

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-5>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/15KO615.pdf>

DOI: 10.15862/15KO615 (<http://dx.doi.org/10.15862/15KO615>)

УДК 624.154.1:624.131.22

Юшков Борис Семенович

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Россия, Пермь¹

Заведующий кафедрой АДМ

Кандидат технических наук

Доцент

E-mail: adf@pstu.ru

Желтышева Анастасия Сергеевна

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Россия, Пермь

Аспирант

E-mail: anastasya.zheltisheva@yandex.ru

Работоспособность водопропускных труб устраиваемых на глинистых грунтах

¹ 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 19а

Аннотация. Водопрopusкная труба является важным элементом автомобильной дороги, поэтому, решение проблем связанных с устойчивостью и работоспособностью данной конструкции актуально. Работоспособность водопрopusкной трубы в составе автомобильной дороги зависит от условий возникновения нагрузок и наличия дефектов в оболочке трубы при ее эксплуатации.

Однако в научной литературе не достаточно освещен вопрос, связанный с обеспечением устойчивости и бесперебойной работы инженерного сооружения, подтверждающих эффективность использования водопрopusкных труб, не требующих применения дорогостоящих мероприятий при ее устройстве.

Рассмотрены основные проблемы, влияющие на общую устойчивость водопрopusкных труб, такие как воздействия от сил морозного пучения, влияния засыпки грунта и прочих дефектов в районах страны с продолжительным зимним периодом и значительной глубиной промерзания. Определено влияние грунта и глубины промерзания на изгибающие моменты, поперечные и нормальные силы, возникающие в конструкции водопрopusкной трубы. Отражено значение упругого прогиба грунта. Представлено некоторое решение применительно к расчету водопрopusкной трубы на автомобильной дороге. Выделяются и описываются характерные особенности возникновения усилий и дополнительных изгибных напряжений в теле водопрopusкной трубы. Изложены результаты экспериментальных исследований относительно изгибной жесткости целой водопрopusкной трубы и трубы в зоне стыка. Приведены результаты эксперимента и выполнен их анализ. Установлен коэффициент относительной изгибной жесткости водопрopusкной трубы в зоне стыка по отношению к целой водопрopusкной трубе с учетом влияния расстояния между опорам и величине стыкового зазора.

Приведены результаты экспериментов и выполнен их анализ.

Ключевые слова: водопрopusкная труба; морозное пучение; грунт; критическое давление; изгибающий момент; текучесть материала; предел текучести.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Юшков Б.С., Желтышева А.С. Работоспособность водопрopusкных труб устраиваемых на глинистых грунтах // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/15KO615.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/15KO615

При расчете водопропускных труб на автомобильных дорогах Уральского региона специалисты сталкиваются с проблемами, которыми в первую очередь являются определение силовых воздействий от сил морозного пучения глинистого грунта [1], влияния засыпки грунта и различных нагрузок на общую устойчивость сооружения.

Развивающиеся при промерзании грунтов, вследствие действия ряда внешних и внутренних причин, силы морозного пучения могут иметь различную величину и направление. В настоящее время, в зависимости от действия сил морозного пучения грунтов на сооружения, различают два основных их вида: нормальные силы морозного пучения и касательные силы морозного пучения.

Нормальные силы морозного пучения грунтов действуют по нормальям к поверхности сооружения, ограничивающих, сопротивляющихся или не допускающих увеличения объема грунтов при их промерзании. Наиболее типичной их сферой действия будут подошвы фундаментов сооружений, где при определенных условиях могут возникать вертикальные нормальные силы, и боковые грани фундаментов, где могут обнаруживаться действия горизонтальных нормальных сил морозного пучения грунтов.

На величину нормальных сил морозного пучения грунтов оказывает влияние ряд факторов: свойства промерзающих грунтов (их дисперсность, адсорбционная способность, уровень свободной энергии поверхности частиц и пр.), сжимаемость подстилающих слоев грунта, внешнее давление на грунт и жесткость (деформируемость) строительных конструкций воспринимающих пучение.

Порядок максимальной величины нормальных сил морозного пучения можно оценить исходя из величин давлений, которые развивают кристаллы льда при стесненном замерзании воды. Как известно, максимальное давление будет развиваться лишь в условиях полной невозможности расширения воды при промерзании. Это давление по данным физики, при температуре -22°C измеряется огромной величиной, порядка 2115 кН/см^2 . При температуре выше -22°C давление будет значительно меньше [2].

