

УДК 624.21.095

РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ВОДОПРОПУСКНОЙ ТРУБЫ

Тарасеева Нелли Ивановна,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Геотехника и дорожное
строительство».*

Грачёва Юлия Вячеславовна,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Геотехника и дорожное
строительство».*

Крылов Александр Сергеевич,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

магистрант.

Калашникова Ирина Владимировна,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

студент.

Аннотация

Проектирование водопропускной трубы как малого искусственного сооружения на автомобильной дороге имеет свои особенности. В статье описан расчёт параметров, выполненный на основе результатов натурных исследований объекта, текущего состояния конструкций, анализа природных и гидрологических факторов эксплуатации. Приведены результаты расчёта в виде таблиц и рекомендаций, позволяющих оптимизировать конструктивные и улучшить эксплуатационные характеристики.

Ключевые слова: малые искусственные сооружения, водопропускные трубы, конструктивные элементы транспортных сооружений, дефекты и разрушения, эксплуатация.

RESULTS OF LOCAL STUDIES AND CALCULATION OF WATER PIPE PARAMETERS

Taraseeva Nelli Ivanovna,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Candidate of Sciences, Associate Professor of the department “Geotechnics and road construction”.

Gracheva Yulia Vyacheslavovna,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Candidate of Sciences, Associate Professor of the department “Geotechnics and road construction”.

Krylov Alexander Sergeevich,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Undergraduate student.

Kalashnikova Irina Vladimirovna,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

student

Abstract

The design of a culvert as a small artificial structure on a highway has its own characteristics. The article describes the calculation of parameters based on the results of field studies of the object, the current state of structures, analysis of natural and hydrological factors of operation. The results of the calculation are presented in the form of tables and recommendations, allowing to optimize the design and improve operational characteristics.

Keywords: small man-made structures, culverts, structural elements of transport structures, defects and destruction, operation.

Искусственные сооружения на автомобильных дорогах, такие как трубы, позволяют не только сохранить непрерывность дорожного полотна через препятствия природного и техногенного происхождения и, как результат, бесперебойное движение транспортных средств, но и обеспечивают пропуск малых расходов воды (до $100\text{ м}^3/\text{с}$), тем самым защищая тело насыпи от переувлажнения размыва поверхностными водами

Анализ ситуации

Объектом исследования стала существующая водопропускная труба (ВПТ) диаметром $d=1,0$ м, расположенная на ПК 2+40 участка автомобильной дороги «г. Тамбов – г. Пенза» - р.п. Беково км 85+000 – км 91+000, подлежащего реконструкции. Устройство новой ВПТ вызвано тем, что на данном участке не обеспечен водоотвод. Так как уклон рельефа относительно направления пикетажа направлен с права на лево, то с правой стороны земляного полотна происходит скапливание и застой воды, которая вытекает из водопропускной трубы, уложенной под съездом на ПК 2+73,70 (справа). Малое искусственное сооружение предназначено для организованного пропуска атмосферных осадков, небольшого объема водотоков с целью защиты основания насыпи от намокания и последующего разрушения, потери устойчивости, образованию просадки и провалов дорожного полотна.

Разрушение оголовка трубы (рис. 1) и лотка привели к перенаправлению потока поверхностных вод, увлажнению и подмыву грунта основания и, как результат, просадке и разрушению земляного полотна автомобильной дороги. Также наблюдаются дефекты и разрушения стыков по длине сооружения, защитного слоя бетона, обнажения арматуры (рис. 2). Нарушение целостности конструкции ВПТ влияет на изменение прочности не только земляного полотна, но и эксплуатационные характеристики данного участка автомобильной дороги в целом: ухудшение условий движения транспортных средств, появление аварийных участков.



Рисунок 1 – Текущее состояние существующей трубы, оголовков и основания



а



б

Рисунок 2 – Разрушение стыков труб (а), разрушение защитного слоя бетона, обнажение арматуры (б)

Анализ полученных данных исследования текущего состояния конструктивных элементов, природных и гидрологических факторов свидетельствует о том, что устройство новой водопропускной трубы обеспечит перепуск воды с правой стороны земляного полотна на левую сторону и улучшит условия эксплуатации реконструируемого участка автомобильной дороги.

В результате расчетов по СП 33-101-2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик» получены расходы воды дождевых паводков заданных вероятностей превышения постоянного и временных водотоков по оси реконструируемой автомобильной дороги «г. Тамбов – г. Пенза» - р.п. Беково км 85+000 – км 91+000 (табл. 1, 2).

