



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)

На тему Проектирование гидроузла на Лиговском канале

Исполнитель Гилев Антон Валерьевич  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель К.Г.Н  
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич  
(фамилия, имя, отчество)

Консультант \_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)

доцент, к.т.н.  
(ученая степень, ученое звание)  
Исаев Дмитрий Игоревич  
(фамилия, имя, отчество)

«5» июня 2023г.

Санкт-Петербург  
2023

ВВЕДЕНИЕ.....	2
Глава 1. Физико – георграфическое описание района .....	3
1.1 Рельеф.....	3
1.2 Геологическое строение .....	4
1.3 Растительность и животный мир.....	4
1.4 Изученность района исследований .....	6
1.5. Географическая характеристика района ГТС .....	6
1.6 Гидрологическая характеристика Лиговского канала .....	8
1.7 Водный режим Лиговского канала.....	9
Глава 2. Климатическая характеристика .....	11
2.1 Общая характеристика климата.....	11
2.2 Температура воздуха .....	13
2.3 Осадки .....	14
2.4 Снежный покров .....	15
Глава 3. Терминология, классификация и общие данные водосливов.....	18
3.1 Свободные водосливы с широким порогом .....	24
3.2. Основная расчетная формула водослива.....	26
Глава 4. Проектирование Лиговского гидроузла.....	28
Глава 4.1. Определение максимального расхода.....	28
Глава 4.2 Определение уровня воды в трубе для достижения заданных расходов .....	30
Глава 4.2 Анализ морфоствора в створе ГТС .....	31
Глава 4.3 Водный режим верхней части Лиговского канала .....	32
Глава 4.4 – Расчет характеристик водослива при заданных расходах и отметках .....	37
Глава 4.5 – Проектирование двухступенчатого водослива .....	40
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	43
Список использованной литературы.....	44

## **ВВЕДЕНИЕ**

Вследствие размывания земляной плотины на Лиговском канале в районе его пересечения с Нагорным каналом и Дудергофским ручьем, переброс воды через трубу, проходящую под взлетно – посадочной полосой аэропорта Пулково, происходит только в период высоких вод, что не позволяет Садовому некоммерческому товариществу (далее СНТ), находящемуся после трубы, получать возможное дополнительное питание водой.

Для решения поставленной проблемы в данной работе будут решаться следующие задачи:

- Физико – географическое исследование района данных водных объектов
- Составление климатической характеристики
- Описание разновидностей водосливов и их возможное использование для решения поставленной проблемы
- Исследование водного режима и морфометрических характеристик прилегающих водотоков
- Проектирование и расчет характеристик возможного водослива

## **Глава 1. Физико – географическое описание района**

### **1.1 Рельеф**

Территория Северо – Запада по характеру рельефа отчетливо разделяется на две части: 1) северо – западную низменность и 2) восточную, юго – восточную и южную – возвышенность. Северо – западная часть расположена в основном в пределах прибалтийской низменности.

Силурийское (Ордовикское) плато простирается в широтном направлении от р. Нарвы на западе до р. Сяси на востоке и представляет собой плоскую возвышенную равнину. Западная часть его, наиболее обширная и приподнятая, носит название Ижорского плато. Здесь в известняках и доломитах ордовика широко развит карст. Вдоль северного края Силурийского плато прослеживается крутой уступ (глинт), отделяющий его от Предглинтовой низменности. В западной части уступ обрывистый, высотой до 30 – 50 м и более, в восточной части он выполаживается и не превышает 15 м.

Возвышенности – Лужская, Судомская и Бежаницкая – это так называемый меридиональный пояс краевых ледниковых образований, соответствующий различным стадиям валдайского оледенения – представляют собой сложное чередование конечноморенных холмов, гряд и камовых холмов с относительными высотами до 100 – 125 м.

Понижения рельефа в виде обширных низменностей с абсолютными отметками от 0 до 50 м, редко более, расположены в северной, центральной и западной частях территории.

Прибалтийская низменность пересечена густой сетью рек, расходящейся в различных направлениях. Долины рек, как правило, врезаны неглубоко и лишь при пересечении склонов водораздельных возвышенностей они врезаются на глубину от 20 до 40 м и иногда до 50 м. [3]

## **1.2 Геологическое строение**

Территория Северо – запада расположены почти целиком в пределах Русской платформы и сложена комплексом осадочных дочетвертичных отложений, залегающих под четвертичными на архейском или протерозойском кристаллическом основании.

Осадочные коренные образования представлены преимущественно отложениями палеозоя: толщами нижнего кембрия, нижнего, среднего и верхнего ордовика, среднего и верхнего девона, нижнего и среднего карбона.

Древние стратиграфические горизонты палеозойской группы осадков полого под углом 10 -15 градусов погружаются под более молодые в направлении с северо – запада на юго – восток. На крайнем северо – западе области, на склоне Балтийского щита, под четвертичными отложениями залегают рыхлые песчано – глинистые породы нижнего кембрия общей мощностью 200 – 500 м.

В границах описываемой территории карстовыми процессами затронуты растворимые отложения от нижнего ордовика до среднего карбона. Эти процессы локализуются в двух основных карстовых районах: на Силурийском (Ордовикском) и Карбоновом плато. В состав закарстованных пород входят доломиты, известняки, соленосно – карбонатные породы.

Наиболее сильно современный карст развит на Ижорском плато, которое покрыто маломощным пластом морены (1 – 2 м). [3]

## **1.3 Растительность и животный мир**

Леса Ленинградской области превосходя по площади лесные массивы нескольких северо-европейских государств, еще способны поразить современного человека мощностью и красотой первозданной природы. Здесь сохранились редкие уголки земли, куда по-настоящему не ступала нога человека, не проникла цивилизация. Растительный мир области отличается разнообразием. Только лекарственных растений здесь насчитывается 33 вида. В изобилии и практически на любой вкус – грибы и ягоды.

