеженаасыпанная [7].

Несмотря на перечисленные случаи, оправдывающие отказ от возведения труб на новом месте, мы подчеркиваем, что основным видом строительства, способным дать сооружение значительной надежности является сооружение труб на новом месте.

Стоит отметить еще одно существенное преимущество сооружения труб на новом месте. Только при устройстве труб на новом месте возможно довести работы по их сооружению до таких высоких степеней стандартизации, которые удовлетворяли бы требованиям современного их существования.

Любые наиболее совершенные способы производства работ по восстановлению труб на старом месте из-за чрезвычайного многообразия существовавших ранее труб и разнохарактерности разрушения неизбежно получают резко выраженный индивидуальный характер и потому их стандартизация никак не может быть доведена до такой степени, как при постройке труб на новом месте.

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ СПОСОБОМ ПРОДАВЛИВАНИЯ ЗВЕНЬЕВ ТРУБЫ В НАСЫПЬ

В случае возведения трубы на новом месте в насыпи, не имеющей

механических повреждений, основным требованием к производству работ должно быть сведение к минимуму нарушения структуры грунтов слежавшейся насыпи, так как только в этом случае можно будет в полной мере реализовать те существенные выгоды, о которых шла речь в предыдущем разделе.

Наиболее практичным, отвечающим поставленным требованиям, способом производства работ является введение готовых звеньев трубы в насыпь под давлением гидравлических домкратов с извлечением грунта из продавливаемой трубы. При данном способе производства работ грунт тела слежавшейся насыпи сохраняет свою уплотненную структуру, за исключением лишь небольшого слоя, который непосредственно обволакивает перемещающиеся звенья. Это те частицы грунта, которые утягиваются вместе со звеньями трубы при их движении, а также частицы, расположенные между движущимися вместе с трубой и сохраняющими свое положение в теле насыпи, которые образуют как бы слой смазки, облегчающий проникновение в насыпь [8].

Общая мощность этих слоев невелика и составляет примерно 10–20 см. Общая масса грунта как насыпи, так и основания остаётся в покое, сохраняя при этом создавшееся в ней установившееся равновесие, и структура грунта этой массы ничем не нарушается, так как деформация вводимых готовых звеньев ничтожно мала.

Слои же нарушенной структуры, окружающие введённые звенья, настолько невелики, что никакого заметного влияния на напряжённое состояние тела насыпи они оказать не могут, даже при действии не только постоянных сил, но проходящих по насыпи транспортных средств. Данный факт является ещё одним существенным преимуществом способа продавливания готовых звеньев, так как именно этот способ представляет наименьшее неудобство для непрерывной эксплуатации дороги. Он не только даёт возможность производить работы без какого-либо перерыва движения, но и не снижает при этом его безопасности. При умеренных высотах насыпи этот способ не требует ограничения скорости. Только при толщине насыпи над трубой порядка полутора диаметра трубы и меньше придётся принимать некоторые меры предосторожности и вводить какие-либо значительные ограничения [9].

Однако стоит отметить, что этим способом продавливаются лишь круглые трубы с внутренним диаметром не свыше 2,00–2,13 м. Главной причиной этого является громоздкость звеньев большого диаметра, а именно в том, что для них не только требуется гораздо большая мощность домкратов, но и возникает трудность обеспечения достаточной равномерности распределения их давления по контуру звена. Расход воды, который могут пропустить круглые трубы диаметром до 2,00–2,13 м, невелик, поэтому для значительных водотоков приходится прибегать к

продавливанию рядом двух, трёх и более труб из звеньев предельного диаметра [10]. Водопропускная способность таких многоочковых труб заметно снижается из-за дополнительного сопротивления движению воды промежутков между очками.

Укрепление ложа водотока перед входом в трубу должно быть усилено из-за вихрей, образующихся при разделении водотока на струи, протекающие по отдельным очкам.

Данный способ производства работ дает возможность заблаговременной массовой заготовки звеньев, причем в условиях, наиболее приближающихся к заводским. То есть, возможно выделить ограниченное число наиболее ходовых стандартных типов звеньев, чем еще в большей мере облегчить и удешевить массовую их заготовку. Это является значимым преимуществом данного способа, позволяющее развернуть работы по продавливанию труб в массовом масштабе [11].

