

УДК 624.15: 625.7

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УСТРОЙСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**Саксонова Елена Степановна,**

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

*старший преподаватель кафедры «Геотехника и дорожное строительство».*

**Хрянина Ольга Викторовна,**

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

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

**Радаев Владимир Алексеевич,**

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

*студент.*

**Круглова Мария Андреевна,**

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

*студент.*

**Королева Анастасия Владимировна,**

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

*магистрант.*

### **Аннотация**

Рассмотрены особенности проектирования малых железобетонных искусственных сооружений. Определены типы водопропускных труб, располагаемых под автомобильными дорогами, алгоритм их расчета для определения основных параметров. Показана возможность использование

искусственных сооружений в качестве тоннелей для пропуска дорог на примере автомобильной дороге федерального значения М-5 «Урал». Выполнен анализ геологического строения, гидрогеологических условий, получены нормативные и расчетные характеристики грунтов на участке строительства монолитной железобетонной трубы. Сделаны выводы и разработаны общие рекомендации по проектированию железобетонных искусственных сооружений.

**Ключевые слова:** железобетонные искусственные сооружения, водопропускные трубы, инженерно-геологические условия, автомобильная дорога, обследование.

## **FEATURES OF DESIGN AND DEVICE OF REINFORCED CONCRETE ARTIFICIAL STRUCTURES**

***Saksonova Elena Stepanovna,***

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,*

*Senior Lecturer of the department “Geotechnics and Road Construction”.*

***Khryanina Olga Viktorovna,***

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,*

*Candidate of Sciences, Associate Professor of the department “Geotechnics and Road Construction”.*

***Radaev Vladimir Alekseevich,***

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,*

*student.*

***Kruglova Maria Andreevna,***

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,*

*student.*

***Koroleva Anastasia Vladimirovna,***

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,*

*postgraduate student.*

## **Abstract**

The features of designing small reinforced concrete artificial structures are considered. The types of culverts located under highways have been determined, an algorithm for their calculation to determine the main parameters. The possibility of using artificial structures as tunnels for passing roads is shown on the example of the federal highway M-5 "Ural". The analysis of the geological structure, hydrogeological conditions was carried out, the standard and design characteristics of soils were obtained at the site of the construction of a monolithic reinforced concrete pipe. Conclusions are drawn and general recommendations for the design of reinforced concrete artificial structures are developed.

**Keywords:** reinforced concrete artificial structures, culverts, geotechnical conditions, road, inspection.

**Введение.** Водопропускные трубы одни из самых распространенных искусственных сооружений на дорогах Российской Федерации. Труба это инженерное сооружение, укладываемое в тело насыпи автомобильной или железной дороги для пропуска под земляным полотном постоянных или временных водных потоков, дороги или скотопргона. Их размещают на дне оврагов, балок и других относительно небольших понижений рельефа. Обычно это круглые, изредка прямоугольные железобетонные конструкции достаточно большого диаметра — до 2 м, а иногда и более [1, 2, 3]. Достоинством их применения по сравнению с мостами и путепроводами служит простота конструкции и способов устройства. Трубы можно располагать при любых сочетаниях плана и профиля дороги, они не стесняют проезжую часть и обочины, не требуют изменения типа дорожного покрытия, обеспечивают непрерывность и единообразие проезжей части автодороги, что позитивно сказывается на безопасности движения транспорта, не снижая при этом рекомендуемых скоростей движения [4, 5].

В настоящее время актуальна следующая классификация водопропускных труб (рис.1) [6].



Рисунок 1 – Классификация водопропускных труб

Известно, что расчет и проектирование водопропускных труб выполняется на два сочетания нагрузок: основные и особые. При основном сочетании учитывается собственный вес конструкции, прогнозный уровень подземных вод, а также транспортной нагрузки, а для основного - учет собственного веса конструкций, учет прогнозного уровня грунтовых вод, а также сейсмического или динамического воздействий [7].

