



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра водно-технических изысканий

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

**Учет руслового процесса при
строительстве водозабора на
реке Унжа**

На тему

Исполнитель

Кузьмин Илья Алексеевич

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

К.Г.Н. доцент

(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич

(фамилия, имя, отчество)

«Защита допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

К.Г.Н доцент

(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич

(фамилия, имя, отчество)

6 июня 2022 г.

Санкт-Петербург

2022

Оглавление

Введение	4
1. Постановка задачи	5
2. Характеристика участка реки Унжа.....	5
2.1 Местоположение и техническое описание района(участка) строитель	7
2.2 Краткая физико-географическая характеристика	10
2.3 Климатическая характеристика	11
2.4 Гидрологическая изученность	12
2.5 Характеристика гидрологического режима Река Унжа, является левым притоком Волги	14
3. Водозабор и основные проблемы	15
4. Классификация инженерных сооружений и мероприятий по характеру их взаимодействия с русловым процессом	18
5. Классификация русловых прогнозов	21
6. Изыскательские работы на участке проектирования водозабора	23
7. Выбор участка и створов для водозабора	26
8. Методика проведения лабораторных экспериментов с оголовками сваи	29
9. Взаимодействие грунта с трубопроводом	40
9.1 Теоретическая часть	40
9.2 Сопротивление грунта поперечным перемещениям трубы	44
9.3 Сопротивление грунта поперечным перемещениям трубы вверх	45
9.4 Сопротивление грунта поперечным перемещениям трубы вниз	47
9.5 Сопротивление грунта поперечным перемещениям трубы в траншее	48
9.6 Сопротивление грунта повороту трубы относительно продольной оси	50
10. Методика проведения лабораторных экспериментов с трубой	52

Заключение	54
Список используемых источников	55
Приложения	57

Введение

Основной целью является дать практические рекомендации по организации защиты водозабора от влияния наносов на реке Унжа.

Задачи, которые в процессе исследования необходимо решить, заключаются в изучение района изыскания. Сбор и анализ метеорологических и гидрологических характеристик. Изучение методики проведения изыскательских работ, характеристик движения и влияние наносов на гидротехнические сооружения.

Создание модели и проведение экспериментов для изучения изменчивости грядового режима при взаимодействии с различными видами препятствий.

1. Постановка задачи

Актуальность работы: Постоянное снабжение водой населения на необходимые нужды, промышленности и сельского хозяйства воды достаточно высокого качества требует более улучшенные системные характеристики водоснабжения. Водозабор – основной элемент водоснабжения. От его конструктивного решения, эксплуатационных характеристик зависит надежность и производственные параметры системы водообеспечения. При этом большая доля занимается разработкой для повышения характеристик работы водозаборных сооружений, подъеме их надежности и экономичности, при этом не наносить вред окружающей среде. В течение последних десятилетий водопотребление плавно шло на спад. На это оказывает влияние снижение производства, а также внедрением в системы водоснабжения индивидуальных приборов учета, что в свою очередь привело к более рациональному использованию воды и др. ресурсов. Для предприятия находящегося в Мантурово возникла потребность в воде для технических нужд. Соответственно, стал актуальным вопрос, как построить водозабор, с какими трудностями и финансовыми затратами придется столкнуться.

Цель инженерно-гидрометеорологических изысканий:

- получение метеорологических и гидрологических характеристик и параметров, необходимых для разработки проектной документации (П).
- составление прогнозов взаимодействия проектируемых объектов с окружающей средой, обоснование их инженерной защиты и выдачи рекомендаций для принятия экономических, технических обоснованных проектных решений с учетом рационального использования и охраны природной среды.

Для решения поставленных задач выполнены гидрологические работы, включающие полевые и камеральные этапы.

В подготовительный период был проведён сбор исходных материалов,

направлены необходимые запросы в специализированные организации и учреждения, подобраны картографические материалы, выполнено рекогносцировочное обследование участка проводимых работ.

Инженерно-гидрометеорологические изыскания выполнены для разработки проектной документации (П), согласно СП 11-103-97.

2. Характеристика участка реки Унжа

2.1 Местоположение и техническое описание участка строительства

Участок проектируемого водозабора: РФ, Костромская область, Мантуровский район, г. Мантурово, участок с кадастровым номером: 44:28:030302. (Рисунок 2.1.1).

Полевые работы выполнены в июле 2021 года ООО «ВУЛКАН ГРУПП», инженером-гидрологом Коптилкиным И.А. Камеральные работы выполнены в августе 2021 года ООО «ВУЛКАН ГРУПП», инженером-гидрологом Коптилкиным И.А.

Основные технико-экономические показатели:

- Водозаборные сооружения, совмещенные с насосной станцией 1-ого подъема производительностью 4 200,0 м³/сутки (175,0 м³/час).
- Водовод речной воды в 2 нитки протяженностью 150,0 м пропускной способностью 175,0 м³/час.
- Водоочистная станция хозяйственно-питьевого водоснабжения с блоком реагентного хозяйства производительностью 4 200,0 м³/сутки.
- Резервуары чистой воды общим объемом 2 000,0 м³, в том числе капитальный ремонт двух существующих объемом по 600,0 м³ с установкой на них фильтров-поглоителей и одного нового объемом – 800,0 м³. Количество и объем резервуаров приняты исходя из условия, что существующие резервуары будут поочередно выводиться на капитальный ремонт.
- Насосная станция 2-го подъема производительностью 406,5 м³/час.
- Водовод хозяйственно-питьевой воды от насосной станции 2-го подъема до городских сетей в 2 нитки протяженностью 1,0 км пропускной способностью 406,5 м³/час.
- Сооружения очистки промывной воды производительностью 480,0 м³/сутки.

- Сооружения по сгущению осадка водопроводных очистных сооружений производительностью 45,0 м³/сутки.
- Установка по механическому обезвоживанию осадка производительностью посухому веществу 0,8 т/сутки.
- Установка по очистке (накоплению) бытовых и производственных сточных вод производительностью 3,0 м³/сутки.
- Сооружения по очистке ливневых и талых вод с территории ВОС производительностью 20,0 л/с, 1 728,0 м³/сутки.
- Насосная станция подкачки поверхностных сточных вод производительностью 216,0 м³/час.
- Рассеивающий выпуск очищенных поверхностных сточных вод в р. Унжа диаметром 400 мм и протяженностью 220 м.
- Площадка для складирования песка (фильтрующей загрузки) объемом до 200,0 м³ двухсекционная.
- Генеральный план и благоустройство территории водоочистных сооружений площадью.
- Административно-бытовые и производственные помещения, лаборатории 220,0 м².
- Контрольно-пропускной пункт.
- Подъездная автодорога от водоочистных сооружений до городской дорожной сети длиной 1,0 км IV категории.



Рисунок 2.1 – Ситуационный план участка изысканий

2.2 Краткая физико-географическая характеристика

В административном отношении район изысканий расположен: РФ, Костромская область, Мантуровский район, г. Мантурово, участок с кадастровым номером: 44:28:030302.

Участок изысканий находится в центральной части Восточно-Европейской (Русской) равнины. Основные параметры рельефа — холмистая равнина, с абсолютной отметкой 150 м. Располагается на берегу притока реки Волги — реке Унжа в пределах Унженской низменности [13].

Территория которую занимают леса составляет в среднем примерно 62 %. Древесные породы, основной которая влияет на растительный покров, являются хвойные ель и сосна. На данный момент в лесах рассматриваемой территории хвойные породы могут достигать до 49,5 % и лиственные – 50,5 % древостоя. Из хвойных пород 27,2 % приходится на ель и 22,3 % на сосну. Из лиственных пород 41,4 % – берёза, и 9,1 % прочие лиственные породы. Флора Костромской составляет в текущий момент 1759 видов растений. Стоит включить еще 94 интродуцированных и 46 заносных видов [10].

В плане геологии область находится на северо-восточном замыкании Московской синеклизы. Известны образования архейского, протерозойского, палеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста. Мощность осадочного чехла достигает 2200–2900 м [11]. Почвенный состав представлен дерново-подзолистыми почвами.

2.3 Климатическая характеристика

Климатическая характеристика района изысканий приведена по данным следует принимать по ближайшей метеостанции, расположенной в местности с аналогичными условиями (Приложение 2).

В качестве исходной климатической информации использованы данные с Научно-прикладного справочника «Климат России» [6].

Климат района изысканий умеренно-континентальный с холодной зимой и умеренно-теплым летом. Основные климатические характеристики и их изменение по территории района определяются влиянием общих и местных факторов: солнечной радиации, циркуляции атмосферы, подстилающей поверхности. Развернутые метеопараметры указаны в Приложении 1.

Основные климатические параметры указаны в Таблице 2.3.1.

Таблице 2.1 – Климатические параметры

Климатическая характеристика	Значение по метеостанции Шарья
Температура воздуха наиболее холодных суток, С, обеспеченностью 0,98	-40
Температура воздуха наиболее холодных суток, С, обеспеченностью 0,92	-37
Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, С, обеспеченностью 0,98	-36
Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, С, обеспеченностью 0,92	-32
Температура воздуха, С, обеспеченностью 0,94	-18
Абсолютная минимальная температура воздуха, С	-44
Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее холодного месяца, С	6,9

2.4 Гидрологическая изученность

Данные наблюдений на этой метеостанции являются репрезентативными и достаточными для получения климатической характеристики. Расположение метеостанций и гидрологических постов указано в таблицах 2.4.1–2.4.3, климатические параметры по станциями на картах в Приложении 1. Согласно таблице изыскиваемый участок в гидрологическом отношении является недостаточно изучен.

На рассматриваемой территории наблюдения за режимными гидрометеорологическими характеристиками ведутся на гидрометрических постах Центрально-Черноземного УГМС Росгидромета.[9] Наблюдения за водным режимом рек в различные годы проводились на 2 стационарном гидрологическом посту, расположенных вблизи участка изысканий.

Таблица 2.2 – Метеорологическая изученность района

Река, гидроствор	Площадь водосбора, км ²	Длина реки от истока/ устья, км	Период действия поста		Отметка «0» гр. Поста, мБС	Принад- лежность
			открыт	закрит		
р. Ветлуга – Шарья	14 900	37/519	30.10.1 931	Действ.	98,15	ФГБУ «Центральн ое УГМС»

Таблица 2.3 – Гидрологическая изученность

р. Межа – Загатино	2 120	147/39	13.10.1956	Действ.	106,77
р. Унжа – Мантурово	16 200	277/149	01.11.1931	Действ.	97,29

Таблица 2.4 – Метеорологические станции в районе изысканий

Метеостанция	Координаты		Высота метеоплощадки, мБС	Период действия	
	Широта (с.ш.)	Долгота (в.д.)		открыта	закрыта
Ветлуга	57°51 ,	45°46 ,	133	01.01.1888	Действ.
Кологрив	58°49 ,	44°19 ,	150	01.01.1886	Действ.
Макарьев	57°54 ,	43°46 ,	115	01.12.1899	Действ.
Мантурово	58°20 ,	44°46 ,	128	05.09.2012	Действ.
Николо-Поломна	58°21 ,	43°23 ,	149	01.01.1924	Действ.
Пыщуг	58°53 ,	45°43 ,	155	01.01.1888	Действ.
Шарья	58°22 ,	45°32 ,	118	18.09.1949	Действ.

2.5 Характеристика гидрологического режима Река Унжа, является левым притоком Волги

В верхнем течении р. Унжа протекает по склонам Северных Увалов, а в среднем и нижнем – в низменном лесном Заволжье. Река расположена в районе с избыточным увлажнением. Верхний участок реки имеет в основном прямоугольную форму, длина этого участка составляет 220 км, берега сложены горными породами которые плохо подвергаются размыву. Из-за переноса песка, образуются перекаты, также плотные глины могут обнажаться и образовывать плесы. Правый берег реки коренной, а левый – пойменный. Отметка ширины поймы реки Унжа может колебаться, ширина русла – от 90–110 в районе города Кологрив до 170–220 м (г. Макарьев). С увеличением ширины реки на смену песчано-галечные приходят песчаные отложения. При расширении реки песчано-галечные отложения сменяются песчаными.

Среднегодовой расход воды у г. Кологрива 97,8 м³/с, у г. Макарьева (50 км от устья) 170 м³/с. Основным источником питания является запас снега. Унжа имеет восточноевропейский тип водного режима с весенним половодьем, летне-осенней и зимней меженью. Максимальный пик половодья и значение расхода приходится на вторую декаду апреля. Наибольший расход воды в нижнем течении реки 2520 м³/с, наименьший – 7,82 м³/с. Когда вода достигает максимальной отметки, речная пойма затопляется на 70–120 см. Стоит отметить, что в устье реки имеет подпор в виде Горьковского водохранилища

Уровень вод при весеннем половодье может достигать до 7 метров, период половодья 8–20 дней [9]. Период ледостава с начала ноября по конец марта. В третьей декаде февраля лед имеет толщину примерно 60 см.