Для самого вдавливания потребуется своевременная подготовка в достаточном количестве гидравлических домкратов надлежащей мощности и приспособленных к специфике применения их для вдавливания звеньев в насыпь.

В настоящее время Красноградским заводом МПС налажен выпуск комплекса для сооружения железобетонных водопрпускных труб методом продавливания через насыпь. Проектные разработки комплекса выполнены институтом Ленгипротрансмост. С помощью такого комплекса можно осуществить проходку трубы в грунтах до IV категории крепости с небольшими (до 300 мм) каменистыми включениями. В состав комплекса входят гидрофицированные элементы: щит, основная и пять промежуточных силовых (домкратных) станций. Разработка забоя и уборка грунта осуществляются механизировано с помощью при-водной лопаты. Средний темп продвижения трубы в насыпи составляет 2 м в смену. С помощью этого комплекса можно сооружать трубы с очком диаметром 2 м в насыпях высотой до 12 м [12].

Развития данного направления стандартизации возведения труб должно осуществляться со следующими оговорками. В целях многократного использования оборудование должно быть сборно-разборным. При этом количество типовых комплектов необходимого оборудования будет небольшим, так как существует ограничение по числу стандартных размеров звеньев. Каждый комплект будет пригоден при любой высоте насыпи и при любой плотности грунта. Подготовка технического персонала и команд к выполнению работ потребует благодаря простоте технологического процесса очень короткого срока обучения и тренировки, при этом скорость проходки будет составлять не менее 0,5–0,6 м/ч.

При соблюдении этих подготовительных операций вдавливание

звеньев может иметь высокую степень стандартизации и дать значительные показатели производительности труда. Это является еще одним, очень ярким преимуществом рассматриваемого способа производства работ, который дает высокие темпы работ и сводит к минимуму затраты рабочей силы.

Наиболее эффективен метод продавливания в устойчивых связных грунтах – глинах, суглинках, а также в насыпях, сложенных уплотненными несвязными грунтами естественной влажности. В неустойчивых грунтах часто требуется их предварительное закрепление, а в водонасыщенных песках и гравелистых отложениях необходимо выполнить предварительное понижение уровня грунтовых вод.

Очевидно, что сложность работ по продавливанию возрастает с увеличением длины и поперечного сечения. Однако постоянное совершенствование технологии работ по продавливанию и возросшая мощность гидравлического оборудования позволяют в настоящее время сооружать все более сложные конструкции.

Кроме того, в отличие от других способов производства работ, продавливание в насыпь не оставляет пазухи и пустоты вне звена круглой трубы, которые впоследствии будут заполняться грунтом с нарушенной структурой. При этом продавливание звеньев происходит целиком, то есть труба требует лишь членение на звенья, а не на более мелкие продольные элементы.

В заключение рассмотрения выгод вдавливания готовых звеньев в насыпь еще раз подчеркнем, что в любой стадии производства работ сооружение является полноценным, гарантирующим максимальную безопасность движения при полной его непрерывности. Отпадает необходимость приостановления работ железнодорожных путей или перекрытия больших магистралей и мелких дорог, дорогостоящее дорожное покрытие не нарушается. Также исключается нанесение вреда экологии и ландшафту.

ВЫБОР НАИБОЛЕЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ТИПА ТРУБ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ ГОТОВЫХ ЗВЕНЬЕВ В НАСЫПЬ

Наиболее целесообразной формой поперечного сечения продавливаемых в насыпь готовых звеньев труб будет, несомненно, круглое поперечное сечение. Во-первых, оно наилучшим образом отвечает всестороннему на трубу давлению грунта насыпи и основания под ней. Во-вторых, вращение звеньев, которое может возникнуть при продавливании особенно длинных труб, не будет иметь никаких неприятных последствий только при круглой трубе, потому что она симметрична относительно продольной оси. Чаще всего для продавливания используются трубы из

чугуна, стали, железобетона и в наибольшем числе случаев из гофрированного железа.

Чугунные трубы имеют вполне удовлетворительную устойчивость против ржавления, однако требуют большого расхода металла из-за значительной толщины, которую приходится придавать их стенкам. Помимо этого, из-за хрупкости чугуна они дают наибольший процент повреждений при транспортировке к месту работ, особенно при крупных их диаметрах свыше 1,0 м. Эти обстоятельства не позволяют остановиться на выборе данного вида труб для массового строительства водопропускных труб.