Для определения параметров водопропускных труб необходим следующий алгоритм расчетов (рис. 2):

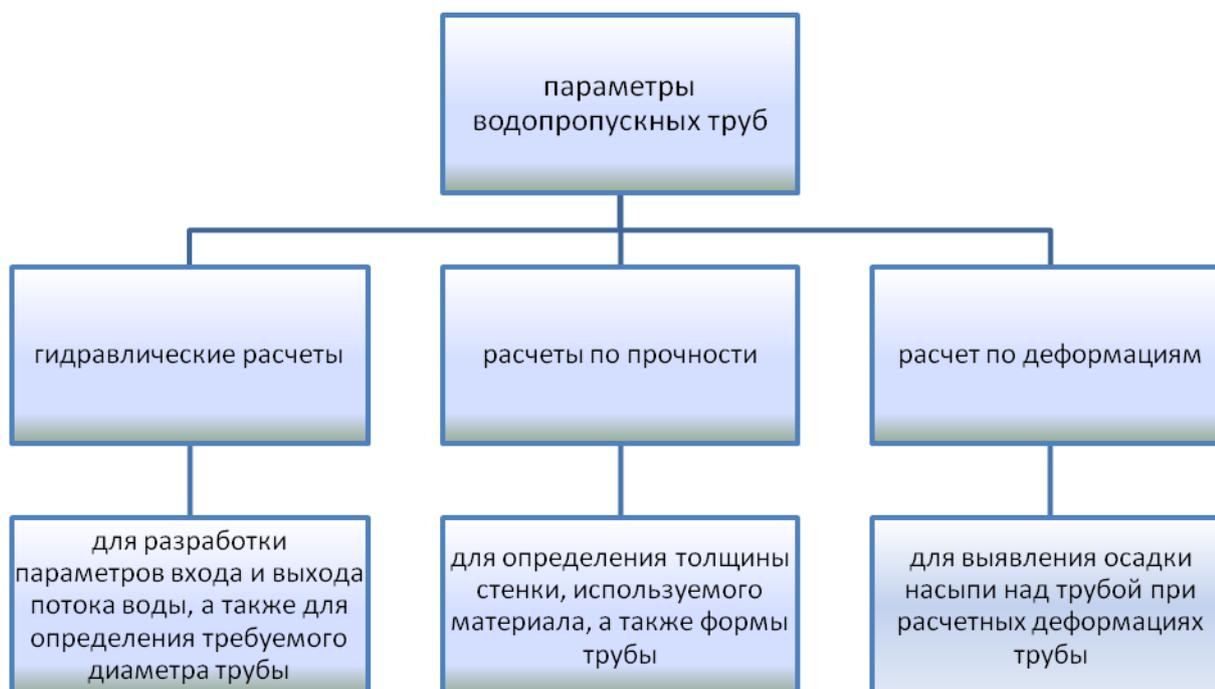


Рисунок 2 – Алгоритм расчета для определения параметров водопропускных труб

Таким образом, видно, что проектирование водоотводных мероприятий вдоль дорог, а также разработка проектов водопропускных труб представляет собой целый комплекс расчетов, требующих глубокого анализа исходных данных. Не соблюдение требований к проектированию или отсутствие хотя бы одного типа расчета может привести к развитию чрезвычайных ситуаций на участке автодороги.

Количество водопропускных сооружений зависит от климатических условий и рельефа, а стоимость их составляет 8-15% от общей стоимости автомобильной дороги с усовершенствованным покрытием. Поэтому правильный выбор типа и рациональное проектирование водопропускных сооружений имеют большое значение для снижения стоимости строительства автомобильной дороги.

**Объект исследования.** Использование искусственных сооружений в роли тоннелей для пешеходов либо для пропуска дорог рассмотрим на примере автомобильной дороге федерального значения М-5 «Урал».

Устройство искусственного сооружения на ПК 62+00 вызвано необходимостью пропуска полевых дорог в створе с федеральной дорогой направления от села Сушки и других близлежащих населенных пунктов к железнодорожной платформе 270 км, направления Рязань-Сасово, Казанской железной дороги (рис.3). Монолитная железобетонная труба предназначена для проезда автотранспорта и пропуска пешеходов через автодорогу М-5 «Урал» и устраивается длиной 46,2 м.