Касательные напряжения морозного пучения являются результатом действия грунтов, замерзающих у боковых граней фундаментов, соприкасающихся с замерзшим грунтом. Значение величины касательных сил морозного пучения грунтов совершенно необходимо при проектировании фундаментов сооружений возводимых в условиях глубокого зимнего промерзания, так как расчет фундаментов на выпучивание производится по величине касательных сил морозного пучения.

Детальные наблюдения, проведенные в течение ряда лет на балочной пучинистой установке (конструкции ЦНИИСа) в условиях пучинистых пылеватых суглинков Сковородинской станции, установили скачкообразность протекания процесса выпучивания с нарастанием силы морозного выпучивания по мере увеличения глубины промерзания грунтов средняя величина касательных сил пучения (отнесенные к единице боковой поверхности опытной стойки, окруженной замерзающим грунтом) оказалось равной примерно $10 - 20 \text{ кН/см}^2$.

Как общий вывод изучения материалов исследований касательных сил морозного пучения грунтов для установления расчетных характеристик предпочтительно определять потным путем, преимущественно с помощью плевых пучинных установок, но можно оценить их величину и по результатам лабораторных испытаний.

Рассмотрим некоторые решения применительно к расчету водопропускной трубы на автомобильной дороге Пермь – Кунгур.

Возьмем упругое кольцо под действием равномерного внешнего давления. При недостаточной жесткости изгиба потеря устойчивости кольца может произойти при напряжениях, существенно меньших предела текучести материала. Давление, при котором круговая форма становится неустойчивой и происходит сплющивание, принято называть критическим давлением $P_{кр}$ [7].

Для кольца нагруженного давлением следящим за нормалью к поверхности в общем случае имеем [10, 12]:

$$P_{кр} = (n^2 - 1)EI/R^3 \quad (1)$$

где R – радиус кольца;

EI – жесткость стенки;

n - число полуволн.

В условиях, когда давление P следит за центром кольца, имеется следующее решение [10]:

$$P_{кр} = (n^2 - 1)^2 EI / (n^2 - 2) R^3 \quad (2)$$

При укладке труб в грунтовой среде, как показывают опыты, число полуволн не превышает двух. Поэтому формулы (1) и (2) могут быть записаны соответственно [10]:

$$P_{кр} = 3EI/R^3 \quad (3)$$

$$P_{кр} = 9EI/R^3 \quad (4)$$

Из сравнения (3) и (4) видно во втором случае критическое давление (нагрузка) в 1,5 раза выше, чем при гидростатическом нагружении.

Устойчивость труб под действием равномерного внешнего давления в значительной степени зависит от различных дефектов в стенке [11, 13]. Кроме того гибкие трубы ($D/\delta \geq 100$) даже под действием только собственного веса имеют начальную эллиптичность [5].

Если к такой некруглой трубе приложить внешнее давление, то произойдет дальнейшее ее сплющивание. Расчетная схема представлена на рис. 1.

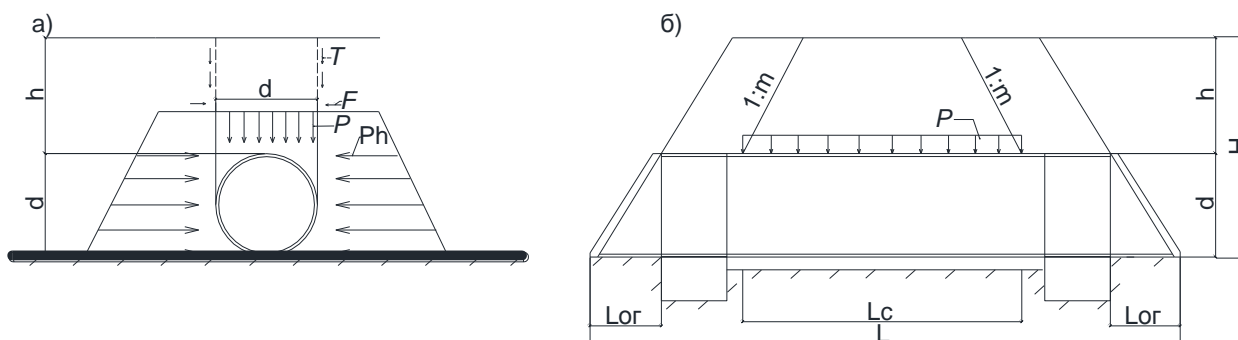


Рис. 1. Расчетная схема: а – давление собственного веса грунта; б – давление временной подвижной нагрузки