3. Водозабор и основные проблемы

Для проектирования и использования водозаборов можно было дать оценку влияния на них наносов, необходимо учитывать интенсивность изменения русла реки и поймы на участке, где будут проводиться работы и, следовательно, знать основные типы русловых процессов. Исходя из типизации, выделяют 7 типов русловых процессов – макроформ ленточно-грядовой; побочневый; ограниченное меандрирование; свободное меандрирование; незавершенное меандрирование; русловая многорукавность; пойменная многорукавность. Нужно учитывать, вместе с отличительными русловыми процессами появляются переходные или смешанные процессы [3]. Понимание происходящего руслового процесса дает возможность анализировать влияние наносов на работу водозаборов и использовать более продуктивные методы защиты. Ленточно-грядовой тип. Линии гряд наносов растянуты по всему профилю русла и постоянно находясь в движении, их может остановить, когда слишком низкий уровень воды. Что приводит к формированию осередков. Тип этот наблюдается в верхнем течении; на других участках оказывает влияния на меандрирование (в начальных стадиях). Побочневый тип. Ленточные гряды, перекошенные в плане, в противоположных направлениях сползают в половодье. Те участки, где размывают берега прикрываются сползающими побочнями, гребни которых периодически размываются при спаде паводка и восстанавливаются в половодье. Шаг гряд превышает ширину русла. Низкий уровень воды приводит к обнажению побочней, что приводит к образованию отмелей подводных кос, создающие затоны.

Ограниченное меандрирование из-за того что происходит разрыв массивов в пойме, излучины стремятся вниз по течению без существенного изменения плановых очертаний и профиля дна. Появляющиеся перекаты на перегибах русла, размываются в межень и восстанавливаются в периоды

паводков. Плесы, наоборот, размываются в половодья и заносятся в межень. Пойменные процессы (намывы, размывы) идут более интенсивно, массив увеличивается вверх. При высоком половодье на пойме возможны транзитные течения. Излучины получают замкнутый цикл развития – от меандрирования русла до отделения петли. Перекосы образуются на грядах на перегибе реки. Пойма широкая с волнистым рельефом и также есть старицы в виде подков.

Незавершенное меандрирование. Протока способна спрямлять излучины из-за изрядного совпадения динамических осей потока во время межени и половодья. Прямое русло дает возможность более интенсивно переносить наносы, в нем поэтапно идет побочный, ленточно-грядовый или осередковый тип руслового процесса. Итогом является образование побочной и гряд [1].

Русловая многорукавность. Изменение границ русла зависит от интенсивного размыва берегов. Поток перегружен донными наносами. В течение нескольких часов может происходить деформация русла и этому могут быть подвергнуты значительные участки по расстоянию. В руслах из гравийно-галечниковых отложений деформации могут быть при повышенных паводках, но протекают они достаточно интенсивно. Русловую многорукавность можно встретить в предгорных и устьевых участках рек [7].

Пойменная многорукавность. Выпрямление захватывает многие излучины и образует длинные пойменные протоки не имея четких границ основного русла. Единая водная сеть образуется за счет соединения главных потоков вторичными. В протоках самостоятельно развиваются различные формы русловых процессов. Во время использования водозабора широкая пойма затапливается, на достаточно большую глубину. Из-за паводков уровень воды поднимается, плесы обычно подвергаются размыву из-за сильного, возрастания скорости потока. В отличие от плесов на перекатах откладываются наносы, которые могут достигать на крупных реках до 5–6 метров. Микроформы образуются при всех русловых процессах. Которые изменяют рельеф и количество наносов [2].

Основная проблема водозаборных сооружений – наносы. Они могут

перекрывать подачу воды из-за засорения водопропускных отверстий. Защитить могут позволить оголовки свай, но их также трудно защитить от внутриводного льда. К тому же влияние наносов оказывается более серьезным: они накапливаются в оголовках и самотечных линиях, береговых колодцах, камерах реакций и отстойниках водоочистных станций, вызывая осложнения в работе не только водозаборов, а в целом головных сооружений водопроводов. Для более уверенной защиты водозаборов от наносов, нужно проанализировать каждую ситуацию на реках индивидуально [3].

Активный перенос наносов в виде подводных гряд происходит в нижних бьефах плотин из-за вариации руслоформирующих процессов. Негативное воздействие руслоформирующих процессов играет роль в отложении наносов у водоприемников, увеличивается отметка дна реки у водоприемных окон до уровня порога и попадание наносов внутрь водозаборных сооружений. Когда меняется порог водоприемника в условиях грядового режима стоит не упускать из внимания параметры гряд, и уточнять теоретическими расчетами для различных годовых сезонов. Высоту гряд, м, установившегося профиля в межень определяют по формуле В. С. Кнороза где H — глубина потока на участке расположения водоприемника, м; V_a — средняя скорость потока, м/с; $V_{ар}$ — неразмывающая скорость, м/с, определяемая по формуле:

$$H = 3.5 \frac{\left(\frac{V_{cp} - V_0}{V_{cp}}\right)^{2/3}}{\frac{R}{\lg \frac{R}{d_{50}} + 6}} \times R \quad [1]$$

4. Классификация инженерных сооружений и мероприятий по характеру их взаимодействия с русловым процессом

В соответствии с основой прогнозов учет руслового процесса должен использоваться применительно к требованиям водопотребителей при проведении определенных инженерных мероприятий на реках. Обычно, эти мероприятия осуществляются с помощью различных сооружений, возводимых в русле и на пойме реки.

Как утверждал Кондратьев Е.В., естественный процесс деформации русла и поймы из-за влияния текущей воды может осложняться присутствием сооружений. Одновременно и само сооружение может испытывать воздействие как естественного, так и видоизмененного процесса создает большое число форм воздействия между ними. Использование на практике удобнее делить не формы воздействия, а сооружения распределив, их по соответствующим классам. Первый принцип позволяет рассматривать взаимодействия сооружений и руслового процесса как часть антропогенной деятельности, проводимой в речных бассейнах, и выделить, наряду с этой частью, агротехнических мероприятия на водосборах [4].

Эти мероприятия могут координальным образом поменять основные факторы руслового процесса и влиять на его естественное развитие. Второй принцип состоит в выделении главных тенденций переформирования русловых форм и тех инженерных сооружений, которые способны оказывать влияние на эти формы.

Из данного принципа следуют три следствия, которые обязаны быть учтены в классификации. Исходя по первому из них необходимо выявить причинно-следственные связи между определенным видом сооружений и типом морфологического образования. Два других следствия требуют выделения этих типов русловых форм и видов сооружений. Типизация русловых форм достаточно полно представлена в гидроморфологической

теории руслового процесса. Разделение сооружений по их инженерному назначению будет введено в классификацию. Что касается систематизации парных связей, то их характеристика в общей форме будет дана в пояснение к классификации. Активные сооружения подразделяют на две категории. Строительство сооружений первой категории приводит к однонаправленному изменению характеристик одного, двух трех определяющих факторов в масштабе всей реки или ее части, охватывающей ряд макроформ или морфологических однородных участков. Поскольку закономерное сочетание определяющих факторов создает тип руслового процесса, то их изменение может привести к смене этого типа, к возникновению новых значений характеристик потока и русла. Последнее приводит к изменению русловых образований на других структурных уровнях.

В первую категорию включены: плотины гидроузлов, мостовые переходы, мероприятия по отъему жидкого стока, мероприятия по обводнению рек. Зона влияния может распространяться на всю реку и на ее часть, охватывая ряд макроформ или морфологически однородных участков. Однако практически всегда осуществление сооружений и мероприятий первой категории приводит к перестройки русловых форм на всех структурных уровнях, причем по-разному в каждом случае инженерного воздействия. Последнее учтено в квалификации прогнозов.

В первую категорию могут включаться и другие виды инженерной деятельности, сходные с перемещением по характеру воздействия на русловой процесс (Таблица 4.1). В частности, агротехнических мероприятия на водосборе, приводящие к коренному изменению стока воды и твердых частиц в реку, могут быть приравнены к сооружениям первой категории.

Конструктивные особенности пассивных сооружений, их размеры, место положения и продолжительность эксплуатации таковы, что они не могут изменить на заметном протяжении ни гидравлические параметры потока, ни режим транспорта наносов, ни ограничивающие факторы. Именно к этой категории относятся водозаборы. Однако при массовом возведении на реке

подобных сооружений их эффект воздействия на определяющие факторы может быть такими же, как и у активных сооружений: например, когда на реке имеется много небольших водозаборов. Пассивные сооружения подвержены влиянию всех типов русловых форм. Учет руслового стока при проектировании пассивных сооружений состоит в определении тех русловых форм, под влияние которых попадает конкретное сооружение и в определении диапазона их деформации.

Если сооружение нельзя разместить за пределами границы деформации, то задача его размещения решается стабилизацией деформации русла с помощью руслорегулирующих сооружений второго класса, или поиск нового участка реки или разработка такой конструкции сооружения, чтобы избежать влияния деформаций [4].

Таблица 4.1 – Классификация гидросооружений

Активные сооружения		Пассивные сооружения
1 категория	2 категория	-
Плотины	Русловыправительные сооружения	Бесплотинные водозаборы
Мостовые переходы	Судоходные прорези	Водосбросы, выпуски сточных вод
Отъем стока рек при его переброске	Русловые перемычки	Трубопроводы, ЛЭП
Обводнение рек при переброске стока	Плотинные водозаборы	Сооружения курортных комплексов
-		Причалы, набережные

5. Классификация русловых прогнозов

Для создания системы русловых процессов необходимы общие методики расчета прогноза, теории русловых процессов теоретических схем взаимодействия сооружений и русловых процессов. В ходе проведенных наблюдений и анализа необходимой информации Попов Б.Ф. утверждал, что прогноз имеет различные заблаговременностью, исходя из режима имеет свою точность, основанное на информацией закономерностей развития гидрометеорологических процессов, которые конкретизируют это явление в ограниченных условиях данной реки, озера или водохранилища [4].

Прогноз руслового процесса-это предвычисление в пространственном или временном интервале любого изменения морфологического строения русла, основанное на знании закономерностей развития русловых процессов, определяющих это явление в конкретных условиях данного водотока. Б.А. Аполов предлагал различать прогнозы по восьми признакам: сроку, содержанию, гидрологическим объектам, величине объекта, отрасли народного хозяйства, точности, использованным материалом, методам, охватываемому району [4]. Впоследствии вместе с Комаровым В.Д. Предложили две классификации, по явлениям и закономерностям.

Исходя из природы руслового процесса, потребностей его учета при строительном проектировании и опыта других наук, в настоящее время целесообразно различать русловые прогнозы по: общецелевому назначению, генезису водотока, виду водотока, схема взаимодействия с инженерными сооружениями и мероприятиями, времени предвычисления, методам предвычисления.

В соответствии с намеченными признаками предлагается различать следующие виды русловых прогнозов (таблица 5.1) [4].

Таблица 5.1 – Виды русловых прогнозов

Признак прогноза	Вид прогноза
По общецелевому назначению	Научно-познавательные, инженерные, природоохранные
По генезису водотока	Прогнозы для естественных водотоков и искусственных
По виду водотока	Прогнозы для равнинных рек, горных и с особыми условиями
По характеру взаимодействия инженерных сооружений с русловым процессом	Прогнозы при сооружении первой и второй категории и пассивных
По времени предвычисления	Прогнозы стадий развития русловых форм
По методам прогнозов	Гидроморфологические, гидравлично-морфометрические, моделирование

Основной задачей при строительстве и проектировании нужно грамотно анализировать влияние инженерного сооружения на объект природы.

Природоохранные прогнозы проводятся уже при строительстве и проведение крупных мероприятий на водном объекте, для устойчивости сооружений.

Существует временное разделение прогноза как краткосрочные, долгосрочные. Это не совсем удачное деление для русловых процессах Такое деление в русловом процессе, представляется некорректным не определяется теоретическое обоснование деления. Более рационально брать временной промежуток в виде генетического цикла развития русловой формы или явления на определенном структурном уровне. Поскольку период эксплуатации сооружения по продолжительности может значительно уступить времени полного цикла развития русловой формы, стоит использовать прогноз стадии развития русловых форм.

6. Изыскательские работы на участке проектирования водозабора

Для того чтобы как можно больше учесть деформаций русел всех элементов реки, следует иметь структуру проведения работ и выполнять их постепенно (предполевые, полевой, камеральный).

Предполевой этап подразумевает под собой выполнение следующих обязанностей

- предварительный выбор участков;
- обработка карт и приложений к ним;
- определение типа руслового процесса на предполагаемых участках.
- анализ донных и плановых деформаций русла и поймы, а и их численных параметров (при наличии необходимых материалов);
- обработка информации по гидрологическому режиму реки на участке перехода;

Итогом этого этапа является составление обзорной схемы участка реки, обозначением границ меженного русла, поймы, коренных берегов долины, выделением целостных морфологических образований и фрагментов русла (побочней, осередков,) сторов, перекатов, плёсовых лощин, затонов, проток), нанесением средней геометрической линии меженного русла и линии фарватера, обозначением хорошо опознаваемых ориентиров на местности, указанием расстояний до ближайших гидрологических постов, гидротехнических сооружений, мостов.