Стальные трубы по условиям прочности могут быть взяты с более тонкими стенками, но из-за большой подверженности коррозии требуют такой толщины стенок, которая мало отличается от толщины стенок чугунных труб. Между тем стоимость 1 т стальных в несколько раз превышает стоимость 1 т чугунных труб. Поэтому, несмотря на то что стальные трубы легче других видов продавливаются в насыпь, они все равно непригодны для данной работы.

Железобетонные трубы требуют в несколько раз меньший расход металла на арматуру, которая при этом не имеет последствий ржавления. Долговечность этих труб во много раз выше стальных и, по меньшей мере, вдвое превышают долговечность труб из гофрированного железа и чугунных.

Для продавливаемых готовых звеньев обязательно делать арматуру двойной и располагать её строго симметрично относительно продольной оси трубы [13]. Условия работы трубы в слежавшейся насыпи, структура грунтов которой не нарушена при продавливании трубы, дают возможность уменьшить толщину стенок по сравнению со звеньями, укладываемыми до возведения насыпи и затем обсыпаемыми грунтом. Однако это уменьшение будет небольшим и мало отразится на весе звеньев.

Существенным недостатком готовых железобетонных звеньев является их значительный собственный вес, из-за которого максимальная длина звеньев составляет 1,0 м. При массовом строительстве труб работы по доставке готовых звеньев, их погрузке и выгрузке, из-за их большого веса и громоздкости очень трудоемкие. При перевозке звеньев необходимы грузовики большой грузоподъемности. Кроме того, при большом весе звеньев резко возрастает вероятность их повреждения при транспортных работах.

Заметно усложняются работы по установке и примыканию звеньев к уже продавленным. Из-за короткой длины звеньев потребуется очень часто делать перестановку рамы, передающей давление от гидравлических домкратов, что заметно снизит темпы проходки насыпи. Из-за большого

веса железобетонных звеньев приходится прибегать к особым мерам для того, чтобы выдержать надлежащее направление продавливания: звено из-за своей тяжести стремится уйти вниз, а продавливание, выполняемое всегда с низовой стороны, должно идти соответственным уклоном вверх. Это усложняет работы по продавливанию и понижает темпы проходки.

Наконец, сопротивление железобетонных труб продавливанию заметно больше, чем сопротивление металлических, чугунных, стальных и труб из гофрированного железа. Это обусловливается значительно большим сопротивлением трения по бетонной боковой поверхности трубы и значительным возрастанием сопротивления торца переднего звена из-за в десятки раз большей толщины стенок. Из-за большего сопротивления продавливанию для железобетонных труб приходится применять большую мощность гидравлических домкратов, что понижает общие темпы проходки примерно вдвое.

Значительный собственный вес железобетонных звеньев, затрудняющий их транспортировку, погрузку, выгрузку и установку; короткая длина звеньев и необходимость принимать меры по надлежащему направлению звеньев, усложняющие процесс продавливания; значительно большее, чем для металлических труб, сопротивление продавливанию и вдвое меньший успех работ по сравнению с трубами из гофрированного железа, несмотря на меньший расход металла и несомненно большую долговечность железобетонных труб, делают сомнительным рациональность широкого их применения при продавливании в насыпь на работах по строительству водопропускных труб.

Трубы из гофрированного железа для повышения их устойчивости против коррозии в тяжёлых условиях окружения грунтами насыпи изготавливаются из химически почти чистого железа, например, марки «ARMCO». Такой материал для изготовления значительно повышают антикоррозийность и для большинства грунтов дают вполне удовлетворительную длительность срока службы труб. Механические свойства железа также получаются достаточно высокими. Всё это позволяет принимать толщину гофрированного железа очень небольшой, а именно для труб с внутренним диаметром 0,76–2,13 м всего лишь в 2,0–3,6 мм.

Гофрированное железо для труб выпускается заводами в виде полуцилиндрических секций различной длины, но обычно длину секции назначают не более 10 м, в зависимости от размеров трубы и возможностей транспортных средств. Благодаря этому не возникает никаких сложностей при транспортировке данного материала на любые доступные расстояния. Аналогично трудности не возникнут и при погрузке и выгрузке секций даже в полевых условиях [14, 15].