Географически территория Ленинградской области лежит в полосе южной тайги – тех необозримых хвойных лесов, которые покрывают север России. Изначально здесь преобладал типично таежный пейзаж – глухие таежные леса, перемежаемые время от времени топкими болотами. Даже в наши дни, после многих веков хозяйственного освоения этих земель, леса занимают около половины их территории, а болота – примерно 12%. Особенно крупные лесные массивы сохранились на востоке области – по берегам Свири, Паши, Ояти. В большинстве мест распространены еловые леса, а на песчаных почвах Карельского перешейка – сосновые. Там же располагается уникальный заповедник – Линтуловская лиственничная роща, заложенная в 1738 г. для выращивания корабельного леса. С течением времени тип растительности края несколько изменился – хвойные деревья потеснены лиственными, и на месте вырубленных или уничтоженных пожаром ельников появляются березовые и осиновые леса, заросли ольхи. По побережью Финского залива, река Волхову и Луге встречаются небольшие дубравы.

Поскольку для Ленинградской области в целом характерен тип северных лесов, то и встречаются здесь, главным образом, животные тайги – заяц, белка, куница, лисица, хорь, крот, из крупных – лось. Некогда многочисленные таежные хищники – волк и медведь, рысь – в наши дни довольно редки из-за сильного истребления человеком. Для обогащения фауны области сюда в свое время были завезены и успешно акклиматизированы ондатра, бобр и американская норка. В настоящее время в лесах области насчитывается около 50 видов животных. Из 250 видов птиц наиболее распространены рябчик, тетерев, серая куропатка, несколько видов уток и куликов. Встречаются и редкие, например, серый журавль. [2]

#### 1.4 Изученность района исследований

Согласно СП 47.13330.2016 территория, примыкающая к району изысканий, достаточно изучена в гидрологическом отношении (рисунок 1.7), однако непосредственно на Лиговском канале наблюдения не проводятся – водоток не изучен. [1]

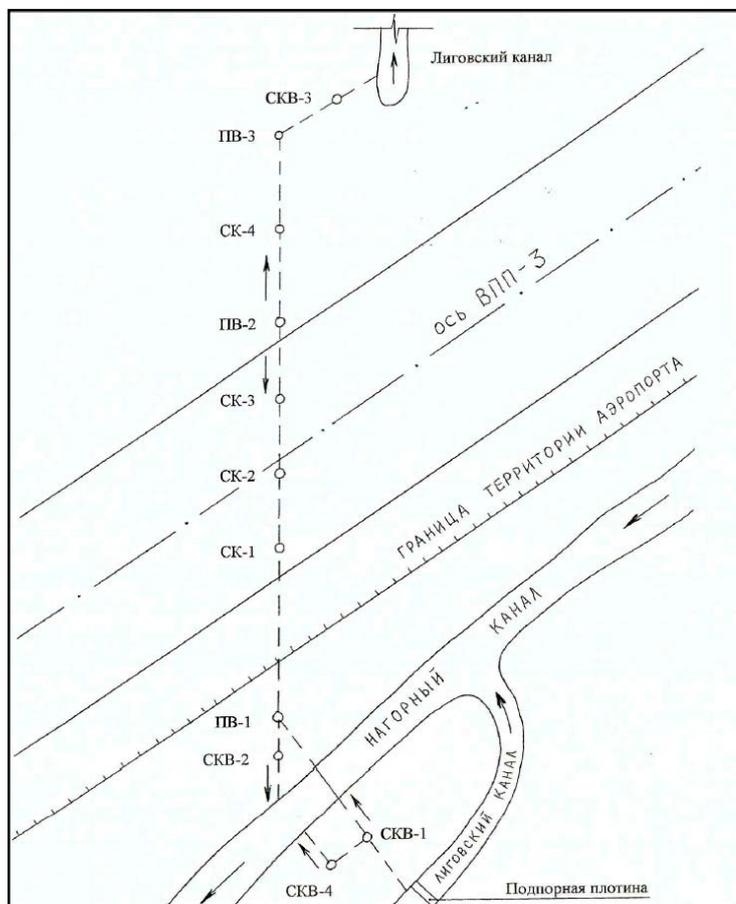


Рисунок 1.1 – Схема расположения гидрологических постов и района изысканий

#### 1.5. Географическая характеристика района ГТС

Через 2,9 км после слияния с Черной речкой Лиговский канал впадает в Нагорный канал (точка №3 на рис. 1.2). В этом месте имеется труба, пересекающая Нагорный канал. Вход в трубу открыт, но расположен достаточно высоко (отметка основания трубы 17,58 м БС). Вода в трубу попадает только в период высокой воды. Труба представляет собой остатки системы ГТС, которая обеспечивала подачу воды в ниже расположенное русло

Лиговского канала. Система ГТС включала подпорную плотину (полностью разрушена) и подземный коллектор по которому вода пересекала территорию аэропорта (коллектор тоже не действует) (рис. 1.3). [1]