Масштаб схемы должен быть не менее:

1:10000 – для рек шириной до 150 м, 1:25000 – для рек шириной от 150 до 500 м, 1:50000 – для рек шириной более 500 м.

Полевой этап подразумевает под собой следующие цели:

- установление типа руслового процесса на участке перехода;
- ниже створов перехода определяются минимальные отметки,
- определение состава донных наносов и залегания

плохоразмываемых грунтов;

- измерение геометрических и динамических характеристик донных гряд;

- определение расчетных уровней и скоростей течения в паводок и межень; При полевых изысканиях должны быть выполнены следующие работы:

- рекогносцировочное гидроморфологическое обследование участка реки в меженьный период;

- наблюдения за уровнем воды и измерения расходов воды на временных постах;

- инженерно-геологическое исследование

- русловая съемка;

- взятие проб донных наносов на участке перехода;

- измерения поля поверхностных скоростей во время половодья и межени наземным или аэрогидрометрическим методами;

- измерения скорости потока на вертикалях по намеченным створам (во время половодья и межени);

- повторные промеры глубин русла по поперечникам и продольникам в различные фазы водного режима: в подъем, при прохождении пика и спаде половодья и паводков.

Итоговым отчетным материалом после прохождения полевых изысканий:

схематический план гидроморфологического обследования участка перехода, план русловой съемки, схема геологического рекогносцировочного обследования участка с геологическими разрезами по створам (по данным инженерно-геологических изысканий), а также совмещенные поперечные профили и профиль примерного размыва русла (для ленточно-рядового, побочного типов руслового процесса и ограниченного меандрирования).

Заключительным этапом является камеральная обработка, которая предоставляет информацию о прогнозе размыва русла. Необходима следующая информация:

- совмещенные планы и профили сезонных деформаций русла (для

годового цикла наблюдений);

- план поверхностных скоростей течения на участке перехода в период половодья и межени (при годовом цикле наблюдений);
- совмещенные продольные профили дна по створам перехода;
- типовые гидрографы стока воды для маловодного, среднего и многоводного годов;
- кривые обеспеченности расходов и уровней воды;
- графики связи уровней и максимальных глубин по материалам многолетних наблюдений на изучаемом участке реки или ближайшем гидростворе Госкомгидромета. Для прогноза используют такие параметры как:
 - средняя скорость смещения мезоформ (ленточных гряд, побочней, осередков) за многолетний период;
 - средняя скорость размыва берегов за многолетний период;
 - средняя сезонная деформации плёсов;
 - максимальной прогнозируемой глубины русла в створе за срок службы перехода.

Перечисленные характеристики должны индивидуально подбираться и использованы в расчетах для каждого створа, где планируется строительство гидротехнического сооружения. Это необходимо из-за разновидностей русловых процессов, параметров реки и геологического строения [5].

7. Выбор участка и створов для водозабора

При выборе вариантов расположения перехода необходимо руководствоваться следующими общими требованиями:

- объект должен находиться, где река слабоизогнута и не на широкой пойме;
- угол расположения водозабора относительно реки примерно 90 градусов;
- если широкая пойма, то должно быть минимальное количество стариц и озер с неиспользовать участки многорукавных русел и излучин, имеющих спрямляющие протоки;
- воздействие сооружений I и II категорий минимальны;
- в нижних бьефах гидроузлов избегать зоны, где происходит интенсивно размывание русла.

Выбор участка и створов подводного перехода следует осуществлять в несколько этапов.

Сначала выбирается предполагаемый участок с помощью картографических, аэрофотосъемочных, топографо-геодезических планов участков масштаба 1:10000-1:100000 (в зависимости от ширины русла), и учитывать с помощью литературных источников геологическое и геоморфологическое состояние в зоне проектирования.

На втором этапе проведения работ участие принимает комиссия с компанией выполняющая изыскания вместе со специалистами по прогнозированию деформаций русла.

Дополнительной информацией является результат рекогносцировочного обследования предполагаемого участка для строительства. В качестве картографической основы при рекогносцировочном обследовании следует использовать крупномасштабные карты или планы масштаба 1:10000-1:25000. Если использование картографической информации ограничено, то необходимо

построить схему участка.

Рекогносцировочное обследование следует проводить при низком уровне воды в реке. В ходе обследования на план (схему) участка наносят границы подмываемых участков берега, местоположение мезоформ речного русла (побочни, осередки, острова, косы), гребни перекатов, пляжей, устанавливается характер строения берегов, крупность донных наносов, наличие растительности на берегах и русловых формах, определяются места возможного образования зажоров или заторов льда.

С целью получения дополнительных сведений о режиме русловых деформаций в многолетнем разрезе (темпы размыва берегов, смещение плёсов и перекатов, перемещение излучин, прорыв петель, отторжение побочней, развитие спрямляющих протоков и рукавов) в период рекогносцировочного обследования следует проводить опрос местных жителей, а также речников, рыбаков, перевозчиков паромов и др. Полученные сведения необходимо оформлять в виде актов опроса.

Используя материал, собранный на предыдущих этапах, то организация участвующая в изысканиях предоставляет комиссии краткую записку, где приводится оценка руслового процесса [5].

Комиссия утверждает участок, где будет происходить строительство водозабора. Необходимо учитывать виды русловых процессов при выборе:

- на участках русел с ленточно-рядовым и побочневым типами – на плёсовых участках, в нижней части побочней и плёсов;
- при ограниченном и свободном меандрировании (для пологих излучин) - на плёсовых участках ниже вершины излучины;
- при свободном меандрировании (для хорошо развитых излучин с углом разворота более 120°) – вблизи точек перегиба ниже или выше (между плёсом и перекатом);
- при незавершенном меандрировании с развивающимся спрямляющим протоком
- на отмирающей излучине без пересечения спрямляющего протока;

- при осередковом типе – в местах наиболее глубоких плёсов, низовых участков сползающих островов.

Избегать участки с образованием заторов и зажоров, интенсивного разрушения берегов в результате склоновой эрозии, развития оползневых и карстовых явлений.

8. Методика проведения лабораторных экспериментов с оголовками сваи

Для создания модели участка р. Унжи в районе проектируемого водозабора была использована справочная литература по гидравлическому моделированию. Из возможных вариантов расчетов модели было выбрано моделирование движения потока в открытом русле с искажением масштабов.

При расчетах русловых моделей часто встречаются затруднения в отношении выбора достаточно крупного масштаба модели, обеспечивающего наличие подобия гидравлических процессов и возможности применения соответствующих правил моделирования. Это обычно обусловливается ограниченностью лабораторных возможностей и соображениями экономического порядка. При малых масштабах модели глубины и скорости часто настолько уменьшаются, что оказываются не обеспеченными условия турбулентного режима. В этом случае приходится применять искажение масштабов, дающее возможность получить большие глубины и скорости на модели. Данные представлены в Таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Исходные данные

Параметры	Натура	Модель
Длина L, м	720	2.06
Ширина B, м	160	0,6
Расход Q, м ³ /сек	122,3	0.01
Средняя глубина h _{ср} , м	1.4	0.1
Площадь, ω м ²	228	-
Средняя скорость v _{ср} , м/с	0.54	0,3
Коэффициент шероховатости n	0.025	0,025
Re	588000	23000

Основными ограничительными условиями являются лабораторные возможности, обеспечение турбулентного режима и характера движения на модели.

В итоге для создания модели были выбраны следующие масштабы: вертикальный масштаб 1:50, горизонтальный масштаб 1:260. При помощи схемы (Рисунок 8.1).

После выполнения гидравлических расчетов в лотке с переменным уклоном размером 6х0,6 м была создана жесткая модель участка р.Унжа в границах съемки глубин.

Участок был разбит 7 поперечными створами с таким расчетом, чтобы рельеф дна между створами носил максимально плавный характер (рис. 8.1). Для каждого поперечника в масштабе модели из листа фанеры были вырезаны поперечные профили и укреплены в лабораторной лотке (рис. 8.2).

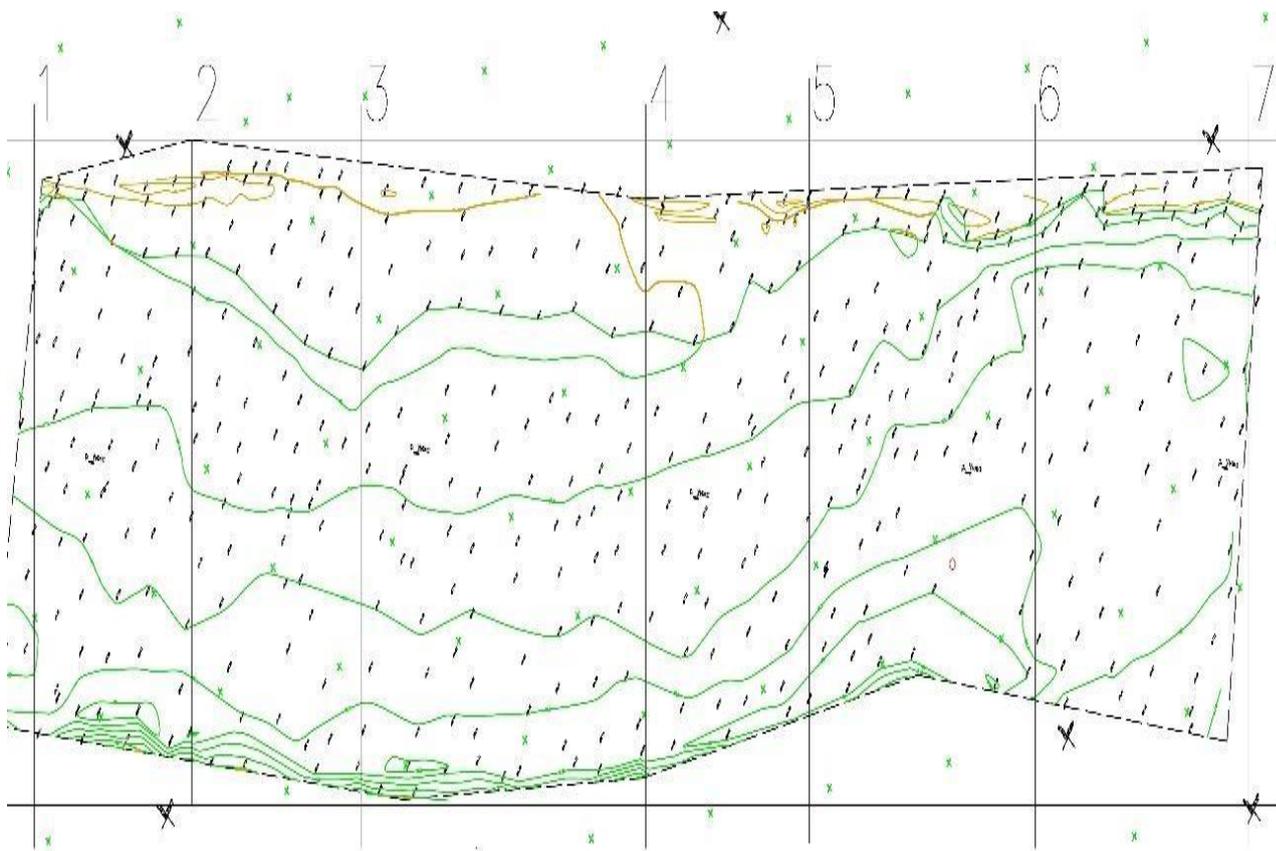


Рисунок 8.1 – Разбивка створов на участке р. Унжа для построения модели



Рисунок 8.2 – Поперечные профили

Промежутки между профилями были заполнены утрамбованным влажным песком. Поверхность песка между профилями была выровнена. Уплотненная песчаная поверхность модели была покрыта цементным молочком с марлевымармированием (Приложение 3).

Задачами моделирования были получение качественной картины распределения скоростей течения в створе водозабора на среднемноголетние условия (расход воды 223,4 куб.м/с, проходящий при отметке уровня воды 98,4 м БС со средними скоростями течения 0,54 м/с).

После создания модельных условий, на модели с помощью лабораторной микровертушки были получены эпюры распределения скоростей потока на модели. Эпюры представлены на рис. 8.3.