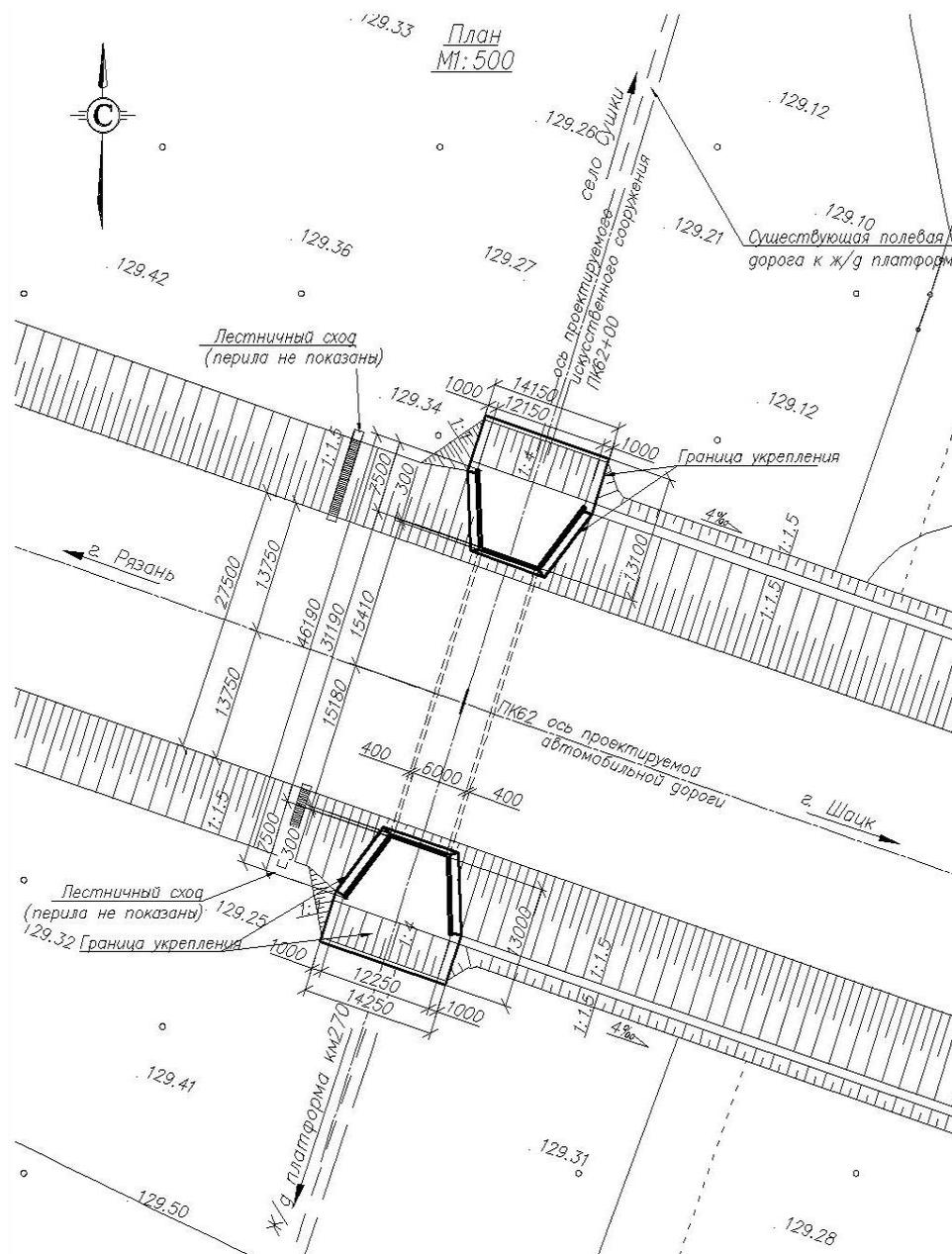


Рисунок 3 – Топографический план размещения водопропускной трубы на автомобильной дороге федерального значения