*В настоящее время подпорная плотина разрушена система ГТС не действует*

Рисунок 1.2 – План ГТС в районе пересечения Лиговского и Нагорного каналов

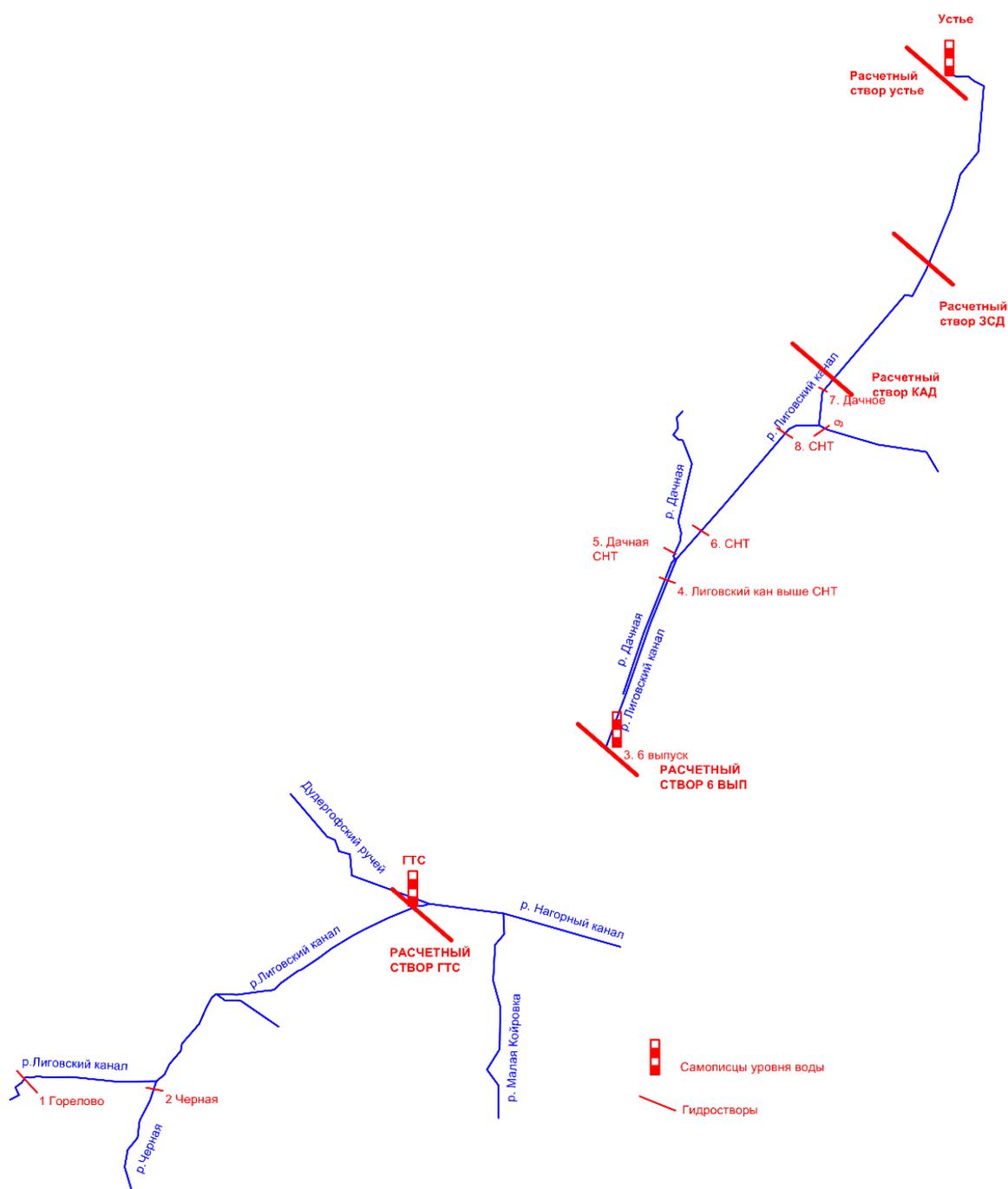


Рисунок 1.3 – Схема расположения гидрологических створов

### 1.6 Гидрологическая характеристика Лиговского канала

Водотоки рассматриваемой территории принадлежат к типу равнинных рек, для которых характерно смешанное питание.

Весеннее половодье начинается в конце марта – начале апреля. Пик половодья обычно проходит в первой половине апреля. Продолжительность половодья 40-60 дней. В естественных условиях весеннее половодье, в

основном, имеет один пик, исключением являются годы, когда наблюдается значительный возврат холода, приводящий к временному снижению интенсивности снеготаяния и спаду уровней с последующим повышением при потеплении. Многомодальность гидрографа может также формироваться под воздействием антропогенной деятельности (водозаборы, водосбросы, неравномерность таяния снега и пр.).

Летняя межень обычно наступает в начале – середине июля и заканчивается в октябре. Летне-осенняя межень характеризуется незначительными колебаниями уровней. Наименьшие уровни отмечаются в июле – августе, реже в сентябре; средняя продолжительность их стояния 15-20 дней, наибольшая – до 70 дней.

Ежегодно 2-3 раза межень нарушается дождевыми паводками. Наиболее часто паводки наблюдаются в период с августа по октябрь. В наиболее дождливые годы на реках проходит 4-5 паводков. По высоте подъема уровня эти паводки, как правило, ниже снеговых, а по объему составляют 0,4-0,5 величины весеннего половодья.

Зимняя межень устанавливается в конце ноября – середине декабря; наиболее ранние даты приходятся на конец октября – начало ноября, наиболее поздние – на январь. Заканчивается зимняя межень с началом подъема весеннего половодья в среднем в конце марта – первой декаде апреля. Продолжительность межени изменяется от 80 до 115 дней. Наиболее маловодный период в феврале – марте; средняя продолжительность его 15 – 20 дней. [1]

### **1.7 Водный режим Лиговского канала**

В результате урбанизации и других антропогенных факторов гидрографическая сеть в районе изысканий существенно изменилась. В настоящее время гидрографическая сеть разделена на две части. Водораздел проходит по правому берегу Нагорного канала и Дудергофского ручья.

Первая (юго-западная) часть речной системы разгружается в реку Дудергофку, которая впадает в Дудергофский канал в районе Петергофского

шоссе. Основной приток в эту систему обеспечивают реки Дудергофка, Черная, Большая Койровка и Малая Койровка.

Вторая часть речной системы (северо-восточная) в верхнем течении представлена канализированными руслами Лиговского канала и реки Дачная, притоков не имеет. В настоящее время большую часть года получает питание только за счет склонового и грунтового стока с территории своего водосбора (рис. 3.1) и дренажных вод с территории аэропорта. [1]



Рисунок 3.1 – Частный водосбор Лиговского канала в створе отделения реки Дачная

## **Глава 2. Климатическая характеристика**

### **2.1 Общая характеристика климата**

Лиговский канал протекает по территории Санкт-Петербурга и Ломоносовского района Ленинградской области Строительно-климатический подрайон по СП 131.13330.2018– II В.

Для района изысканий характерна большая повторяемость воздушных масс атлантического происхождения, что определяет морские черты климата исследуемой территории.