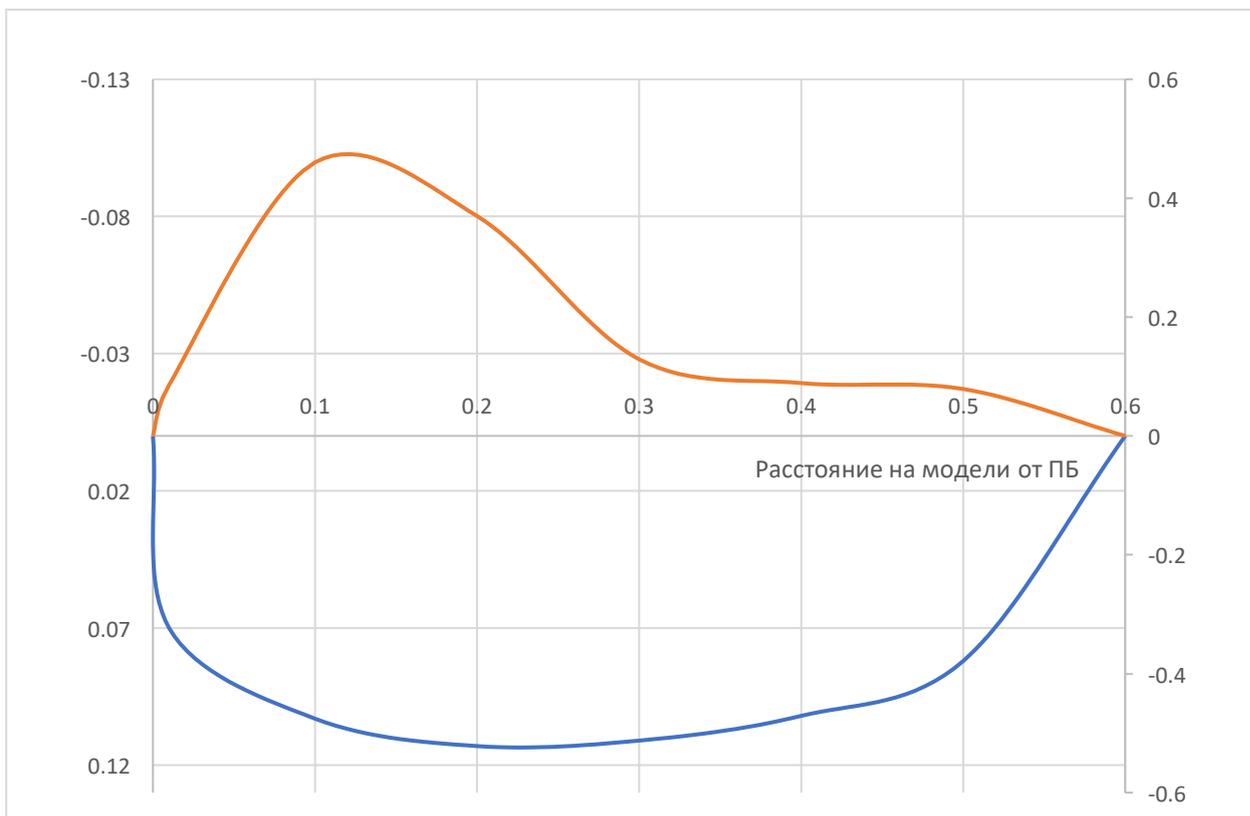


Рисунок 8.3 – Эпюры распределения средних на вертикали скоростей течения на модели

Для имитации движения наносов модель была покрыта тонким слоем песка, просеянного через сито диаметром 2 мм.

После подачи воды на модели (средние условия) в русле сформировались микроформы, хорошо соответствующие натурным условиям (Приложение 3).

Задачами моделирования были получение качественной картины распределения скоростей течения в створе водозабора на среднемноголетние условия (расход воды 223,4 куб.м/с, проходящий при отметке уровня воды 98,4 м БС со средними скоростями течения 0,54 м/с). Как показали результаты моделирования скоростного поля, распределение скоростей потока не соответствует распределению глубин на поперечном профиле через водозабор. Максимум скоростей потока смещен к правому берегу. Левый берег находится в динамической тени от подвалья косы, расположенной ниже по течению. Эпюры средних на вертикалях скоростей потока для поперечного профиля по створу проектируемого водозабора, пересчитанные на натуру, приведены на

рис. 8.4.

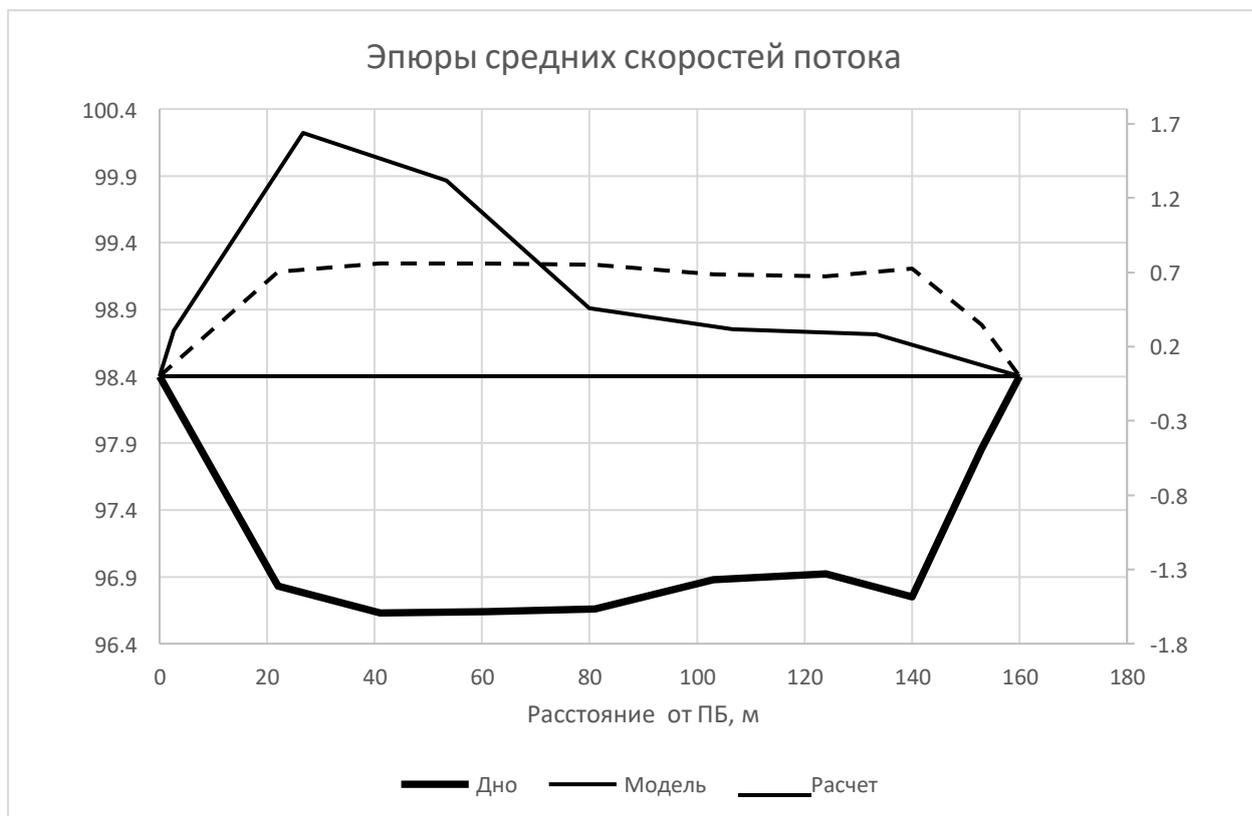


Рисунок 8.4 – Пересчет на натуру

Для сравнения, на рис. 8.4 приведены также расчетные эпюры скоростей по методике А.В. Караушева. В соответствии с этой методикой, средние скорости навёртикали являются функцией глубины:

$$v = Kh^{2/3}. \quad [2]$$

В створе проектируемого водозабора, по результатам моделирования, наблюдается нарушение этой закономерности, что, как указывалось выше, является следствием «нависания» вышерасположенной косы со стороны левого берега.

Сосредоточение потока у правого берега должно приводить и к различным размерам гряд,двигающихся по руслу реки у левого и у правого берегов. Так, модельные гряды,двигающиеся по русловой ложбине вдоль правого берега имеют более крупные размеры (в 2 раза) по сравнению с грядами,двигающимися вдоль левого берега. В 4 главе определены параметры гряд на напорном склоне косы по данным обработки космических снимков р. Унжи. Учитывая результаты моделирования можно сделать однозначный вывод о том, что гряды,двигающиеся вдоль правого берега будут иметь большие размеры – как длину, так и высоту. К сожалению, современный уровень развития науки не позволяет по результатам моделирования точно подсчитать параметры гряд у правого берега, в зоне проектируемого оголовка. Однако можно сделать определенный вывод о том, что эти гряды будут иметь размеры более 10 м в длину и более 0,35 см в высоту.

Моделирование условий обтекания низконапорных защитных дамб оголовков водозабора донными наносами,двигающимися в грядовой форме.

Как известно, любое гидротехническое сооружение оказывает влияние на подвижное аллювиальное русло, одновременно испытывает и обратное воздействие этого русла.

Целью работы являлось изучение закономерностей взаимодействия низконапорных дамб различных очертаний с аллювиальным дном при грядовом

режиме перемещения наносов.

Для решения поставленной задачи в прямоугольном лотке из пластичной массы были выполнены макеты 7 форм дамб двух профилей (рисунок 8.5).

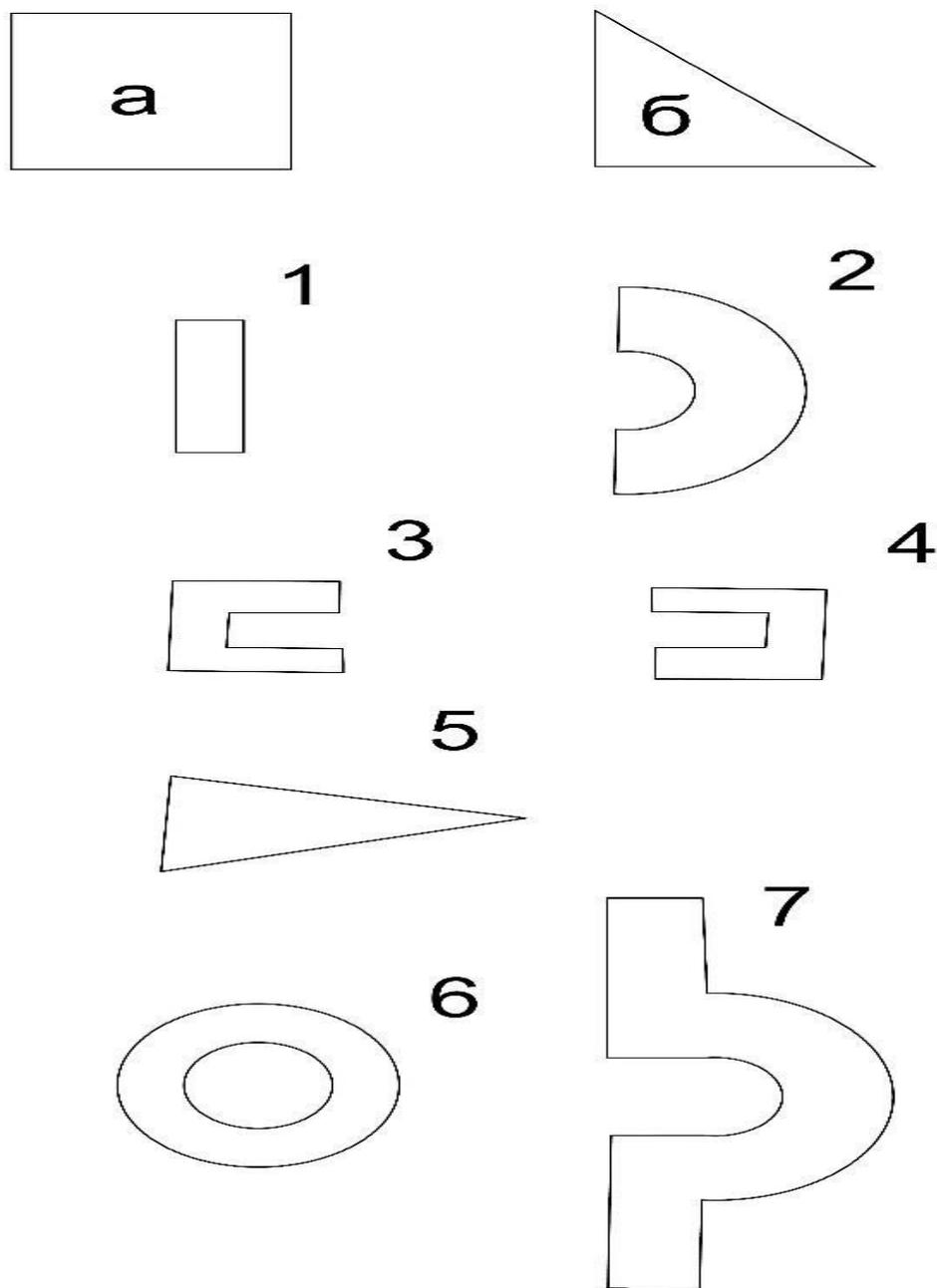


Рисунок 8.5 – Формы макетов низконапорных дамб, исследованных в эксперименте. Поток движется справа налево

В эксперименте защитные оголовки выполнены одинакового прямоугольного профиля (см. Рисунок 8.6) высотой приблизительно равной высоте донных гряд. А также выполнены одинакового треугольного профиля той же высоты. Скос выполнен в сторону набегающего потока. В процессе пуска воды потоком формировались микроформы – гряды и материала той же крупности, что использовался на модели р. Унжа. Результаты экспериментов фотографировались. Наиболее интересные результаты приведены ниже.