Наибольший изгибающий момент из-за отклонения от круговой формы равен [14]:

$$M_{max} = PK \left(U_0 + \frac{U_0 P}{P_{кр}} - P \right) = \frac{P U_0 R}{1} - P / P_{кр} \quad (5)$$

Наибольшее сжимающее напряжение получается путем добавления наибольшего сжимающего напряжения от M_{max} к напряжению, возникающему от сжимающего усилия PR . Тогда [14]:

$$\sigma_{max} = PK/\delta + 6PRU_0/\delta^2 1/1 - P/P_{кр} \quad (6)$$

Предельное значение давление P есть то значение, при котором начинается текучесть материала, и предел текучести $\sigma = \sigma_{max}$, приняв во внимание выше изложенные соображения формулу (6) запишем [14]:

$$\sigma_T = P_T R/\delta + \sigma P_T R U_0/\delta^2 1/1 - P/P_{кр} \quad (7)$$

Из (7) можно определить предельное давление P_T , если известны σ_T и начальное отклонение U_0 . Введя обозначения $R/\delta = m$, $n = U_0/R$, формулу (7) приводим к виду [14]:

$$P_T^2 - \left[\frac{\sigma_T}{m} + (1 + 6mn)P_{кр} \right] P_T + \sigma_T P_{кр}/m = 0 \quad (8)$$

При проектировании водопропускных труб необходимо обязательно учитывать начальное отклонение от круговой формы, которое с одной стороны приводит к снижению несущей способности (устойчивости) сооружения, а с другой стороны, с учетом упругого отпора грунта засыпки – к повышению жесткости и устойчивости трубопровода. Многочисленные опыты показывают, что грунт является не только нагрузкой, но и средой, существенно повышающей устойчивость сооружения, особенно при $D/\delta \geq 100$ [4].

Рассматривая стальную трубу единичной длины ($v = 1$ см) имеем $U_0 = 150$ мм; модуль упругости стали $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; $\sigma_T = 210$ МПа; $m = 90$; $n = 0,165$; находим по (1) критическое давление $P_{кр} = 7,2$ кПа, то есть при таком внешнем равномерном давлении круговая форма неустойчива. Напряжение от сжимающего усилия равно 0,45 МПа; наибольшее напряжение от изгибающего момента (в следствие искривления начальной формы) – 103,7 МПа.

Известно, что эксплуатационная надежность функционирования линейной части во многом зависит от устойчивости протяженного тела трубы [8, 9]. Наиболее напряженным элементом водопропускной трубы является зона стыка кольцевой части трубы, соединяющего два звена. Это объясняется тем, что на стыке в теле трубы возникают краевые силы и моменты, которые вызывают *дополнительные изгибные напряжения* [16].

При прокладке трубопроводов на пучинистых грунтах возможно перемещение фундамента (основания) под действием сил пучения [2, 3]. В статически определимых (однопролетных) системах вертикальные перемещения фундамента (основания) не вызывают - дополнительных напряжений. В многопролетных системах при перемещении одной из частей конструкции возникают *дополнительные изгибные напряжения* [6, 15].

Таким образом, целью экспериментальных исследований явилось получение объективной информации об изгибной жесткости трубы в зоне стыков и установление эмпирических зависимостей с учетом их технических характеристик и состояний.

Была проведена серия испытаний. В первой серии испытывалась водопропускная труба длиной 1 м, под статической нагрузкой, нагрузка менялась от 0 до 200 кН, добавлением по 25 кН, также менялось расстояние между опорами (0,45; 0,5; 0,55 м).

Во второй серии испытывался стык водопропускной трубы, при это менялось расстояние между опорами (0,45; 0,5; 0,55 м). При этом каждое загрузение осуществлялось не менее 3 раз.

В результате эксперимента были получены значения изгибной жесткости водопропускной трубы при вертикальной нагрузке и зависимость этого параметра от

расстояния между опорами. Данные эксперимента были обработаны общепринятыми статистическими методами, и искомая зависимость была определена в виде:

$$D_z = 5,20 * 10^{-6} * l^{1,2117} \quad (9)$$

На основании обработки приведенных выше результатов экспериментальных работ была получена эмпирическая зависимость изгибной жесткости водопропускной трубы в зоне стыка от расстояния между опорами:

$$D_{zct}(l, \Delta) = (6,47 * 10^{-6} * l^{1,3416}) \quad (10)$$

$$1,523(1 + 40,403 * \Delta) \quad (11)$$

где l – расстояние между опорами, м;

Δ - величина стыкового зазора, м.