Вхождения атлантических воздушных масс чаще всего связаны с циклонической деятельностью и обуславливают относительно теплую продолжительную зиму и сравнительно прохладное короткое лето.

Влияние Атлантики проявляется также в увеличении влажности воздуха, что обеспечивает значительную облачность и большое количество осадков в течение всего года. В холодный период года наличие плотного слоя облачности приводит к почти полному отсутствию суточного хода температуры. Зимой вхождения воздушных масс с Атлантики приводят к значительным потеплениям, доходящим до оттепелей. Интенсивные оттепели зачастую сопровождаются выпадением дождя и частичным или полным сходом снежного покрова.

Весной в связи с ослаблением циклонической деятельности уменьшается облачность, реже выпадают осадки. В это время отчетливо выражен суточный ход температуры, поэтому велика опасность заморозков, которые нередко возникают в ясные тихие ночи при довольно высоком уровне дневных температур. В начале лета снова усиливается циклоническая деятельность, направление ветров приобретает западную слагающую, облачность увеличивается. До начала июня могут наблюдаться заморозки. Период со среднесуточными температурами выше 15° наступает обычно в конце июня.

Осень на рассматриваемой территории имеет затяжной характер, что обусловлено преобладанием в этот период года теплых масс воздуха с Атлантического океана.

В качестве опорной метеостанции (МС) использовалась метеорологическая станция: ИЦП – Санкт-Петербург, по которой имеется наиболее полный объем информации, и которая входит в СП «Строительная климатология». Схема расположения метеостанции приведена на рисунке 2.1.[1]

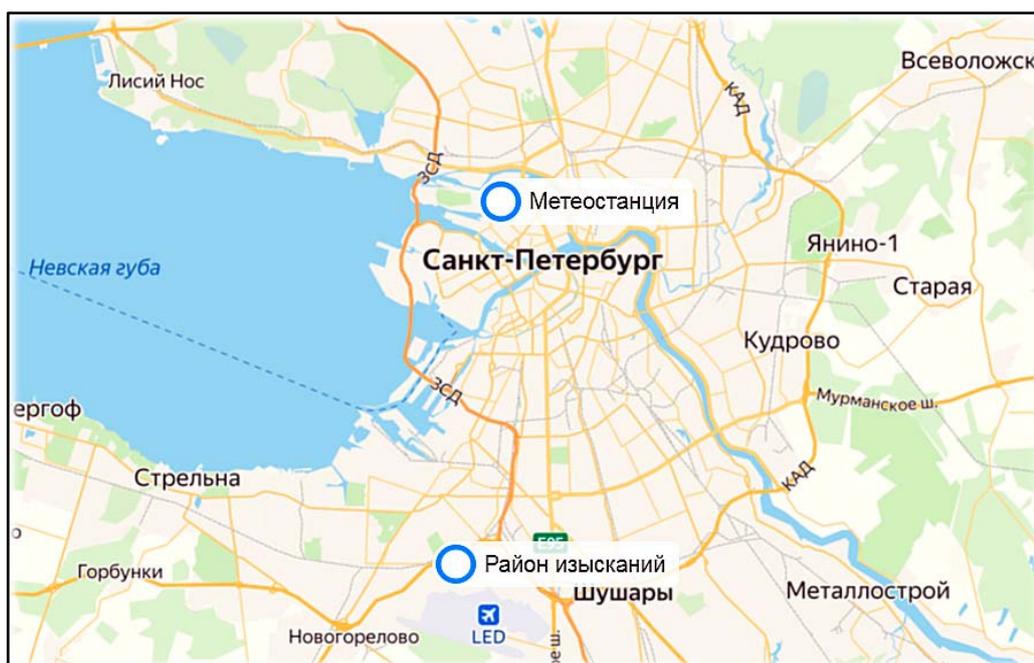


Рисунок 2.1 – Схема расположения метеорологической станции ИЦП, Санкт-Петербург

## 2.2 Температура воздуха

В таблицах 2.1 – 2.8 представлены данные по температуре воздуха за период многолетних наблюдений.[1]

Таблица 2.1 – Средняя месячная и годовая температура воздуха, °С

Метеостанция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
ИЦП, Санкт-Петербург	-7,8	-7,8	-3,9	3,1	9,8	15,0	17,8	16,0	10,9	4,9	-0,3	-5,0	4,4

Таблица 2.2 – Средняя минимальная температура воздуха, °С

Метеостанция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
ИЦП, Санкт-Петербург	-10,7	-11,0	-7,2	-0,3	5,35	10,8	13,8	12,5	7,8	2,7	-2,3	-7,3	1,2

Таблица 2.3 – Абсолютный минимум температуры воздуха, °С

Метеостанция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
ИЦП, Санкт-Петербург	-36	-35	-29	-18	-6	0	5	1	-3	-13	-22	-34	-36

Таблица 2.4 – Средняя максимальная температура воздуха, °С

Метеостанция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
ИЦП, Санкт-Петербург	-5,1	-4,8	-0,3	7,2	14,5	19,4	22,0	20,1	14,5	7,5	1,6	-2,6	7,8

Таблица 2.5 – Абсолютный максимум температуры воздуха, °С

Метеостанция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
ИЦП, Санкт-Петербург	6	6	13	25	31	32	34	34	29	21	12	9	34

Таблица 2.6 – Повторяемость (%) периодов с оттепелью различной непрерывной продолжительности и их средняя непрерывная продолжительность (дни)

Метеостанция	Продолжительность, дни							
	1-2	3-5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-50	Средняя
ИЦП, Санкт-Петербург	45,8	29,8	13,8	9,3	0,9	0,4	-	4

Таблица 2.7 – Даты наступления средних суточных температур выше и ниже 0 °С и число дней с температурой, превышающей этот предел

Станция	Дата наступления средних суточных температур выше 0 °С	Дата наступления средних суточных температур ниже 0 °С	Число дней с температурой выше 0 °С
Санкт-Петербург, ИЦП	02.04	13.11	226

Таблица 2.8 – Дата первого и последнего заморозка и продолжительность безморозного периода