Сборка из секций продавливаемых в насыпь звеньев легко выполняема на месте, в поле. Из-за значительного давления, требующегося при продавливании, в данном случае допустимо только наиболее надежное соединение – на заклепках. Так как толщина гофрированного железа незначительна (от 2 до 4 мм), то достаточно будет использовать заклепки мелких диаметров, что позволяет все работы по клёпке производить вхолостую и выполнять клёпку вручную. Это не представит никаких затруднений в полевых условиях. Работу по сборке и выклепке звеньев вполне возможно производить параллельно продавливанию звеньев, то есть пока продавливается одно звено, другое звено выклепывается с некоторым даже запасом во времени. Именно поэтому можно сказать, что механизация выклепки звеньев является излишней, и притом может даже усложнить работы из-за усложнения оборудования. Кроме того, выполнение сборки и выклепки звеньев оправдывается тем, что для соединения наращиваемого звена с продавленным также потребуется схожее соединение с заклепками [16].

Сам процесс продавливания гофрированных железных труб легче по сравнению с железобетонными благодаря заметно меньшему сопротивлению торца из-за меньшей толщины стенок и благодаря меньшему сопротивлению трения по боковой поверхности. Большая в 3,5–5 раз длина звеньев во столько же раз сокращает число перестановок рам, передающих давление от домкратов. Всё это в итоге даёт скорость продавливания гофрированных железных труб не менее 0,50–0,60 м в час, примерно вдвое превышающую скорость проходки при железобетонных трубах.

Наконец, при железных гофрированных трубах полностью отпадает необходимость организации строительных баз для предварительной заготовки железобетонных звеньев. Это является неоспоримым преимуществом при расположении множества объектов по длине железной дороги.

При использовании гофрированных труб возникает существенный перерасход металла, однако этот недостаток восполняется не только преимуществами, но и экономией на бетонной кладке, кубатура которой в железобетонных трубах, несмотря на умеренную толщину их стенок, все же ощутима.

Подводя итоги, можно утверждать, что при массовом строительстве водопроводных труб на новых местах путём продавливания их в насыпь наиболее рациональными являются круглые трубы из гофрированного железа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Водопропускные трубы являются самыми распространенными искусственными сооружениями на автомобильных и железных дорогах. В статье разработаны вопросы именно по этому типу инженерных сооружений. В результате выполненной работы по строительству водопропускных труб методом продавливания готовых звеньев в насыпь можно сделать следующие практические выводы:

1. Сооружение водопропускных труб на новом месте в слежавшемся грунте насыпи является более надежной конструкцией, позволяющей избежать таких проблем, как деформация и повреждение трубы из-за изменения внешних сил давления земли, потому что условия работы трубы не будут изменяться с течением времени из-за последствий осадки грунта.

2. Неоспоримые преимущества строительства водопропускных труб именно методом продавливания готовых звеньев в насыпь дают возможность обеспечить массовость, высокую производительность, мобильность, относительную простоту и дешевизну непосредственно самого строительства, не прерывая при этом, в большинстве случаев, движения автомобилей и поездов, что при большой значимости дороги может обойти проблему социальных и финансовых потерь во время приостановки движения.

3. Для данного метода самым рациональным выбором являются круглые трубы из гофрированного железа. Благодаря тонкости стенок, материал позволяет обеспечить относительную легкость трубы, простоту транспортировки, сбора звеньев и крепления звеньев друг к другу, а цилиндрическая форма поможет избежать деформацию трубы во время процесса вдавливания.

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов.
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Ермошин Н.А., Лазарев Ю.Г., Егосин А.М., Змеев А.Т. Планирование развития дорожной сети с учетом принципов многокритериальной оптимизации // Путевой навигатор. – 2019. – №38(64). – С. 24-31. [Ermoshin NA, Lazarev YuG, Egoshin AM, Zmeev AT. Planirovanie razvitiya dorozhnoi seti s uchetom printsipov mnogokriterial'noi optimizatsii. Putevoi navigator. 2019;(38(64)):24-31. (In Russ).]
2. Аверченко Г.А., Огурцов Г.Л. Перспективы использования композитного