Коэффициент относительной жесткости водопропускной трубы в зоне стыка и вне зоны стыка можно определить по выражению:

$$k = D_{zct}/D_z \quad (12)$$

Тогда искомая эмпирическая зависимость коэффициента относительной изгибной жесткости будет иметь вид:

$$k = 1,244 * l^{0,1299} * 1,523 * (1 + 40,403\Delta) \quad (13)$$

здесь все обозначения прежние.

Выводы:

1. Данные расчеты могут быть применены при устройстве водопропускных труб из других материалов (бетонные, железобетонные, гофрированные и т.д.). В этом случае изгибная жесткость водопропускной трубы будет зависеть не только от расстояния между опорами, но и от прочностных характеристик материала.
2. На основании проведенных экспериментальных работ и их последовательной обработки удалось установить коэффициент относительной изгибной жесткости водопропускной трубы в зоне стыка по отношению к целой водопропускной трубе с учетом влияния расстояния между опорами.
3. Сравнивая суммарные напряжения в стенке трубы с пределом текучести стали, заключаем, что прочность (устойчивость) трубы обеспечена. Надежная работа водопропускной трубы в течении более 3-х лет подтверждает правильность экспертного заключения авторов, об обеспеченности устойчивости сооружения без использования дорогостоящих мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абжамиллов Р.Ш. Лабораторные исследования морозного пучения // Основания, фундаменты и механика грунтов, 1995 №5. – 20. 22 С.
2. Б.С. Юшков, И.В. Ротт. Влияние морозного пучения на подпорные стенки и разработка метода борьбы с пучинистостью. Сборник научных трудов ХШНТК молодых ученых. – Пермь, 1986 – 198-205 С.
3. Б.С. Юшков, Л.В. Дуракова, И.В. Ширинкин. Определение несущей способности свай во времени. Материалы всесоюзного совещания-семинара «Современные проблемы свайного фундамента в СССР». – Пермь, 1988 – 84-89 С.
4. Б.С. Юшков. Экспериментально-теоретические основы расчета фундаментов из двуконусных свай, устраиваемых в сезоннопромерзающих грунтах. Пермь «ОТ и ДО», 2014 – 310 С.
5. Бартоломей А.А., Кузнецов Г.Б. Прикладная теория ползучести и длительности прочности грунтов.–Пермь: ПГТУ, 1996.-108 С.
6. Беккер А.Т. Исследование устойчивости сооружений в горизонтальном направлении на действие сил морозного пучения грунтов. Автореф. дис. канд.техн.наук. – Владивосток, 1975. – 198 С.
7. Березанцев В.Г. Расчет основания сооружений. – Л.: Стройиздат, 1970. – 207 С.
8. Бугров А.К. К вопросу учета пластических деформаций оснований при проектировании фундаментов // В кн.: Труды ЛПИ. – Л., 1978. №361. – 24-27 С.
9. Далматов Б.И. Воздействие морозного пучения грунтов на фундамент сооружений. – Л.: Госстройиздат, 1957. - 60 С.
10. Клейн Г.К. Расчет подземных трубопроводов М., 1966 г. - 240 С.
11. Маслов Н.Н. Физико-техническая теория ползучести глинистых грунтов в практике строительства. – М.: Энергия, 1968. - 176 С.
12. Оспанов С.О. Энергетическое строительство. М-Л., 1966 г. - 73 С.
13. Рекомендации по применению двуконусных свай на пучинистых грунтах транспортных сооружений. Пермь «ПНИПУ», 2013. - 37 С.
14. Тимошенко С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек. М., 1971 г. - 708 С.
15. Энциклопедия современной техники. Москва «Советская энциклопедия», 1964. - 528 С.
16. Яковлев Ю.М., Горячев М.Г. Строительство водопропускных труб на автомобильных дорогах. Москва, 2011. - 126 С.

Рецензент: Статья рецензирована членами редколлегии журнала.