Таблица 1 – Расчетные максимальные расходы воды дождевых паводков заданных вероятностей превышения постоянного и временных водотоков по оси реконструируемой автомобильной дороги «г. Тамбов – г. Пенза» - р.п. Беково км 85+000 – км 91+000

№ п/п	Местоположение ПК+	Площадь водосбора, $F, \text{ км}^2$	Расход воды Q ($\text{м}^3/\text{с}$) вероятностью превышения		
			2%	3%	10%
<i>Участок км 85+000 - км 91+000</i>					
1	ПК 2+40	0,17	0,22	0,19	0,12

Таблица 2 – Принятые расчетные значения расходов воды заданных вероятностей превышения постоянного и временных водотоков по оси реконструируемой автомобильной дороги «г. Тамбов – г. Пенза» - р.п. Беково км 85+000 – км 91+000

№ п/п	Местоположение ПК+	Площадь водосбора, $F, \text{ км}^2$	Расход воды Q ($\text{м}^3/\text{с}$) вероятностью превышения		
			2%	3%	10%
<i>Участок км 85+000 - км 91+000</i>					
1	ПК 2+40	0,17	0,51	0,47	0,34

Гидравлический расчет пропускной способности водопропускной трубы

При выполнении гидравлического расчета пропускной способности водопропускной трубы важно соблюдать основные принципы, предъявляемые к проектам малых искусственных сооружений, а именно:

при проходе расчетных паводков сооружения должны обеспечивать беспрепятственный пропуск транспортных потоков по проезжей части;

сооружения должны проектироваться равнопрочно, т.е. на паводки одной и той же вероятности превышения в соответствии с категорией дороги согласно требованиям СП;

укрепление верхнего, особенно нижнего бьефа труб и лотков, и, как правило, подмостовых русел малых мостов является обязательным элементом проектов малых искусственных сооружений.

По данным натурных исследований условий эксплуатации, а также нормативных и технических источников получены исходные данные для гидравлического расчёта трубы:

$Q_1=0,51$	Расчетный расход, м ³ /с
$i_T=0,02$	Уклон трубы
$h_{нб}=0,0$	Глубина в нижнем бьефе, м
$g=9,81$	Ускорение свободного падения, м/с ²

Тип оголовка: раструбный

Расчет

По табл.5.1, стр.113 [1] определяем параметр расхода Π_Q

$\Pi_Q=0,305$ (круглая труба, условие безнапорного режима, т.е. $h_{вх}/h_T = 0,75$)

Определяем минимальный диаметр трубы при $Q_1^{тр} = 0,51 \text{ м}^3/\text{с}$

$$D_1 = \left(\frac{Q_1^{тр}}{\Pi_Q \cdot \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (1)$$

По результатам расчёта получаем $D_1=0,778 \text{ м}$

Принимаем к расчету диаметр трубы $D=1,0 \text{ м}$, что соответствует существующему параметру.

Для сохранения безопасности безнапорного режима необходимо обеспечить возвышение высшей точки внутренней поверхности трубы над

поверхностью воды. При таком условии возможно проплывание самотёком через трубу некрупных предметов.

Пропускная способность зависит от длины трубы. В связи с этим различают «короткие» и «длинные трубы»: сжатое сечение «коротких» труб не затоплено, за счёт этого общая длина их не оказывает влияния на пропускную способность; в свою очередь в «длинных» трубах сжатое сечение затоплено, и на протяжении всей длины трубы сохраняется спокойный поток, вследствие чего сопротивления по длине трубы влияют на пропускную способность.

Соблюдая нормативные требования при проектировании, следует помнить и учитывать, что длина трубы должна быть увязана с шириной основания насыпи автомобильной дороги. В случаях, если расчётная длина трубы окажется меньше ширины основания, необходимо конструктивно удлинить водопропускное сооружение. Это обеспечит качественное функционирование всех элементов автомобильной дороги на участке пропуска малых водотоков.

Далее устанавливаем, является труба "длинной" или "короткой" в гидравлическом отношении.

Определяем критический уклон

b_k – средняя ширина в сечении с критической глубиной, м.

Для определения b_k находим фактический параметр расхода Π_Q (факт):

$$\Pi_Q = \frac{Q_1^{\text{тр}}}{D^2 \cdot \sqrt{g \cdot D}} \quad (2)$$

$$\Pi_Q = 0,163$$

$b_k/D = 0,75$ – рис.5.14, стр.118 [1], следовательно при $D=1,0$ м $b_k=0,75$ м

Для определения критической глубины (h_k) находим Π_Q (фактическое значение): $\Pi_Q = 0,163$

$h_k/D = 0,38$ – прилож. 2.5, стр.311 [1], следовательно при $D=1,0$ м критическая глубина $h_k=0,38$ м