Большое значение при выполнении проектных работ имеет оценка инженерно-геологических условий. Сущность устройства трубы состоит в привязке типового проектного решения трубы к заданным грунтово-гидрологическим условиям, требующим повышения прочности и устойчивости природного основания. При этом из известных способов создания искусственных оснований предлагается рассмотреть вариант замены слабого грунта природного основания на грунтовую подушку. Задачами изысканий на данном участке является изучение геологического строения, гидрогеологических условий участка строительства, определение физико-механических параметров и коррозионных свойств грунтов [8].

Результаты инженерно-геологических изысканий достоверны и достаточны для установления проектных значений параметров и других проектных характеристик сооружения, а также проектируемых мероприятий по обеспечению его безопасности.

В геоморфологическом плане участок изысканий расположен в пределах возвышенной поверхности водораздела с чередованием междуречных морено-лессовых плато и долинных понижений рек Прони и Пары, в северной части Окско-Донской низменной равнины, в центральной части Русской равнины.

Федеральная трасса проходит по эрозионно-аккумулятивной средневерхнелепистоценовой полого-наклонной поверхности второй, третьей и четвертой надпойменных террас р. Проня, расчлененной густой сетью мелких постоянных и временных водотоков.

Геологическое строение территории представлено  $tQ_{IV}$  современными техногенными и  $a-dQ_{IV}$  осадочными четвертичными отложениями на коренных раннемеловых  $K_1$  алевритах и позднеюрских глинах  $J_3$  [9].

На участке изысканий вскрыто два подземных водоносных горизонта:

– водоносный локально-слабоводоносный четвертичный полигенетический комплекс ( $pgQ$ ) вскрытый в отдельных скважинах в долине р. Проня и на водоразделе. Водовмещающими породами являются разнорзернистые пески и песчанистые суглинки. Воды комплекса безнапорные.

Коэффициент фильтрации изменяется от 0,005 до 2,5 м/сут, при наиболее часто встречающихся значениях 0,2-0,5 м/сут. Питание горизонта осуществляется путем инфильтрации атмосферных осадков, поверхностных вод, перетока из смежных горизонтов и подтока из нижележащих гидрогеологических подразделений. Дренаруется комплекс поверхностными водотоками и балочной сетью, в эрозионных врезках, с образованием единичных родников и мочажин.

– водоносный нижнемеловой терригенный комплекс ( $K_1$ ), имеет почти повсеместное распространение, отсутствуя лишь в тальвегах глубоких неогеновых долин. Слагающие комплекс отложения литологически представлены перемежающимися, невыдержанными по простиранию слоями песков, алевритов и глин, с подчиненными прослоями песчаников. Воды комплекса преимущественно безнапорные. Нижним водоупором служат юрские глины. Фильтрационные свойства пород весьма пестрые, величина коэффициента фильтрации изменяется от 0,04 до 46,7 м/сутки. Питание водоносного комплекса осуществляется за счёт перетока из смежных четвертичных горизонтов. Разгрузка происходит в долинах рек, чему способствует густая сеть погребённых четвертичных и неогеновых долин, в значительной степени унаследованная современной речной сетью.

Подземные воды на участке изысканий вскрыты отдельными скважинами на глубине 0,6-6,4 м от поверхности земли. Подъем уровня подземных вод связан с инфильтрацией атмосферных осадков в период интенсивного снеготаянья (начало марта – конец апреля), и в период прохождения ливневых осадков лета и осени, может достигать 0,5 м. Подземные воды, в основном обладают гидрокарбонатным кальциевым составом, кислой и щелочной реакцией и являются преимущественно умеренно жесткими и жесткими, местами слабоагрессивны по отношению к бетону, в открытом водоеме и для напорных сооружений, марки W4 по водопроницаемости, слабоагрессивны к арматуре железобетонных конструкций при периодическом смачивании и среднеагрессивны к металлическим конструкциям.