Iushkov Boris Semenovich

Perm National Research Polytechnic University
Russian Federation, Perm
E-mail: adf@pstu.ru

Zheltysheva Anastasia Sergeevna

Perm National Research Polytechnic University
Russian Federation, Perm
E-mail: anastasya.zheltisheva@yandex.ru

Operating Capacity of Culvers Laid on Clay Soil

Abstract. As the conduit pipe is an important element of the highway, the solution of the problems connected with stability and operating capacity of this design is pressing. Operating capacity of conduit pipe as a part of the highway depends on conditions, under which loadings emerge, and occurrence of defects in a pipe covering during operation.

However, the problem of ensuring stability and trouble-free operation of an engineering construction, which prove the efficiency of non-expensive conduit pipe operation, has been dealt with in the scientific literature too little.

Considered are the problems influencing the general stability of conduit pipes such as frost heaving, filled-up ground and others typical of areas with long winter periods and considerable frost zone. Influence of ground and frost zone on the bending moments, lateral and normal forces arising in the conduit pipes is defined. Value of ground rebound deflection is shown. An attempt to calculate the conduit pipes on a highway is made. Described are the characteristics of effort initiation and additional bending leverage in the body of a conduit pipe. The pilot study results on bending stiffness of the whole conduit pipes around the joint are given and analyzed. The bending stiffness factor of the conduit pipe around the joint relative to the whole conduit pipe, with the influence of the feet distance and gap clearance being taken into account, is found. Results of experiments are given and their analysis is made.

Keywords: culvert; frost heaving; ground; critical pressure; bending moment; yield; yield value.

REFERENCES

1. Abzhamilov R.Sh. Laboratornye issledovaniya moroznogo pucheniya // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov, 1995 №5. – 20. 22 S.
2. B.S. Yushkov, I.V. Rott. Vliyanie moroznogo pucheniya na podpornye stenki i razrabotka metoda bor'by s puchinistost'yu. Sbornik nauchnykh trudov XIINTK molodykh uchenykh. – Perm', 1986 – 198-205 S.
3. B.S. Yushkov, L.V. Durakova, I.V. Shirinkin. Opredelenie nesushchey sposobnosti svay vo vremeni. Materialy vsesoyuznogo soveshchaniya-seminara «Sovremennye problemy svaynogo fundamenta v SSSR». – Perm', 1988 – 84-89 S.
4. B.S. Yushkov. Eksperimental'no-teoreticheskie osnovy rascheta fundamentov iz dvukonusnykh svay, ustraivaemykh v sezonnopromerzayushchikh gruntakh. Perm' «OT i DO», 2014 – 310 S.
5. Bartolomey A.A., Kuznetsov G.B. Prikladnaya teoriya polzuchesti i dlitel'nosti prochnosti gruntov.–Perm': PGU, 1996.-108 С.
6. Bekker A.T. Issledovanie ustoychivosti sooruzheniy v gorizontальном napravlenii na deystvie sil moroznogo pucheniya gruntov. Avtoref. dis. kand.tekhn.nauk. – Vladivostok, 1975. – 198 S.
7. Berezantsev V.G. Raschet osnovaniya sooruzheniy. – L.: Stroyizdat, 1970. – 207 С.
8. Bugrov A.K. K voprosu ucheta plasticheskikh deformatsiy osnovaniy pri proektirovanii fundamentov // V kn.: Trudy LPI. – L., 1978. №361. – 24-27 S.
9. Dalmatov B.I. Vozdeystvie moroznogo pucheniya gruntov na fundament sooruzheniy. – L.: Gosstroyizdat, 1957. - 60 С.
10. Kleyn G.K. RaschetpodzemnykhtruboprovodovM., 1966 g. - 240 S.
11. Maslov N.N. Fiziko-tekhnicheskaya teoriya polzuchesti glinistykh gruntov v praktike stroitel'stva. – M.: Energiya, 1968. - 176 S.
12. Ospanov S.O. Energeticheskoe stroitel'stvo. M-L., 1966 g. - 73 S.
13. Rekomendatsii po primeneniyu dvukonusnykh svay na puchinistykh gruntakh transportnykh sooruzheniy. Perm' «PNIPU», 2013. - 37 S.
14. Timoshenko S.P. Ustoychivost' sterzhney, plastin i obolochek. M., 1971 g. - 708 S.
15. Entsiklopediyasovremennoytekhniki. Moskva «Sovetskayaentsiklopediya», 1964. - 528 S.
16. Yakovlev Yu.M., Goryachev M.G. Stroitel'stvo vodopropusnykh trub na avtomobil'nykh dorogakh. Moskva, 2011. - 126 S.