- материала в мостостроении // IV Международная научно-практическая конференция: «Фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденции развития»; Апрель 3, 2019; Петрозаводск. [Averchenko GA, Ogurtsov GL. Composite material in bridge construction the way to perfection. (Conference proceedigs) IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya: «Fundamental'naya i prikladnaya nauka: sostoyanie i tendentsii razvitiya»; 2019 apr 3; Petrozavodsk (In Russ).] Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41475166>. Ссылка активна на 02.10.2020.
3. Копыленко В.А. Малые водопропускные сооружения на дорогах России: учеб. пособие. – М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2013. – 444 с. [Kopylenko VA. Small culverts on the roads of Russia: schoolbook. Moscow: Training and methodological center for education in railway transport, 2013. 444 p. (In Russ)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21195264>. Ссылка активна на 02.10.2020.
 4. Яковлев Ю.М., Горячев М.Г. Строительство водопропускных труб на автомобильных дорогах: учебное пособие. – М.: МАДИ, 2011. – 160 с. [Yakovlev YuM, Goryachev MG. Construction of culverts on highways: schoolbook. Moscow: MADI, 2011. 160 p. (In Russ)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19645534>. Ссылка активна на 02.10.2020.
 5. Базавлук В.А., Кузнецов Е.Ю. Уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог: теоретические основы и технологии: учебное пособие. – Томск: Печ мануфактура, 2006. – 99 с. [Bazavluk VA, Kuznecov EYu. Compaction of roadbed soils: theoretical foundations and technologies: schoolbook. Tomsk: Pech. Manufaktura; 2006. 99 p. (In Russ)]. Доступно по: <https://search.rsl.ru/ru/record/01003013691>. Ссылка активна на 02.10.2020.
 6. Лисов В.М. Водопропускные трубы под. – Воронеж.: ВГАСА, 1996. – 123 с. [Lisov VM. Vodopropusknye truby pod nasypuyami. Voronezh: VGASA; 1996. 123 p. (In Russ)]. Доступно по: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001749438>. Ссылка активна на 02.10.2020.
 7. Артамонов Е.А., Волченков Г.Я., Клейнер Р.С., и др. Водопропускные трубы под насыпями / под ред. О.А. Янковского. – М.: Транспорт, 1982. – 232 с. [Artamonov EA, Volchenkov GYa, Klejner RS, et al. Vodopropusknye truby pod nasypuyami. Yankovskij OA, editor. Moscow: Transport; 1982. 232 p. (In Russ)]. Доступно по: <https://elima.ru/books/?id=3773>. Ссылка активна на 02.10.2020.
 8. Лукин Н.П., Лукин А.Н., Шуко С.А. Автомобильные дороги. Трубы под насыпями автомобильных дорог // Обзорная информация. – М.: ЦБНТИ, 1988. – № 6. [Lukin NP, Lukin AN, Shchuko SA. Avtomobil'nye dorogi. Truby pod nasypuyami avtomobil'nyh dorog. *Obzornaya informaciya*. Moscow: CBNTI; 1988. Vol.6. (In Russ.)]. Доступно по: <https://files.stroyinf.ru/Data1/45/45930/index.htm>. Ссылка активна на 02.10.2020.
 9. Желтышева А.С., Юшков Б.С. К вопросу устойчивости водопропускных труб на автомобильных дорогах // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2015. – №3. – С. 51-59. [Zheltysheva AS, Iushkov BS. To the question of stability of water throughput pipes on highways. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*. 2015;(3):51-59. (In Russ).]
 10. Подвальный Р.Е., Потапов А.С., Янковский О.А. Технология строительства металлических гофрированных водопропускных труб. М.: Транспорт, 1978. – 78 с. [Podval'nyj RE, Potapov AS, Yankovskij OA. Tekhnologiya stroitel'stva metallicheskih gofrirovannyh vodopropusknyh trub. Moscow: Transport, 1978.