Площадь поперечного сечения сооружения находим по формуле

$$w_k = h_k \cdot b_k \quad (3)$$

Получаем $w_k = 0,285 \text{ м}^2$

Коэффициент шероховатости принимаем $n = 0,014$

Определяем гидравлический радиус по формуле

$$R_k = \frac{w_k}{\chi} \quad (4)$$

где χ – смоченный период, м

$$a = 2 \cdot \sqrt{2 \cdot h_k \cdot \frac{D}{2} - h_k^2} \quad (5)$$

$$a = 0,971$$

$$\chi = \sqrt{a^2 + \left(\frac{16 \cdot h_k^2}{3} \right)} \quad (6)$$

$$\chi = 1,309 \text{ м}$$

Определяем гидравлический радиус по формуле 4. Подставив полученные значения, получаем $R_k = 0,218 \text{ м}$

$$y = (2,5 \cdot \sqrt{n} - 0,13) - 0,75 \cdot \sqrt{R_k} \cdot (\sqrt{n} - 0,1) \quad (7)$$

Получаем $y = 0,159$

Определяем коэффициент Шези по формуле $C_k = \frac{1}{n} \cdot R_k^y$ (8), получаем

$$C_k = 56,022.$$

Критический уклон водотока определяем по формуле:

$$i_{кр} = \frac{Q_1^{тр2}}{h_k^2 \cdot C_k^2 \cdot R_k} \quad (9)$$

Получаем $i_{кр} = 4,685 \cdot 10^{-3}$

Результаты выполненных расчётов показали, что $i_T > i_{кр}$, следовательно, в гидравлическом отношении труба "короткая" ([1], стр.116).

Определяем критерий затопления

$$h_{нбо} = 1,22 \cdot h_k \quad (10)$$

$$h_{нбо} = 0,464 \text{ м}$$

$h_{нб} < h_{нбо}$, следовательно, труба незатопленная ([1], стр.117)

Таким образом, по результатам расчёта получаем оптимальные для эксплуатации параметры водопропускного сооружения (табл. 3)

Выводы и рекомендации

Новая круглая железобетонная водопропускная труба устраивается диаметром $d=1,0$ м. Угол пересечения автомобильной дороги водопропускной трубой 90° . Уклон лотка трубы 8 ‰. Скорость воды на выходе из трубы 2,63 м/с. Полная длина трубы 17,95 м увязана с шириной основания насыпи земляного полотна.

Новая водопропускная труба устраивается на сборном фундаменте из железобетонных блоков, которые укладываются на подготовку из щебня. Портальные и откосные стенки из железобетонных блоков укладываются на щебеночно-песчаную смесь.

Швы между звеньями трубы рекомендуется заделывать паклей пропитанной битумом с расшивкой цементно-песчаным раствором, что обеспечит не только прочность соединения и целостность сооружения, но и обеспечит гидроизоляцию стыков. Звенья и блоки водопропускной трубы покрываются обмазочной и оклеечной гидроизоляцией [2, 3].

Важно обеспечить устойчивость откосов насыпи у входного и выходного оголовков водопропускной трубы. Для этого их укрепляют монолитным бетоном, толщина которого увеличивается с 8 см на входе до 12 см на выходе. В конце укрепления выходного русла водопропускной трубы устраивается рисберма с каменной наброской из несортированного камня с целью защиты дна водотока в нижнем бьефе от размыва.

При выполнении всех выше означенных условий будет обеспечена устойчивость водопропускного сооружения и прилегающих участков земляного полотна от действия поверхностных вод. В нашем случае, согласно выполненным расчётам, определён безнапорный режим эксплуатации трубы, поэтому устройство фундамента необязательно.

Учет аккумуляции при назначении отверстий малых мостов и труб обязателен там, где ее следует ожидать. На исследованном участке полученные значения критерия затопления свидетельствуют об отсутствии такой необходимости.

Выполненный анализ текущего состояния искусственного сооружения, гидротехнических расчётов, рациональный подбор конструктивных элементов и соблюдение в последующем технологии производства строительномонтажных работ позволит обеспечить качественный и продолжительный срок службы реконструируемого участка автомобильной дороги в целом, учитывая грунтовые и гидрологические условия данной местности.

Библиографический список:

1. Пособие по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений/ ВНИИ транспортного строительства (ЦНИИС), Главное управление проектирования и капитального строительства (ГУПиКС) Минтрансстроя СССР. – М., Транспорт, 1992. – 408 с.

2. Тарасеева Н.И., Кузнецов А.А., Калашников А.В. Применение современных конструктивных решений проектирования при ремонте мостовых сооружений [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2016. №3. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no3/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/3.17/at_download/file

3. Тарасеева Н.И., Калашникова И.В., Прохиро С.А. Анализ результатов обследования моста в Пензенской области. Разработка рекомендаций по улучшению состояния конструктивных элементов [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2019. №10. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no-10-nov-2019/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/3.13/view>