Рисунок 8.6 – Влияние преград на наносы

В процессе экспериментов на дамбы напоздали донные гряды высотой сопоставимой с высотой дамб.

Основные выявленные закономерности взаимодействия дамб и подвижного дна состоят в следующем:

1. При прямоугольном профиле перед дамбами образовывались воронки размыва.

2. Непосредственно за тыловой частью дамбы наблюдалось устойчивое скопление наносов.

3. Ниже по течению формировался конус выноса наносов. Форма конуса выноса разнообразна. Для силуэтов 2, 6 и 7 (рис. 3.2) наблюдалась вторая воронка размыва, за пределами дамб. Эта воронка носит неустойчивый характер и перекрывается поступающими сверху наносами.

4. При скошенном в сторону потока профиле воронка размыва перед профилем практически не прослеживается.

5. Со стороны задней кромки принципиальных различий не отмечено. Непосредственно за тыловой частью дамбы наблюдалось устойчивое скопление наносов.

6. Профиль 5 практически не создавал воронку размыва на переднем фронте. В тыловой части также наблюдается конус выноса.

7. Внутри П-образного профиля, развернутого по потоку (профиль 3) наблюдается процесс постепенного вымывания наносов.

Представляет интерес также процесс взаимодействия дамбы 3 сдвигающимися через них грядами. Для исследования особенностей этого процесса были выполнены серии фотосъемок. На каждой фотографии был выделен гребень гряды. Последовательное положение гребней во времени было совмещено на одном рисунке.

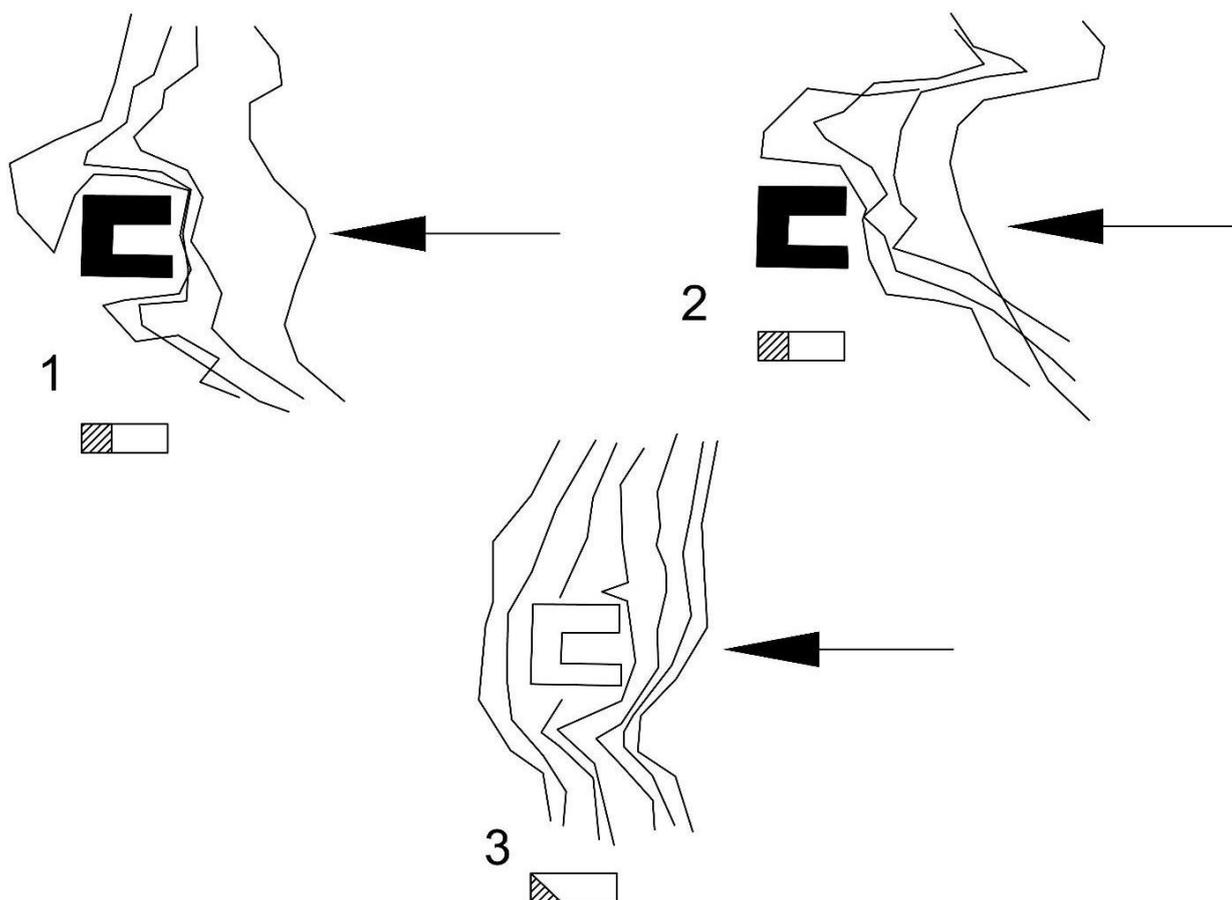


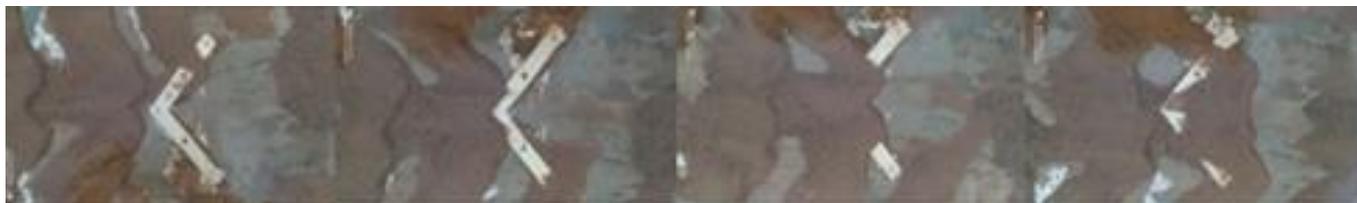
Рисунок 8.7 – Совмещенные линии гребней гряды при ее движении через дамбу 3 (1,2 – серии экспериментов с прямоугольным профилем дамбы, 3-скошенный профиль дамбы)

Анализ результатов экспериментов для дамбы №3 показал, что гряда перед дамбой №3 с прямоугольным профилем замедляется, не входя во внутреннее пространство дамбы. Вдоль левой и правой стенок дамбы гряда ускоряется, обтекая препятствие. За дамбой фронт гряды смыкается.

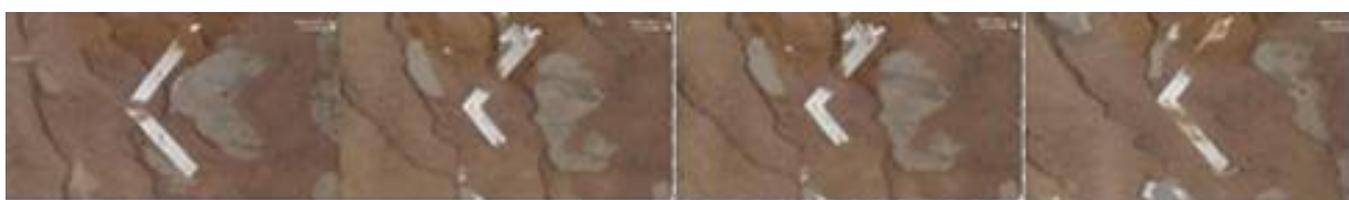
При скошенном профиле дамбы возникает другая картина прохождения гряды. На рисунке 8.7 видно, что на 3 схеме фронт гряды слабо трансформируется, а наносы тела гряды частично поступают внутрь тела дамбы.

Стоит отметить, что в условиях использования препятствия типа треугольника наблюдалась самая большая и длинная вымоина. Было принято решение исследовать дальше именно этот вариант. Далее был проведен ряд

опытов, где менялись оголовки свай по высоте относительно гряды. Схема представлена в (Приложении 3). Высота оголовков составила $h_{гр} = 0.25 h_{гр} = 0.75 h_{гр} = 1.25$ (Рисунок 8.8).



а



б



в

Рисунок 8.8 –Занесение треугольного препятствия с временным шагом $t=1$ мин:
(а) $h_{гр} = 0.25$ (б) $h_{гр} = 0.75$ (в) $h_{гр} = 1.25$

В результате проведенных опытов, была выявлена оптимальная форма препятствия имеющая треугольную форму и высоту $h_{гр} = 1.25$ (рисунок 8.8в). Данная преграда не заносится наносами. Вымоина, расположенная после преграды, не изменяет свою форму с течением времени. Практическое применение проведенного исследования можно использовать для защиты сооружений, например водозабора, от наносов.

9. Взаимодействие грунта с трубопроводом

9.1 Теоретическая часть

Рассматривается вариант, проложения водозабора в виде трубы, по дну реки Унжа. Для этого были использованы статьи, которые описывают оказывающие влияние грунта на саму трубу, также был проведен лабораторный эксперимент

Влияние грунта на трубопровод проложенного по дну реки имеет несколько схем описывающих их взаимодействие.

а) продольное перемещение трубопровода в грунте;
б) поперечное перемещение трубопровода в грунте по горизонтали;
в) поперечное перемещение трубопровода в грунте по вертикали (при этом возможны перемещения как вниз в сторону не потревоженного грунта, так и вверх в сторону грунта засыпки);

г) кручение трубопровода в грунте. Если рассматривать влияние подвижек грунтовых массивов на трубопровод, то можно отметить, что в общем случае трубопровод под влиянием подвижек грунта испытывает пространственные перемещения, которые могут быть разложены на частные случаи, вызванные различными схемами воздействия грунта на трубопровод (эти схемы коррелируются вышерассмотренными, но формулируются несколько иначе):

а) продольные перемещения трубопровода, вызванные продольным перемещением грунта;

б) поперечные перемещения трубопровода по горизонтали, вызванные поперечными горизонтальными подвижками грунта;

в) поперечные перемещения трубопровода по вертикали, вызванные поперечными вертикальными подвижками грунта;

г) закручивание трубопровода вследствие закручивания (поворота)

грунтовой массы, в которой проложен трубопровод. Продольные, поперечные горизонтальные, поперечные вертикальные подвижки грунта, а также повороты грунтовой массы, в которой размещен трубопровод, могут быть вызваны замачиванием грунта, оползневыми процессами, пучением грунта, процессами, проходящими в вечномёрзлых грунтах при их сезонном замерзании и оттаивании, а также сейсмическими воздействиями, приводящими к динамическим перемещениям грунтовых масс.

Из-за влияние температур могут быть вызваны продольные смещение трубы. А второй вариант это смещение масс грунта. Профессор В.А. Флорин впервые предложил модель линейная модель. Также на базе исследований В.А. Флорин считал, что для расчетной модели грунта самая простая считается линейная модель согласно которой сила воздействия грунта на трубопровод прямо пропорциональна продольным перемещениям грунта.[8] Множество различных целей было достигнуто используя именно эту модель, но при более продолжительных опытах и практических применений было установлено, что эта модель более удобна для малоподвижных грунтов т.к. при более интенсивных перемещения грунта модель имеет не линейную форму. Альтернативой в данном случае линейной зависимости может служить жесткопластическая модель грунта, в которой сопротивление грунта является некой константой и величина подвижек не влияет. Визуализация нелинейной зависимости между сопротивлением грунта и вызванной перемещением грунта продольной подвижкой трубопровода можно ознакомиться с покаталями экспериментов, на рисунках 1 и 2 [4]. На этих рисунках по оси ординат отложены усредненные по периметру трубы значения сопротивления грунта продольному сдвиг, а по оси абсцисс – продольные перемещения трубы (недеформируемое тело).