Метеостанция	Дата заморозка						Продолжительность безморозного периода, дни		
	последнего			первого			средняя	наименьшая	наибольшая
	Средняя	самая ранняя	самая поздняя	средняя	самая ранняя	самая поздняя			
СПб – ИЦП	05.05	09.04	28.05	10.10	15.09	17.11	157	113	191

### 2.3 Осадки

В таблицах 2.9 – 2.15 представлены данные по осадкам за период многолетних наблюдений.[1]

Таблица 2.9 – Среднее количество осадков, мм

Метеостанция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XI–III	IV–X	Год
Санкт-Петербург, ИЦП	38	35	32	38	46	62	68	82	66	58	51	44	200	420	620

Таблица 2.10 – Среднее максимальное суточное количество осадков (мм)

Метеостанция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Санкт-Петербург, ИЦП	7	7	7	10	13	17	20	22	15	13	10	8	30

Таблица 2.11 – Суточный максимум осадков, мм

Метеостанция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Санкт-Петербург, ИЦП	23	13	19	24	56	42	56	76	34	28	28	17	76

Таблица 2.12 – Суточный максимум осадков различной обеспеченности, мм

Метеостанция	Средний максимум	Обеспеченность, %						Наблюденный максимум	
		63	20	10	5	2	1	мм	дата
Санкт-Петербург, ИЦП	31	25	38	47	57	71	80	76	8 VIII 1947

Таблица 2.13 – Число дней с твердыми (т), жидкими (ж) и смешанными (с) осадками

Метеостанция	Вид	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Санкт-Петербург, ИЦП	Т	15,7	14,2	8,7	3,4	•				•	1,7	6,6	10,7	62
	Ж	0,9	0,6	0,8	6,4	10,1	13,0	13,9	13,9	15,7	11,6	6,0	2,4	96
	С	4,0	3,8	3,1	3,4	1,0	•			•	2,8	5,8	6,1	30
Примечание – Точка (•) означает, что число дней 0,5 и менее														

Таблица 2.14 – Средняя и максимальная продолжительность осадков, часы

Метеостанция		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Санкт-Петербург, ИЦП	средняя	241	216	132	95	66	60	52	64	79	120	179	227	1531
	максим.	352	396	239	187	140	172	98	107	217	224	389	370	2891

Таблица 2.15 – Максимальная интенсивность осадков (мм/мин) для различных интервалов времени

Метеостанция	Продолжительность дождя							
	минуты				часы			
	5	10	20	30	1	12	24	
Санкт-Петербург, ИЦП	2,1	1,9	1,2	1,2	0,7	0,1	0,05	

## 2.4 Снежный покров

В таблицах 2.16 – 2.18 представлены данные по снежному покрову за период многолетних наблюдений. [1]

Таблица 2.16а – Высота снежного покрова по снегосъемкам на последний день декады в октябре-декабре, см

Метеостанция	Мест-ность	X			XI			XII		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Санкт-Петербург, ИЦП	поле	•	•	•	2	2	5	7	9	11

Таблица 2.166 – Высота снежного покрова по снегосъемкам на последний день декады в январе-мае, см

Метеостанция	Местность	I			II			III			IV			V			Наибольшая			
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	ср.	мак	мин	
Санкт-Петербург, ИЦП	Поле	14	17	19	23	26	28	27	24	16	6	•	•	•				33	61	8
Примечание – Точка (•) обозначает, что снежный покров наблюдался менее чем в 50% зим																				

Таблица 2.17 – Число дней со снежным покровом, даты появления и схода снежного покрова, образования и разрушения устойчивого снежного покрова

Станция	Число дней со снежным покровом	Дата появления снежного покрова			Дата образования устойчивого снежного покрова			Дата разрушения устойчивого снежного покрова			Дата схода снежного покрова		
		Средняя	самая ранняя	самая поздняя	средняя	самая ранняя	самая поздняя	средняя	самая ранняя	самая поздняя	средняя	самая ранняя	самая поздняя
Санкт-Петербург, ИЦП	132	31.10	3.10	27.11	7.12	27.10	-	30.03	-	22.04	16.04	25.03	9.05

Таблица 2.18 – Средняя декадная высота (см) снежного покрова по постоянной рейке

Станция	X			XI			XII			I			II		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Санкт-Петербург, ИЦП	•	•	•	2	2	5	7	9	11	14	17	19	23	26	28

Станция	III			IV			V	Наибольшая за зиму		
	1	2	3	1	2	3	1	Ср.	max	min
Санкт-Петербург, ИЦП	27	24	16	6	•	•	•	33	61	8
Примечание: • - снежный покров наблюдался менее, чем в 50 % лет.										

В арктическом поясе господствует арктический климат. Большую часть года преобладают низкие температуры, это обусловлено значительными расходами тепла на таяние льда и снега и интенсивным выхолаживанием

зимой. Из-за длительности полярного дня и ночи солнечная радиация поступает крайне неравномерно. Радиационный баланс на юге Арктики положительный (420–630 МДж/м<sup>2</sup> в год, или 10–15 ккал/см<sup>2</sup> в год), но в 2–3 раза меньше, чем в умеренных широтах; в Арктическом бассейне отрицательный (потеря тепла 85–125 МДж/м<sup>2</sup> в год, или 2–3 ккал/см<sup>2</sup> в год), что компенсируется притоком тёплых воздушных и водных масс. Зимой интенсивна циклоническая деятельность. Наиболее высокие температуры воздуха, связаны с деятельностью северных циклонов и переносом влаги и тепла с Атлантического и реже с Тихого океанов. С этим же связана облачность и большое количество осадков, резкие смены погоды и частые сильные (ураганные) ветры. Антициклоническая циркуляция развивается зимой главным образом над Сибирским, Канадским и Гренландским районами Арктики, где преобладают действия Арктического антициклона, приносящего наиболее низкие температуры воздуха, небольшую облачность, незначительное количество осадков и слабые или умеренные ветры. Летом характер атмосферной циркуляции противоположен зимнему, однако такое воздействие невелико (по сравнению с зимой). Климат Арктики тесно связан с влиянием тёплого Северо-Атлантического течения и влиянием воздушных масс, идущих с Атлантики. Влияние Тихого океана не столько велико, так как этому препятствует не широкий и не глубокий Берингов пролив. [1]