- 78 p. (In Russ.)). Доступно по: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007791101>. Ссылка активна на 02.10.2020.
11. Алексеев С.В., Трепалин В.А., Шевченко С.М., Трифонова А.А. Современные методы совершенствования конструкций деформационных швов автодорожных мостов // Путевой навигатор. – 2020. – №43 (69). – С. 3. [Alekseev SV, Trepalin VA, Shevchenko SM, Trifonova AA. Sovremennyye metody sovershenstvovaniya konstruktssii deformatsionnykh shvov avtodorozhnykh mostov. *Putevoi navigator*. 2020;(43(69)):3. (In Russ.)]
 12. Варламова Т.В., Шаклина А.Д. К вопросу обеспечения надежности железобетонных водопропускных труб // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2016. – №5(19). – С. 39-43. [Varlamova TV, Shaklina AD. To the question of the reliability of reinforced concrete culverts. *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve*. 2016;(5(19)):39-43. (In Russ.)]
 13. Филиппов Д.А., Уколов С.А. К вопросу о выборе эффективных технологий скоростного восстановления автомобильных дорог // Наука и военная безопасность. – 2017. – №1 (8). – С. 106-110. [Filippov DA, Ukolov SA. Choice of enabling technologies for the auto-road rapid rebuilding. *Nauka i voennaya bezopasnost'*. 2017;(1(8)):106-110. (In Russ.)]
 14. Черных В.К., Козырева Л.В. Использование гофрированного металлического листа при строительстве водопропускных труб и малых мостов // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. – 2013. – Т. 2. – С. 478-481. [Chernykh VK, Kozyreva LV. The use of corrugated sheeting metal in the construction of culverts. *New ideas of the new century: proceedings of the international scientific conference FAD TOGU*. 2013;2;478-481. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19138401>. Ссылка активна на 02.10.2020.
 15. ОДМ 218.2.001-2009. Рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур на автомобильных дорогах общего пользования с учетом региональных условий (дорожно-климатических зон) [ODM 218.2.001-2009. Rekomendatsii po proektirovaniyu i stroitel'stvu vodopropusknykh sooruzhenii iz metallicheskih gofrirovannykh struktur na avtomobil'nykh dorogakh obshchego pol'zovaniya s uchetom regional'nykh uslovii (dorozhno-klimaticheskikh zon) (In Russ.)]. Доступно по: <http://docs.cntd.ru/document/1200074825>. Ссылка активна на 02.10.2020.
 16. ГОСТ 32871-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Трубы дорожные водопропускные. Технические требования (Переиздание) [GOST 32871-2014 Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Truby dorozhnye vodopropusknye. Tekhnicheskie trebovaniya (Pereizdanie) (In Russ.)]. Доступно по: <http://docs.cntd.ru/document/1200119826>. Ссылка активна на 02.10.2020.

Сведения об авторах:

Аверченко Глеб Александрович, ассистент;

телефон: +7(965)0620218;

eLibrary SPIN: 1707-9958; ORCID: 0000-0001-8813-545X;

E-mail: averchenko_ga@spbstu.ru

Павленко Анна Дмитриевна, ассистент;
телефон: 7(981)98752217(981)9875221; адрес: 195251, Санкт-Петербург, ул.
Политехническая, д.29, кор.10;
eLibrary SPIN: 7799-7772; ORCID: 0000-0003-3629-5376;
E-mail: anna.pavlenko.1996@yandex.ru

Зорина Евгения Алексеевна, студент;
телефон: +7(912)1134254;
eLibrary SPIN: 4674-7227; ORCID: 0000-0002-9165-7168;
E-mail: zorina.ea@edu.spbstu.ru

Наборщикова Дарья Николаевна, студент;
телефон: +7(977)0489386;
eLibrary SPIN: 3247-3977; ORCID: 0000-0001-8812-7409;
E-mail: nabortshikova.dn@edu.spbstu.ru

Information about the authors:

Gleb A. Averchenko, assistant;
eLibrary SPIN: 1707-9958; ORCID: 0000-0001-8813-545X;
E-mail: averchenko_ga@spbstu.ru

Anna D. Pavlenko, assistant;
eLibrary SPIN: 7799-7772; ORCID: 0000-0003-3629-5376;
E-mail: anna.pavlenko.1996@yandex.ru

Evgenia A. Zorina, student;
eLibrary SPIN: 4674-7227; ORCID: 0000-0002-9165-7168;
E-mail: zorina.ea@edu.spbstu.ru

Darya N. Naborschikova, student;
eLibrary SPIN: 3247-3977; ORCID: 0000-0001-8812-7409;
E-mail: nabortshikova.dn@edu.spbstu.ru

Цитировать:

Аверченко Г.А., Павленко А.Д., Зорина Е.А., Наборщикова Д.Н. Строительство водопропускных труб методом продавливания готовых звеньев в насыпь // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 4. – С. 45–60. doi: 10.17816/transsyst20206445-60

To cite this article:

Averchenko GA, Pavlenko AD, Zorina EA, Naborschikova ND. Construction of Culverts by Pushing the Finished Links into the Embankment. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(4):45-60. doi: 10.17816/transsyst20206445-60