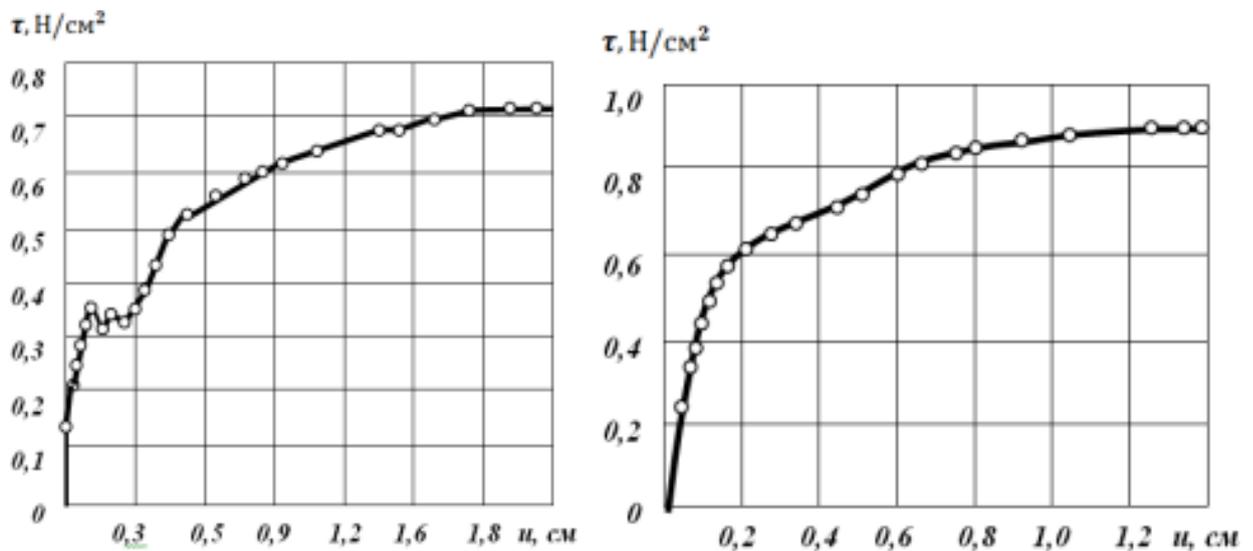


Рисунок 9.1 – Диаграмма зависимости между сопротивлением песчаного грунта и продольным перемещением трубы: а) диаметр 720 мм, высота засыпки 100 см; 1 - $\tau = 1,2u$; 2 - $\tau = 0,59u^{0.27}$; 3 - $T = 0,8\sin u$; б) диаметр 529 мм, высота засыпки 120 см

На первой рисунке это кривые песчаных грунтов их делим на три условных участка. Стоит отметить что на первом этапе преобладает линейная зависимость между сопротивлением грунта сдвигу и продольным перемещением трубы (это первая фаза напряженного состояния грунта, он уплотняется и приобретает свойства упругого тела). На 2 участке уже зависимость переходит от линейного к нелинейному характеру между сопротивлением грунта сдвигу и продольным перемещением участка трубы нелинейного характера. На третьем участке наблюдается равномерное перемещение трубы [3].

На рисунке 9.2. приведены кривые для связного глинистого грунта.

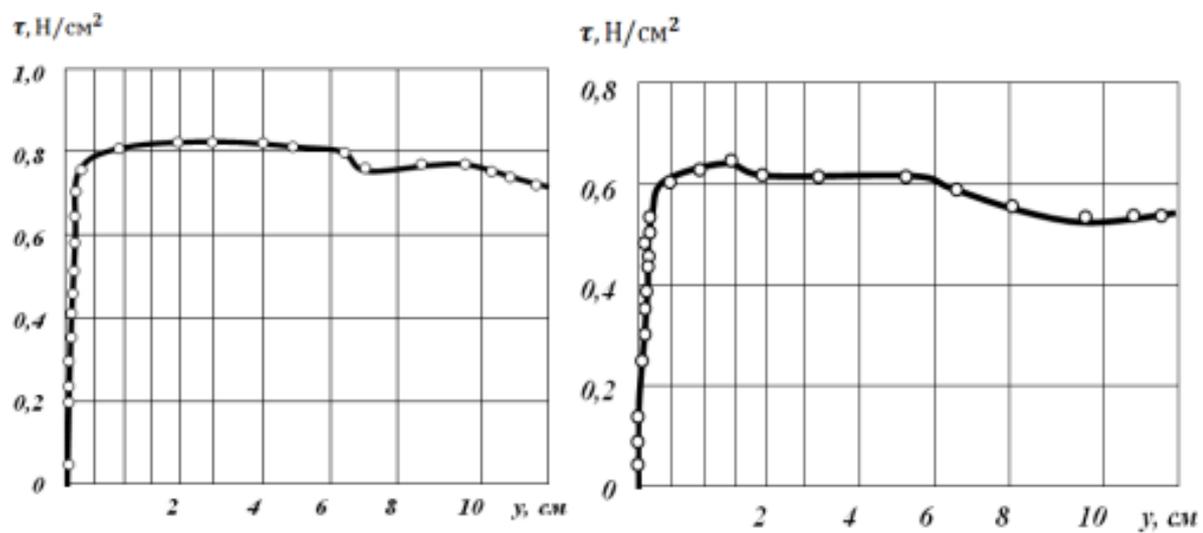


Рисунок 9.2– Кривые связного глинистого грунта

9.2 Сопротивление грунта поперечным перемещениям трубы

Влияние массы грунта на трубопровод, которое сподвигает его поперечное перемещение, находится в зависимости от положения плоскости перемещения. Стоит отметить, что при движении трубопровода по вертикальной плоскости, и если это по направлению засыпки и в сторону основания сопротивление грунта различается из-за различных характеристик грунтов засыпки и основания под трубопроводом. Когда грунт оказывает влияние на строительное сооружение в горизонтальной плоскости способность оказывать противодействие зависит от характеристики грунта, структуры и ширины траншеи. Стоит прийти к выводу что расчетные модели взаимодействия грунта с трубопроводом будут зависеть плоскости в которой наблюдается сдвиг трубопровода.

9.3 Сопротивление грунта поперечным перемещениям трубы вверх

Очень часто проводились эксперименты сопротивления грунта поперечным перемещениям трубы вверх на продольную устойчивость трубопровода. В работах Э.М. Ясина П.П. Бородавкина и др. приведены результаты этих экспериментальных исследований. Так как для расчета Интернет-журнал

«НАУКОВЕДЕНИЕ» трубопроводов использовалась в основном жесткопластическая модель, то определению предельной удерживающей способности грунта уделялось особое внимание. В своей книге А.Б. Айбиндер описывал эксперименты так: труба нагружалась прессовой нагрузкой, не статическим усилием. Исходя из проведенных опытов в качестве материала испытаний использовались отрезки трубы длиной 4 м с различными диаметрами 273, 529 и 720 мм, заглубленные в грунт. В качестве подъемников эксплуатировались лебедки, закрепленные в трубах. Для замера усилий натяжения тросов использовались динамометры, а для измерения перемещений – прогибомеры. Нагрузку давали по этапно, с некоторыми паузами для стабилизации усилий. Высота засыпки варировались от 0 до 1 м, а для засыпки использовались различные виды грунтов. По ходу экспериментов было установлено, что зависимость сопротивления грунта от перемещения трубы примерно одинакова [8]. При не значительных сдвигах у сопротивление грунта q_u можно утверждать зависимость линейно протекает, но увеличивается сдвиг, перемещения линейность нарушается, причем после достижения максимальной величины сопротивление грунта начинает уменьшаться. В случае глинистого грунта максимальному сопротивлению равно большому перемещению, из-за влияния уплотненным грунтом под трубой. Зависимость сопротивления грунта q_u от поперечного перемещения u трубы на прямолинейном участке диаграммы, которое описывает упругую работу грунта, показывают с помощью обобщенного коэффициента нормального

сопротивления грунта:

$$Q_{y0} = c_{y0} D_n, \quad [3]$$

где D_n – наружный диаметр трубы, см.

Обобщенный коэффициент нормального сопротивления грунта c_{y0} (МПа/см) зависит от модуля деформации грунта ненарушенной структуры $E_{гр}$ (МПа), коэффициента Пуассона грунта $\mu_{гр}$, расстояния от оси трубы до верха засыпки h_0 (см), длины метрового участка трубы l_0 в сантиметрах и коэффициента $\eta_{гр}$, учитывающего снижение модуля деформации грунта засыпки по сравнению с модулем деформации $E_{гр}$. С использованием решения задачи о действии штампа на упругое основание была получена зависимость [8].

$$c_{y0} = \frac{0,12 E_{гр} \eta_{гр}}{1 - \mu_{гр}^2 \sqrt{l_0 D_n}} [1 - e^{-2h_0 / D_n}] \quad [4]$$

Величина предельной удерживающей способности грунта зависит от призмы выпора, угол откоса которой определяется углом внутреннего трения грунта. Предельное сопротивление грунта перемещению трубы вверх может быть определено из выражения:

$$q_{нр-р} = \gamma_{гр} D_n (h_0 - 0,39 D_n) + \gamma_{гр} h_0^2 \operatorname{tg} 0,7 \varphi_{гр} + \frac{0,7 c_{гр} h_0}{\cos 0,7 \varphi_{гр}} \quad [5]$$

9.4 Сопротивление грунта поперечным перемещениям трубы вниз

При создании модели, которая дает описание поведения трубопровода, когда упор идет на грунт. Основной доступной и не сложной гипотезой считается гипотеза Винклера, согласно которой сопротивление трубопровода прямо пропорционально осадке [8]. В ходе проведенных опытов было выявлено, что для большего количества грунтов эта гипотеза, справедлива, если сопротивление грунта давлению трубы меньше его несущей способности. Когда достигается сопротивление грунта его предельной несущей способности считается, что перемещение не оказывает воздействия на величину сопротивления грунта. С учетом гипотезы Винклера зависимость сопротивления грунта поперечным перемещениям трубопровода может быть записана в виде:

$$q = \begin{cases} c_{y0} D_n y & \text{при } y \leq R_{гр} / c_{y0} \\ R_{гр} D_n & \text{при } y > R_{гр} / c_{y0} \end{cases} \quad [6]$$

где q – сопротивление грунта, вызванное перемещением трубы вниз;

$R_{гр}$ – несущая способность грунта [8].

9.5 Сопротивление грунта поперечным перемещениям трубы в траншее

Итогом проведения опытов с использованием трубопроводов различного диаметра и при различной ширине траншеи стали, что и в этом случае может использоваться гипотеза Винклера. Этому в качестве подтверждения служат экспериментальные данные, приведенными на (Рисунке 9.3), которые получены для трубопровода диаметром от 219 до 529 мм в траншее с расстоянием между стенками трубы и траншеи. Также на рисунке 9.3 показаны некоторые из полученных экспериментальных кривых, по оси ординат отложено сопротивление грунта q , а по оси абсцисс – перемещение. Расстояние от стенки траншеи до боковой образующей трубы составляет 80 см. Если давать оценку, то в общем характер зависимости сопротивления грунта от перемещения является схожим для всех опытов в диапазоне перемещений от 1 до 6 см (диаметр трубы до 529 мм) что подтверждает линейность зависимости сопротивления грунта от перемещения. Заметно, что при увеличении диаметра трубопровода увеличивается перемещение трубопровода при одной и той же величине сопротивления грунта q (Н/см²).

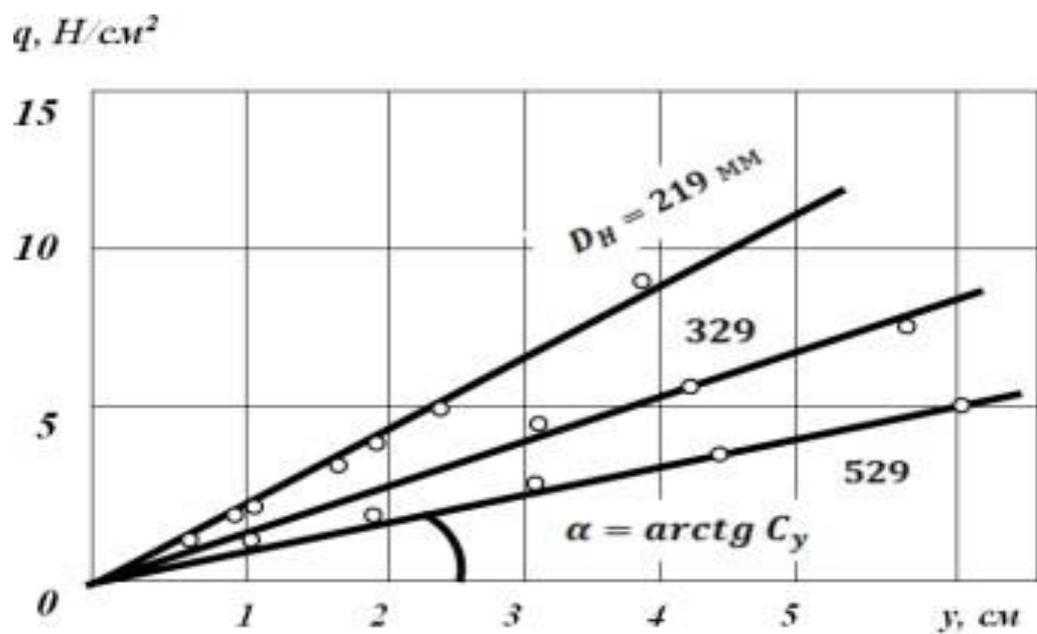


Рисунок 9.3 – Способность сопротивления грунта

9.6 Сопротивление грунта повороту трубы относительно продольной оси

Различные опыты в лабораториях проводились на сопротивления грунтов закручиванию трубопровода проводились многими исследователями. Экспериментальные зависимости угла, закручивания φ от крутящего момента $M_{кр}$ для трубопроводов диаметром 102 мм и 125 мм при различной величине засыпки, полученные в исследованиях В.А. Молодецкого представлены на (Рисунке 9.4.) Можно заметить, имеются два участка на графике зависимостей – наклонный, прямолинейный, где выражена линейная зависимость угла закручивания от крутящего момента, и горизонтальный, на котором величина угла закручивания уже не зависит от приложенного крутящего момента (Рисунке 9.5.).