### Глава 3. Терминология, классификация и общие данные водосливов

Если водный поток со свободной поверхностью перегородить стенкой, то уровень воды перед ней повысится, а затем вода начнет переливаться через ее верхнее ребро или, как его называют, порог сооружения. В этом случае говорят, что вода протекает через водослив или происходит истечение воды через водослив; сама же стенка носит наименование водослива. Протекание воды через водослив можно отождествлять с протеканием жидкости через отверстие при отсутствии в нем верхней кромки, т. е. при наличии свободной поверхности. Часть водного потока перед сооружением, или в данном случае перед водосливом, называется верхним бьефом, за сооружением - нижним бьефом. [5]

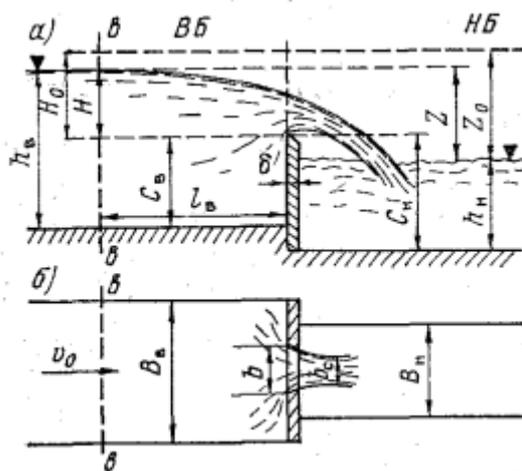


Рисунок 3.1 – Истечение через водослив с тонкой стенкой. (а – в продольном разрезе; б – в плане)

Водосливы классифицируются по разным признакам: по толщине водосливной стенки (или порога) и по очертанию самого порога, по расположению и форме стенки в плане, по форме выреза, по условиям работы (сжатие потока), по типу струй, по характеру сопряжения уровней бьефов.

По толщине стенки водосливы разделяются на три основных типа: водосливы с острой стенкой или кромкой (рис. 3.2), водосливы с широким порогом (рис 3.3) и водосливы практического профиля (рис 3.4). [4]

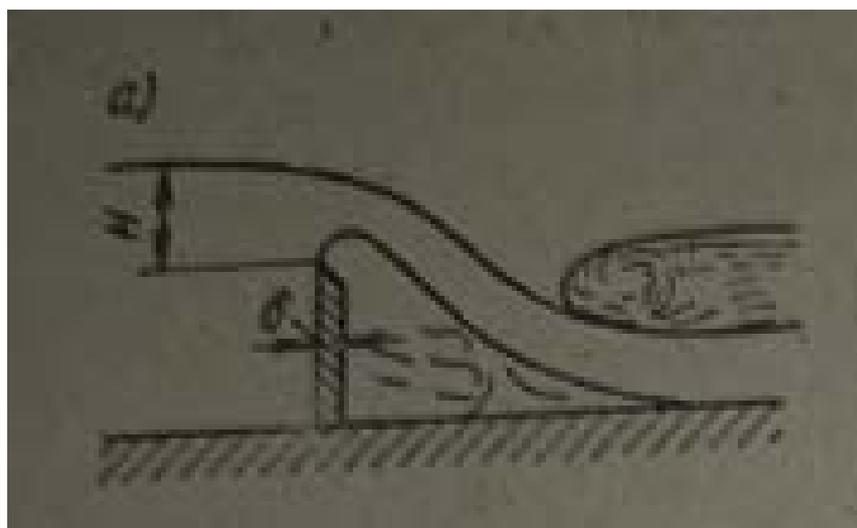


Рисунок 3.2 – Водослив с острой стенкой или кромкой

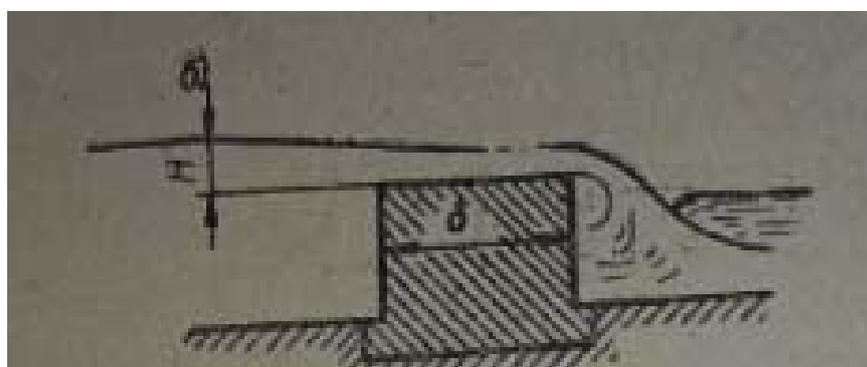


Рисунок 3.3 - Водослив с широким порогом

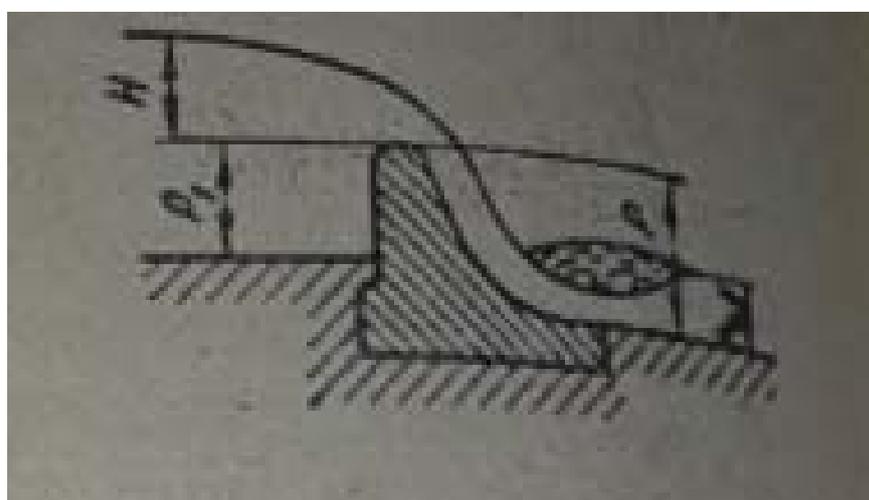


Рисунок 3.4 - Водослив практического профиля

По расположению в плане различают водосливы прямолинейные и криволинейные (рис 3.5). Как правило, устраивают водосливы прямолинейного очертания. Водосливы криволинейного очертания применяют лишь при устройстве арочных и криволинейных. Прямолинейные водосливы делятся на