В местах укладки железобетонной трубы пройдены две буровые скважины. Для определения пространственной изменчивости свойств грунтов по площади и по глубине из каждой выработки отбираются образцы грунта ненарушенной структуры. Пробы грунта ненарушенной структуры отбираются с целью определения физико-механических параметров грунтов.

Определение механических характеристик производилось согласно [10]. Компрессионные испытания образцов грунта проводились на приборах системы «Гидропроект» с высотой кольца 25 мм и диаметром 87,4 мм в водонасыщенном состоянии. Просадочные свойства грунтов определялись по методу «одной кривой». Прочностные характеристики грунтов определялись по результатам испытаний на срез, выполненных на приборах ПСГ с площадью среза грунта 40 см<sup>2</sup>, по схеме «консолидированно-дренированного» среза.

По физико-механическим и химическим свойствам грунтов и условиям их залегания в разрезе до глубины 3,0-15,0 м выделено три инженерно-геологических элемента (ИГЭ). Нормативные и расчетные значения физико-механических свойств грунтов приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Гранулометрический состав песчаного грунта

№ п/п	ИГЭ 11	размер фракции, мм						
		>5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	<0,1
1	Гранулометрический состав, %	0	0,3	1,6	7,5	32,9	42,3	15,4

На участке изысканий нормативная глубина промерзания для песчаных грунтов составляет 1,6 м, а для глинистых грунтов – 1,30 м. Согласно норм расчетная глубина промерзания песчаных грунтов не превышает 1,74 м, а глинистых – 1,43 м. Глубина заложения фундаментов инженерных сооружений должна быть не менее расчетной глубины промерзания грунтов.

Таблица 2 – Сводная таблица нормативных и расчетных показателей грунтов

№ п/п	ИГЭ №	Влажн. гр-та прир. W д.ед.	Влажн. на гран. текуч. W <sub>1</sub> д.ед.	Влажн. на гран. раскат. W <sub>p</sub> д.ед.	Число плас- тич- ности J <sub>p</sub> д.ед.	Пока- за- тель текуч J <sub>1</sub> д.ед.	Плот- ность част. гр-та ρ <sub>s</sub> г/см <sup>3</sup>	Плот- ность при- родн. ρ г/см <sup>3</sup>	Плот- ность в сух. сост. ρ <sub>d</sub> г/см <sup>3</sup>	Коэф. пори- стости e д.ед.	Коэф. водо- насы- щен. S <sub>r</sub> д.ед.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	12	0,197	0,25	0,20	0,052	- 0,077	2,70	1,85	1,55	0,75	0,71
2	11	0,20	0,08	-	-	-	2,66	1,79	1,66	0,61	0,36
3	13	0,231	0,31	0,21	0,107	0,215	2,71	1,98	1,61	0,68	0,91

Авторами проведено технико-экономическое сравнение трех вариантов решения (табл.3) и в качестве основного предлагается вариант устройства монолитной железобетонной прямоугольной трубы предназначенной для проезда автотранспорта и пропуска пешеходов через автодорогу М-5 «Урал» (табл.4). Ось проектируемого сооружения расположена под углом 90° к оси проектируемой автодороги технической категории IV. Труба из тяжелого бетона класса В30, F300, W6 запроектирована под нагрузку Н14.

Фундамент трубы принят на естественном основании. Несущим слоем является супесь просадочная в твердом состоянии. Фундаментная плита толщиной 0,4 м из монолитного бетона класса В25, F300, W6 устраивается на уплотненной щебеночной подушке толщиной 1,0 м (рис. 4). Дно котлована уплотняется тяжелыми катками.

На входе и выходе из трубы устраиваются монолитные железобетонные оголовки (рис. 5). Оголовки изготавливаются из тяжелого бетона класса В30, F300, W6. Оголовок состоит из монолитной порталной стенки и открылков. Обычно открылки расположены под углом в 20° относительно продольной оси сооружения.