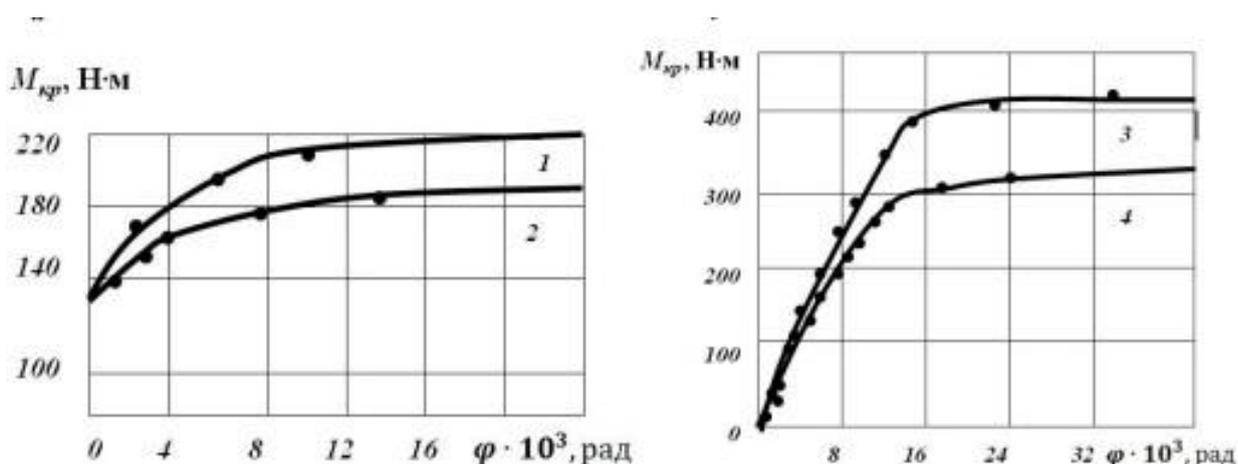


Рисунок 9.4 – Сопротивление грунта повороту трубы относительно продольной оси

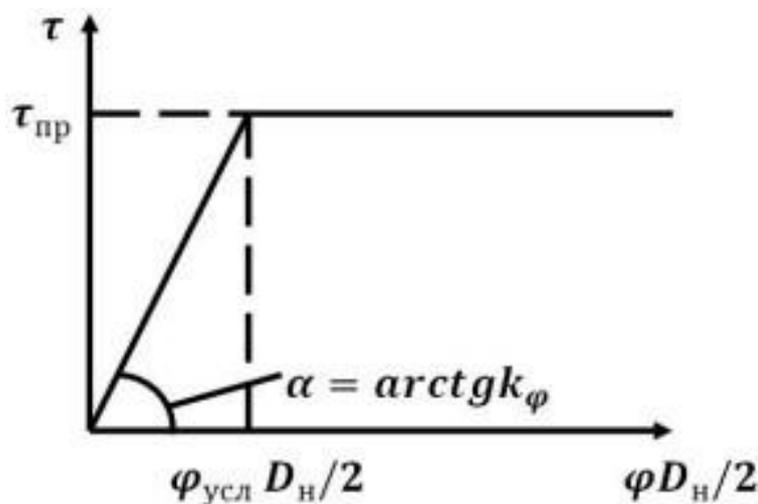


Рисунок 9.5 – Величина угла закручивания от приложенного крутящего момента

Если рассматривать, что касательные напряжения на границе соприкосновения поверхности трубопровода с грунтом являются линейной функцией крутящего момента, для обоих участков можем записать:

$$\tau = \begin{cases} k_{\varphi} \varphi D_n / 2 & \text{при } \varphi \leq 2\tau_{пр} / (k_{\varphi} D_n), \\ \tau = \tau_{пр} & \text{при } \varphi > 2\tau_{пр} / (k_{\varphi} D_n) \end{cases} \quad [7]$$

где k_{φ} – обобщенный коэффициент сопротивления грунта закручиванию, $\tau_{пр}$ – интенсивность предельного сопротивления грунта закручиванию, соответствующая углу закручивания $\varphi_{усл}$. Если брать в рассмотрение, что характер взаимодействия поверхности трубопровода с грунтом и при продольном перемещении и при закручивании практически одинаков, то в качестве интенсивности предельного сопротивления грунта закручиванию $\tau_{пр}$ стоит принять предельное сопротивление грунта продольному перемещению.

10. Методика проведения лабораторных экспериментов с трубой

Основной задачей проведения опыта, показать влияние донных гряд на водозабор.

В ходе подготовки к лабораторному эксперименту были использованы водопропускной лоток, что является моделируемым участком русла р. Унжа. Часть лотка была засыпана песком, который по гранулометрическому составу похож на подстилающую поверхность русла реки Унжа. Толщина слоя составляет 4–5 сантиметров. Сделано это было для того, чтобы можно было иметь условия для формирования донных гряд. Длина с моделированной насыпи составила 1,5 м. В конце песочной подушки был расположен на различных уровнях по отношению к песку (труба). После чего с помощью установки был пущен поток воды.

Следующим этапом это измерение параметров потока и донных гряд. Были измерены скорость потока, расход по водосливу Томсона, ширина и глубина потока скорость перемещения донных гряд.

Таблица 10.1 – Исходные данные

Параметры	Значения
Глубина, Н.	0.07 м
Скорость гряд, $V_{гр}$.	0.03 м/мин
Расход воды, Q.	0.0024 м ³ /с
Ширина, В.	0.65 м
Площадь сечения, ω .	0.05 м
Скорость потока, V.	0.048 м/с

В качестве препятствие использовалась труба расположенная выше уровня донных отложений. Основная задача заключалась в том, чтобы оценить

поведениенаносов при взаимодействии с трубой. (Приложение 4).

В ходе проведения опыта было установлено, что образующиеся гряды транзитом проходят по верхней части объекта в результате чего, могут оказывать негативное влияние для использования трубопровода в качестве водозабора. Также стоит учитывать высоту положения трубопровода относительно отметки дна и уровня поверхности воды в различные сезоны года. Необходимость в этом заключается в возможном механическом воздействии льда на целостность трубопровода в период образование ледостава и вскрытия ледового покрытия.

Заключение

В результате проделанной работы, представлено физико-географическое, климатическое и гидрологическое описание района изысканий и самой р.Унжа, с помощью геодезической съемкой, сбором и анализом материалов , где предполагается постройка водозабора. В лабораторных условиях была создана модель участка реки, смоделированы защитные сооружения для гидротехнических сооружений. Рассчитана и выполнена физическая модель участка р.Унжа. На модели выполнены исследования скоростного поля, дана качественная характеристика условий движения наносов на участке. Оценено влияние ограждающей дамбы оголовка на пропуск донных гряд.

Выполнено исследование особенностей руслового процесса, определены средние характеристики русловых мезоформ. Рассчитаны скорости плановых деформаций русла.

По результатам исследования даны практические рекомендации.

Список используемых источников

1. Барышников Н.Б. Русловые процессы. Учебник. - СПб.: изд. РГГМУ, 2008. - 439 с.
2. Барышников, Н.Б. Динамика русловых потоков и русловые процессы / Н.Б. Барышников, А.Е. Попов. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1988. – 454 с.
3. Журба, М.Г. Водозаборные сооружения и устройства / М.Г. Журба, Ю.И. Вдовин, И.А. Лушкин. – Москва : Астрель, 2003. – 567 с.
4. Кондратьев, Н.Е. Основы гидроморфологической теории руслового процесса / Н.Е. Кондратьев, И.В. Попов, Б.Ф. Сنيщенко. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. – 285 с.
5. Копалиани, З.Д. Ведомственные строительные нормы / З.Д. Копалиани, А.С. Судольский, Б.Ф. Снищенко. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1985. – 102 с.
6. Разуваев, В.Н. Научно-прикладной справочник "Климат России" / В.Н. Разуваев, О.Н. Булыгина, Н.Н. Коршунова. – СПб. : ВНИИГМИ-МЦД, 2020. – 425 с
7. Макаревич, А.А. Речной сток и русловые процессы / А.А. Макаревич, А.Е. Яротов. – Минск: БГУ, 2019. – 115 с.\
8. Баширзаде С.Р., Овчинников И.Г. Прогнозирование поведения трубопроводных конструкций в сложных грунтово-геологических условиях. Часть 2. Модели взаимодействия грунта с трубопроводом // Интернетжурнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №1 (2017).
9. АИС ГМВО [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gmvo.skniivh.ru>. – Дата доступа: 10.03.2022.
10. Большая российская энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bigenc.ru/geography/text/2102871>. – Дата доступа: 03.03.2022.

11. Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vsegei.ru/ru/info/gisatlas/cfo/kostromskaya_obl/. – Дата доступа: 05.03.2022.
12. Почва Костромской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://medgrasses.ru/travy_kostroma/pochvy.html. – Дата доступа: 03.03.2022.
13. Рельеф и климат Костромской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studwood.net/1217978/geografiya/relef_klimat. – Дата доступа: 05.03.2022.
14. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901704792>. – Дата доступа: 12.03.2022.
15. Яндекс Карты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yandex.ru/maps/>. – Дата доступа: 28.02.2022.

Приложения

Приложение 1

Таблица 1.1 – Амплитуды температур

Метеостанция Шарья												
Период												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средняя максимальная температура воздуха, °С												
-8,9	-6,9	-0,3	8,8	16,7	21,9	23,6	21,1	14,2	5,8	-1,9	-7,0	7,3
Абсолютная максимальная температура воздуха, °С												
5,1	5,0	14,1	28,0	30,7	35,2	35,9	34,6	30,4	22,0	13,0	5,0	35,9
Средняя минимальная температура воздуха, °С												
-16,1	-15,1	-9,6	-1,1	4,9	9,8	12,1	9,9	5,3	-0,0	-7,0	-13,2	-1,7
Абсолютная минимальная температура воздуха, °С												
-44,0	-40,9	-34,7	-23,2	-8,0	-3,0	0,0	-4,0	-9,0	-20,0	-35,5	-46,0	-46,0

Таблица 1.2 – Наступление заморозков

Дата заморозка						Продолжительность безморозного периода, дни		
первого			последнего					
средняя	ранняя	поздняя	средняя	ранняя	поздняя	средняя	аименьш ая	наиболь-шая
Метеостанция Шарья								
28/IX	5/IX	25/X	8/V	4/IV	7/VI	143	95	186

Таблица 1.3 – Влажность воздуха

Характеристика	Период												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Метеостанция Шарья													
Относительная влажность воздуха, %	84	81	75	68	63	70	74	78	82	84	87	86	78

Таблица 1.4 – Среднемесячная парциальное давление водяного пара, гПа

Метеостанция	Период												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Чухлома	2,4	2,4	3,4	5,3	8,1	12,0	14,6	13,5	9,8	6,4	4,3	3,0	7,1

Таблица 1.5 – Среднее месячное и годовое парциальное давление водяного пара, гПа

Период												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Метеостанция Шарья												
1,1	0,9	0,8	1,1	1,5	2,3	2,3	2,3	2,1	1,9	1,5	1,2	1,6

Таблица 1.6 – Среднесуточное количество осадков

Период												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Метеостанция Шарья												
25	18	24	30	32	81	55	57	49	39	27	26	81

Таблица 1.7 – Максимальное суточное количество осадков

Метеостанция Шарья						
Период	Обеспеченность, %					
	63	20	10	5	2	1
Год	30	44	55	56	81	81

Таблица 1.8 – Снежный покров

Метеостанция	Дата появления снежного покрова			Дата образования устойчивого оснеженного покрова			Дата разрушения устойчивого снежного покрова			Даты схода снежного покрова			Число дней со снежным покровом
	средняя	ранняя	поздняя	средняя	ранняя	поздняя	средняя	ранняя	поздняя	средняя	ранняя	поздняя	
Шарья	22/X	16/IX	26/XI	16/XI	21/X	26/XII	8/IV	12/III	26/IV	20/IV	29/III	22/V	143

Таблица 1.9 – Средняя декадная высота снежного покрова по постоянной рейке, см

метеостанц	X			XI			XII			I			II			III			IV			V			Наибольшая		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	сред	макс	мин.
Шарья	3	3	3	4	6	9	13	18	22	29	34	38	42	46	48	48	48	41	24	12	32	28	25	-24	52	82	15

Таблица 1.10 – Наибольшая месячная высота снежного покрова по постоянной рейке, см

Станция	Период													Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Шарья	85	96	101	101	6	0	0	0	11	60	31	70	101	

Таблица 1.11 – Средняя месячная и годовая температура поверхности почвы, °С

Станция	Период													Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Шарья	-12,8	-10,8	-5,7	2,8	11,9	19,3	21,6	16,6	9,9	2,9	-5,3	-10,5	3,3	

Таблица 1.12 – Средняя месячная и годовая температура поверхности почвы

Показатель	Период												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Метеостанция Шарья													
Максимум	5,0	4,1	19,1	35,4	48,0	53,5	52,3	50,8	39,4	25,0	11,6	7,6	53,5
Минимум	-43,0	-40,5	-34,0	-19,5	-4,0	-1,6	4,0	1,0	-6,5	-21,0	-33,7	-44,0	-44,0