нормальные, расположенные перпендикулярно направлению потока (рис.3.6), косые, расположенные под некоторым углом к направлению потока (рис. 3.7), и боковые, расположенные параллельно направлению потока (рис. 3.8). [4]

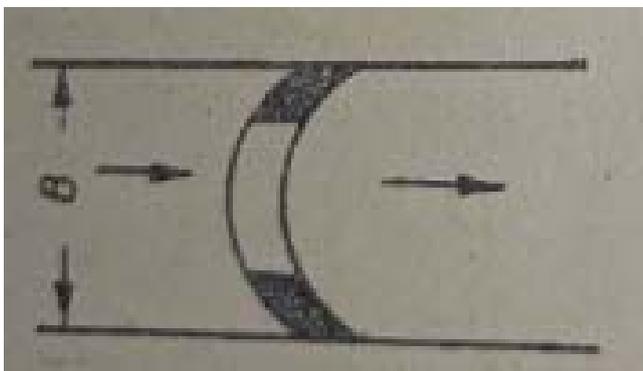


Рисунок 3.5 – Криволинейные водослив

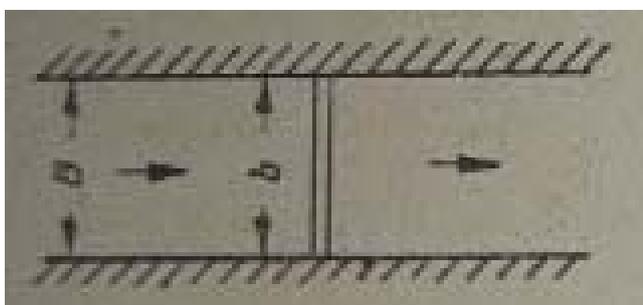


Рисунок 3.6 – Нормальный прямолинейный водосливы

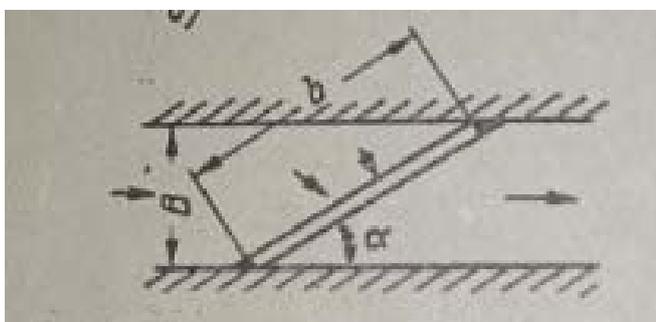


Рисунок 3.7 – Косой прямолинейный водослив

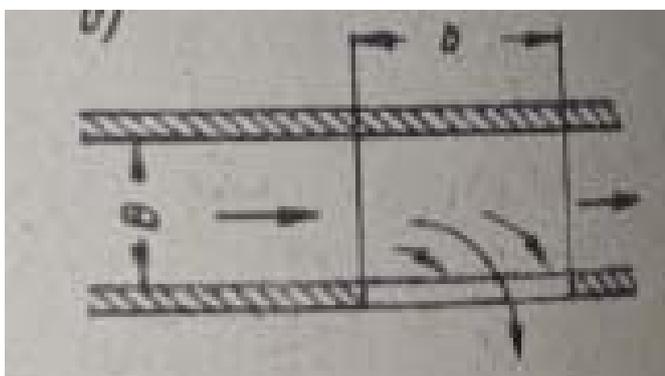


Рисунок 3.8 – Боковой прямолинейный водослив

По форме поперечного сечения потока, переливающегося через стенку, т. е. по форме выреза в стенке, водосливы делятся на прямоугольные (рис.3.9), треугольные (рис.3.10), трапециевидальные (рис. 3.11), криволинейные (рис. 3.12).

В гидротехнической практике в основном применяют водосливы прямоугольного и трапециевидального очертаний. [4]

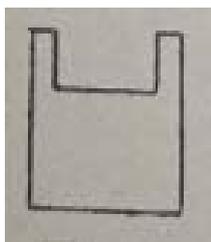


Рисунок 3.9 – Прямоугольная форма выреза

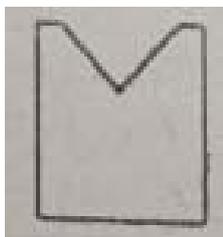


Рисунок 3.10 – Треугольная форма выреза

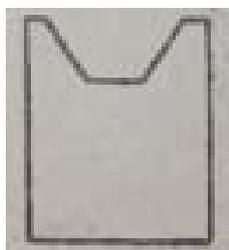


Рисунок 3.11 – Трапециевидальная форма выреза

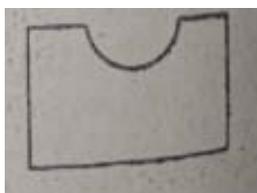


Рисунок 3.12 – Криволинейная форма выреза

По условиям работы водосливы делятся на два основных типа: плоские, т.е. не имеющие никакого бокового сжатия (рис 3.6), и пространственные, в которых учитывается боковое сжатие потока устоями, быками, стойками и другими конструкциями (рис. 3.13) [4]