Таблица 3 – Технико-экономическое сравнение вариантов путепровода

№ п/п	Наименование	Вариант I	Вариант II	Вариант III
1	2	3	4	5
1	Схема сооружения, м	Труба 6x4,5м	Путепровод 1x21,0	Путепровод 1x7,5
2	Длина сооружения, м	46,2	26,1	45,76
3	Сравнительная стоимость СМР, тыс.руб. в ценах 2000 г, м <sup>2</sup>	5,74	12,80	9,80
4	Всего Сравнительная стоимость СМР, тыс.руб. в ценах 2000 г, м <sup>2</sup>	<b>1933,3</b>	2836,2	2855,1

Таблица 4 – Ведомость проектируемого искусственного сооружения

Местополо- жение ПК+	Труба				
	Материал	Длина, пм	Отверстие трубы в свету, м	Кол-во отверстий	Отметки, м
ПК 62+00	Железо- бетон	46,2	6,0x4,5	2	Вх. 128, 14 Вых. 127,96



штрабы с заполнением битумной мастикой.

Поверхности трубы, соприкасающиеся с грунтом, покрываются двухслойной битумной гидроизоляцией оклеечного типа. Поверх гидроизоляции устанавливают защитные стенки из асбестоцементных плит. На перекрытии устраивается защитный слой толщиной 6 см из бетона В25, F300, W6. Фундаменты и оголовки трубы, соприкасающиеся с грунтом, покрываются битумной мастикой за два раза. Видимые поверхности трубы и оголовков покрываются краской ПХВ в два слоя.

С целью обеспечения сохранности конструкции и изоляции трубы, производится засыпка ее грунтом на высоту 0,5 м над верхом трубы сразу после окончания ее сооружения. Засыпка производится песчано-гравийной смесью одновременно с обеих сторон слоями толщиной 15-20 см с тщательным послойным уплотнением. Уклон конуса засыпки должен быть не круче 1:5.

Укрепления трубы запроектированы применительно типовому проекту [11]. Укрепление откосов насыпи на входе и выходе трубы выполнено из монолитного бетона класса В20, F200, W6 толщиной 8 см по слою щебня 10 см. Согласно [12] полевая дорога укрепляется на 10 м на входе и выходе. Конструкция дорожной одежды на входе и выходе из трубы выполнена из мелкозернистого асфальтобетона толщиной 5 см, щебня толщиной 25 см и слоя песка толщиной 60 см.

На конусах насыпи проектируемой автодороги на входе и выходе трубы предусмотрены лестничные сходы высотой  $h=6,0$  м. Фундаменты лестничных сходов выполнены из бетона класса В20, F200, W6.

Безопасность движения автотранспорта по участку автодороги в соответствии с [13] достигается установкой на разделительной полосе металлического оцинкованного барьерного ограждения удерживающей способности и ограждения устанавливаемого у бровок дороги удерживающей способности уровня. Установка дорожного ограждения принята как для дорог 1В технической категории.

К достоинствам данного варианта устройства монолитной железобетонной трубы относится:

- наименьшая по сравнению с представленными вариантами стоимость строительно-монтажных работ (СМР).
- сокращение сроков СМР относительно вариантов устройства путепроводов.
- устройство естественного основания;
- отсутствие разрывов в проезжей части дороги.

К недостаткам можно отнести:

- изготовление индивидуальной опалубки;
- устройство большего котлована по сравнению с вариантами №3 и №2.

#### **Выводы и рекомендации:**

1. Опираясь на материалы инженерно-геологических изысканий по данному участку строительства автодороги, выполнив сбор дополнительных данных и проведя технико-экономическое сравнение всех вариантов, можно утверждать, что предложенное проектное решение строительства монолитной железобетонной трубы длиной 46,2 м, на естественном основании является грамотным. Сравнительная стоимость СМР в ценах 2000 г составляет 1933 тыс.руб.

2. Особенность строительства данного сооружения - это значительные размеры его сечения по сравнению с другими водопропускными трубами на этом участке, что существенно влияет на технологическую схему строительства и вызывает необходимость применять технологии строительства и водопропускных труб (подготовка оснований, устройство монолитного фундамента и др.) и тоннелестроения (устройство монолитных железобетонных стен, устройство железобетонных перекрытий и др.).