Таблица 1.13 – Дата первого и последнего заморозков на поверхности почвы и продолжительность безморозного периода

Дата первого заморозка			Дата последнего заморозка			Продолжительность безморозного периода, дни	
Самая ранняя	Самая поздняя	Средняя	Самая ранняя	Самая поздняя	Средняя	Мин.	Макс.
Метеостанция Шарья							
6/IX	23/X	14/V	10/IV	3/VI	137	106	171

Таблица 1.14 – Повторяемость направлений ветра и штилей по метеостанции Шарья, %

Месяц	Направления ветра								Штиль
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
I	13,0	3,0	9,0	14,0	25,0	10,0	15,0	6,0	5,0
II	10,0	3,0	9,0	14,0	27,0	11,0	16,0	6,0	4,0
III	10,0	3,0	8,0	16,0	30,0	10,0	14,0	5,0	4,0
IV	13,0	5,0	12,0	13,0	23,0	11,0	14,0	6,0	4,0
V	20,0	5,0	9,0	8,0	18,0	9,0	17,0	10,0	3,0
VI	22,0	6,0	10,0	8,0	15,0	8,0	16,0	9,0	6,0
VII	22,0	5,0	12,0	10,0	13,0	7,0	15,0	11,0	6,0
VII I	19,0	5,0	12,0	9,0	16,0	8,0	18,0	7,0	6,0

IX	14,0	4,0	9,0	10,0	19,0	9,0	20,0	8,0	5,0
X	12,0	2,0	5,0	9,0	28,0	13,0	20,0	8,0	2,0
XI	10,0	3,0	7,0	11,0	31,0	13,0	17,0	6,0	3,0
XII	10,0	3,0	10,0	10,0	30,0	13,0	16,0	5,0	3,0
Год	15,0	4,0	9,0	11,0	23,0	10,0	16,0	7,0	4,0

Таблица 1.15 – Средняя месячная и годовая скорость ветра, м/с, по данным метеостанции Шарья

Период											
II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Метеостанция Шарья											
3,2	3,2	3,2	3,1	2,7	2,6	2,6	2,8	3,3	3,2	3,3	3,0

Таблица 1.16 – Наибольшее число дней со скоростью ветра, равной или превышающей заданное значение

Метеостанция Шарья													
Скорость ветра, м/с	Период												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Штиль	14	14	12	12	15	20	24	21	21	15	12	13	169
≥ 1 5	3	4	3	5	7	6	3	3	3	3	2	3	20
≥ 2 0	1	0	2	3	1	3	2	1	2	4	2	2	9
≥ 2 5	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	2

Таблица 1.17 – Наибольшие скорости ветра различной вероятности
Скорость ветра

Метеостанция	Скорость ветра							
	Год	2 года	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	25 лет	50 лет
Шарья	16	20	22	24	25	25	26	28

Приложение 2

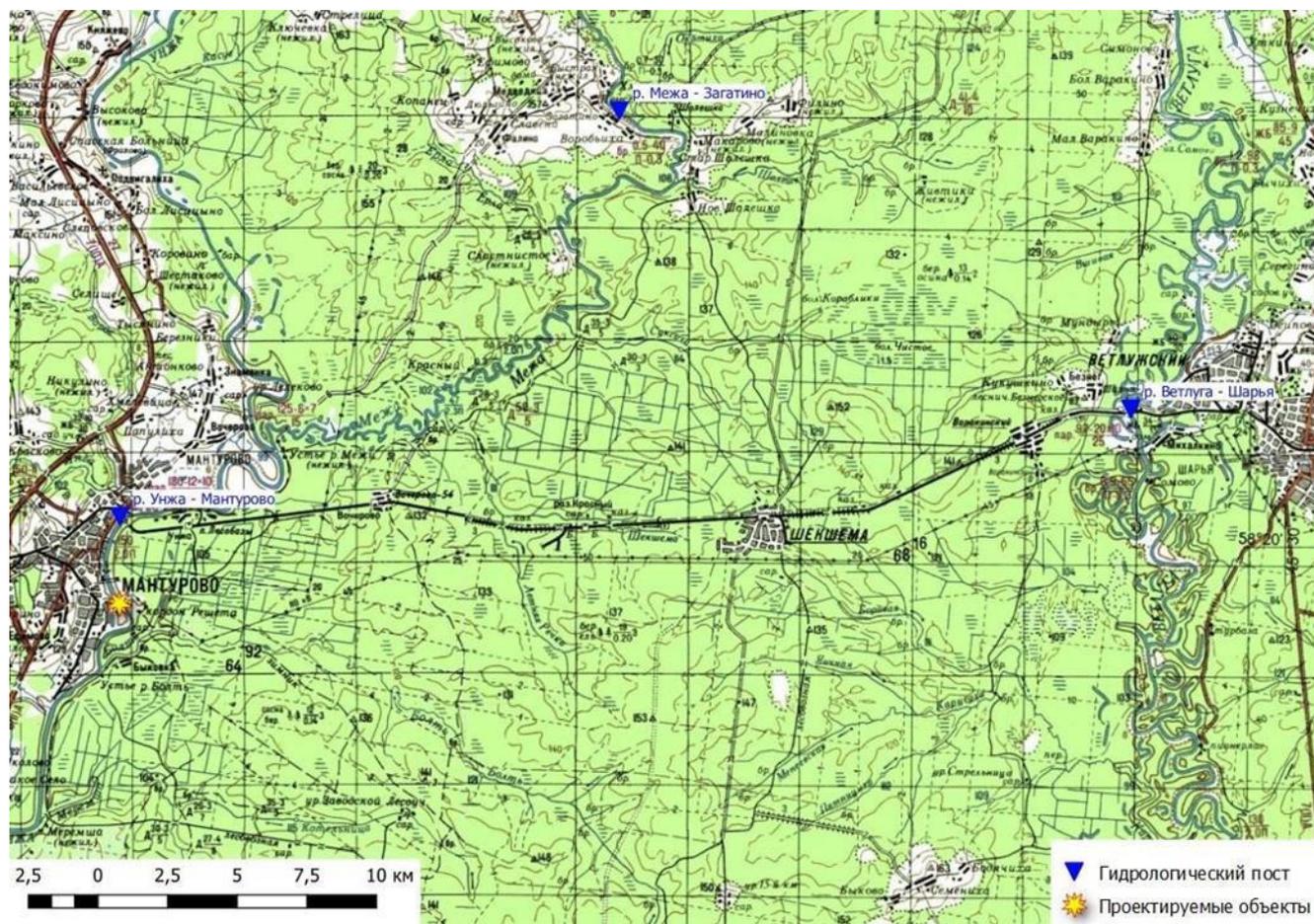


Рисунок 2.1 – Схема гидрологической изученности



Рисунок 2.2 – Схема метеорологической изученности

Приложение 3



Рисунок 3.1 – Цементная модель на песчаной подушке.



Рисунок 3.2—Цементная модель на песчаной подушке

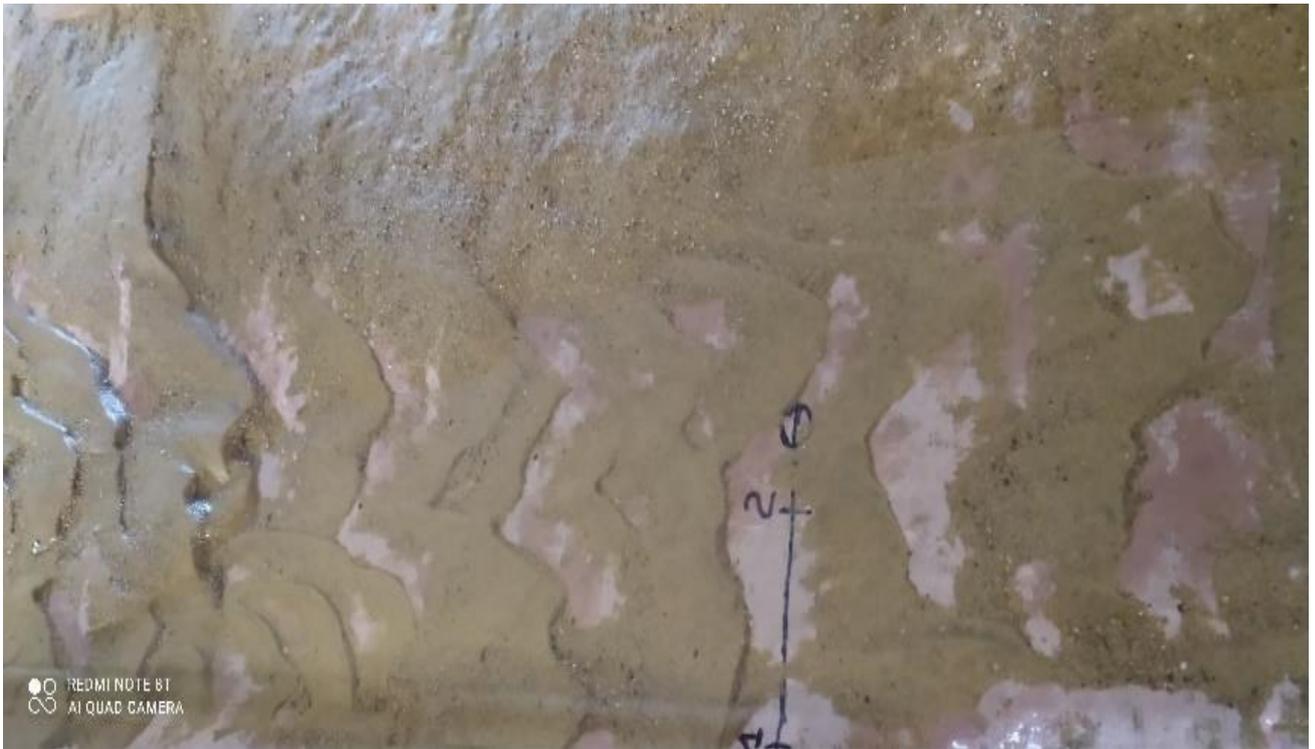


Рисунок 3.3 – Цементная модель на песчаной подушке

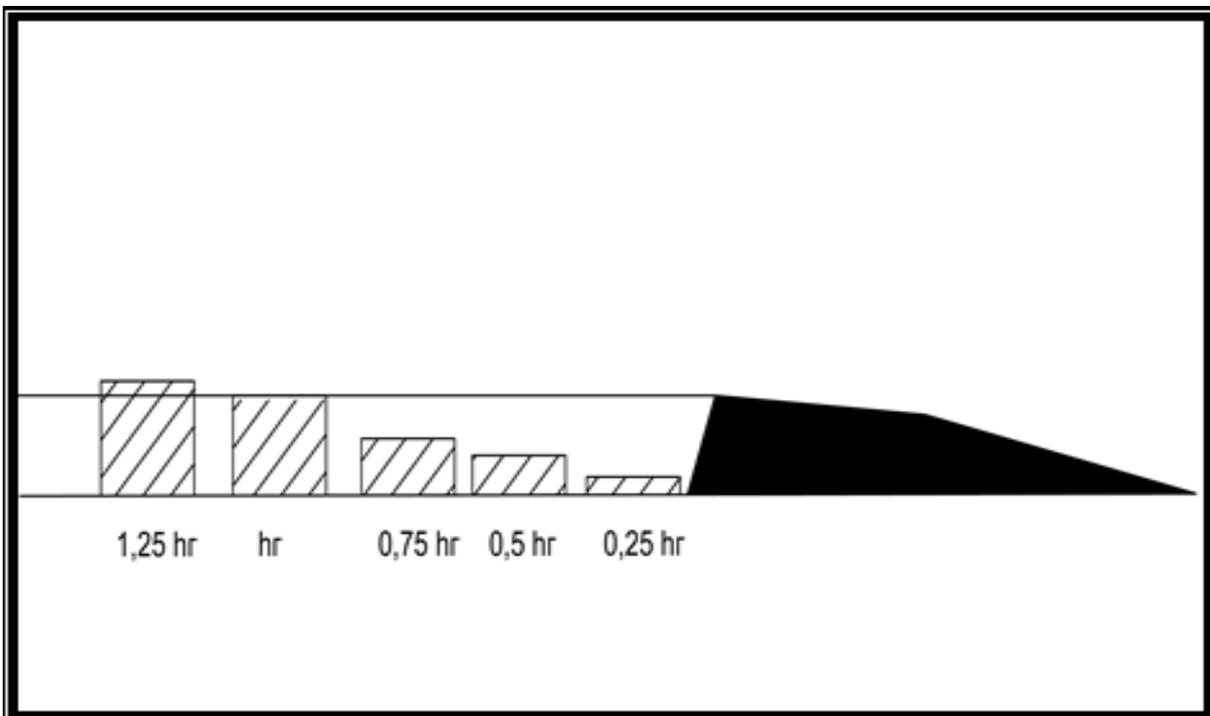


Рисунок 3.4–Отношение высоты гряд к высоте оголовков

Приложение 4



Рисунок 4.1-Влияние трубы на донные гряды