3. Другая особенность сооружения – значительные массивы монолитного железобетона, которые надо выполнять без перерывов в подаче бетонной смеси. Прямоугольная монолитная железобетонная труба будет сооружаться из бетона производства АО "ОПС Шилово" с доставкой автобетоносмесителями – 35 км.

4. До начала устройства трубы должны быть выполнены следующие работы:

- отвод поверхностных вод;
- подъездные пути и автодороги;
- обозначены пути движения механизмов, места складирования

материалов и конструкций;

- завезены арматурные сетки, каркасы, комплекты опалубки;
- составлены акты приемки основания;

- устроено временное освещение рабочих мест, подключены электросварочные аппараты.

5. Сооружение трубы начинать с устройства монолитной плиты фундамента из железобетона М200, толщиной 40 см по щебеночной «подушке» из щебня М800 фракции 20-40 мм толщиной 100 см с послойным уплотнением поверхностным вибратором (виброплитой).

Сооружение нижней части тела трубы ведется по той же технологии, что и по фундаментной плите, которая предварительно должна быть защищена двуслойной оклеечной изоляцией толщиной 5 мм.

Особенность сооружения стен трубы заключается в соответствии с технологией Промстройпроекта в бетонировании стен ярусами высотой до 2,1 м и 1,8 м (по высоте панелей опалубки при использовании опалубки «Монолит-77»). При других типах опалубки высота яруса может меняться в зависимости от размеров собираемых опалубочных панелей.

Численный и профессиональный состав комплексной бригады по сооружению трубы определяется на основании технологических карт.

#### **Библиографический список:**

1. Водопропускные трубы под насыпями / под ред. О.А. Янковского. М.: Транспорт. 1976 г.

2. Автомобильные дороги. Трубы под насыпями автомобильных дорог / Н.П. Лукин, А.Н. Лукин, С.А. Щуко // Обзорная информация. М. Вып.6. 1988г.

3. Хрянина О.В., Саксонова Е. С., Абаев Д. В. Исследование транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги общего пользования на примере улиц Гражданская–Производственная в г. Каменка // Строительство и архитектура. 2019. №. 4. С. 68-73. DOI: <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2019-7-4-68-73> (дата обращения: 17.03.2021).

4. Варламова Т.В., Шаклина А.Д. К вопросу обеспечения надежности железобетонных водопропускных труб // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2016. № 5(19). С.39-43.

5. Шестаков В.Н., Щетинина Н.Н. Оптимизация конструктивно-технологических параметров укрепленных грунтовых подушек в основании водопропускных труб под насыпями автомобильных дорог // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2009. № 3 (24). С. 125-133.

6. ГОСТ 32871-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Трубы дорожные водопропускные. Дата введения 2015-07-01 с правом досрочного применения.

7. ГОСТ 32960-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения. Дата введения 2015-07-01.

8. Болдырев Г.Г., Барващов В.А., Идрисов И.Х., Хрянина О.В. Комплексная технология инженерно-геологических изысканий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2017. Т. 8. № 3. С. 22-33.

9. Хрянина О. В., Саксонова Е. С., Абаев Д. В., Радаев В. А. Оценка эффективности устройства водопропускной трубы при строительстве автомобильной дороги федерального значения // Строительство и архитектура . 2019. №. 4. С. 63-67. DOI: <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2019-7-4-63-67> (дата обращения: 17.03.2021).

10. ГОСТ 12248-2010. Грунты методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. Дата введения 2012-01-01.

11. Серия 3.501.1-156. Укрепления русел, конусов и откосов насыпи у малых и средних мостов и водопропускных труб. Типовая серия (Проектная документация). Минтрансстрой СССР. 1988.

12. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\*. Дата введения 2011-05-20.

13. ГОСТ Р 52289-2019. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств (с Поправкой). Дата введения 2020-04-01.