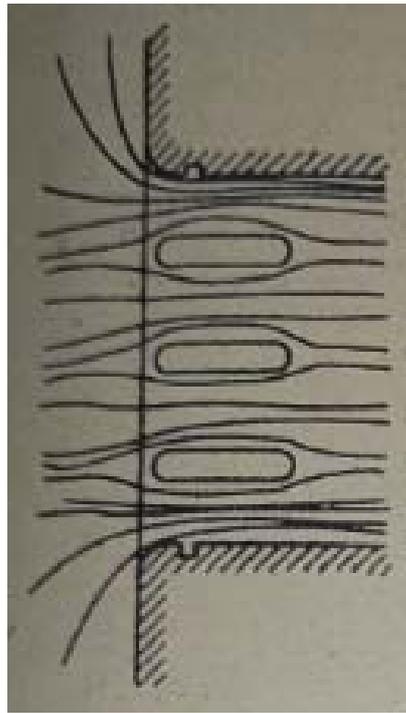


Рисунок 3.13 - Водослив, оснащенные быками.

В зависимости от характера протекания жидкости через водослив различают четыре основных вида или типа струи: свободная (рис. 3.14), отжатая (рис. 3.15), подтопленная снизу (рис. 3.16) и прилипшая (рис. 3.17). [4]

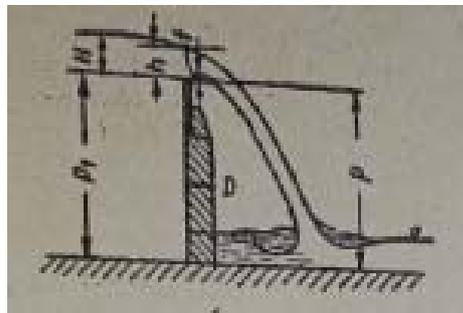


Рисунок 3.14 – Свободная струя

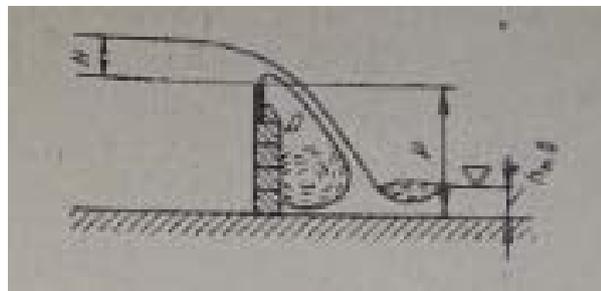


Рисунок 3.15 – Отжатая струя

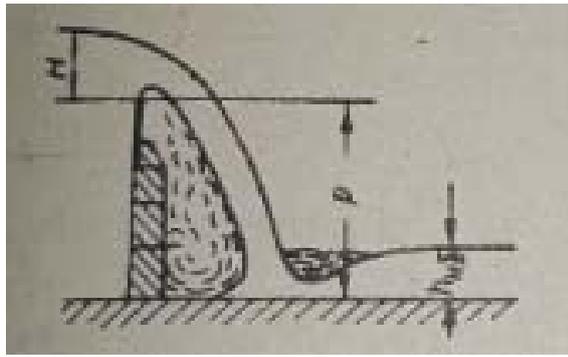


Рисунок 3.16 – Подтопленная снизу струя

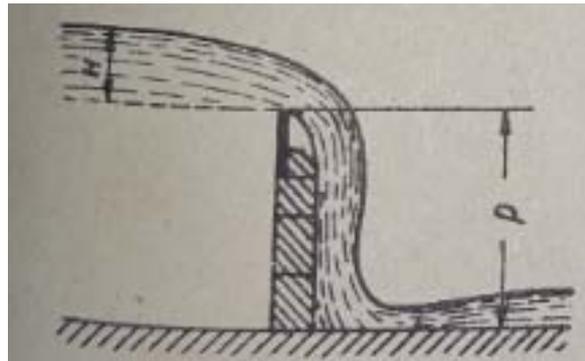


Рисунок 3.17 – Прилипающая струя

По характеру сопряжения уровней верхнего и нижнего бьефов водосливов делятся на две группы: свободные (рис 3.18) и подтопленные (рис. 3.19) [4]

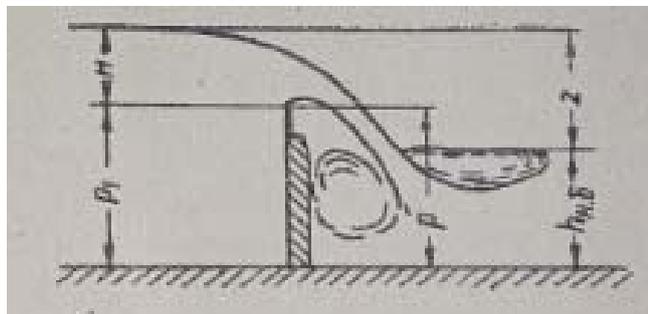


Рисунок 3.18 – Свободное сопряжение уровней верхнего и нижнего бьефа

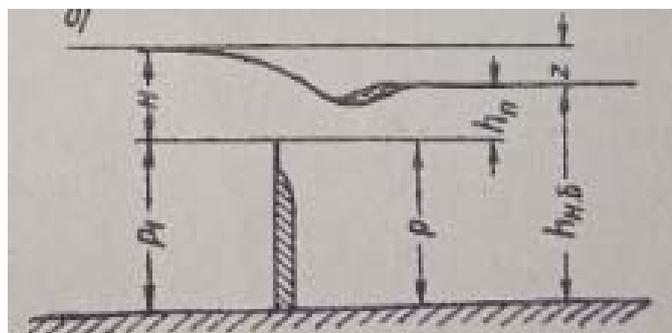


Рисунок 3.19 – Подтопленный водослив

### 3.1 Свободные водосливы с широким порогом

Так как в данной работе основной тип водослива, для которого будет производиться проектирование, является водослив с широким порогом, рассмотрим подробнее разные вариации свободной поверхности относительно ширины порога.

Первый тип свободной поверхности (рис 3.20) наблюдается при малой относительной ширине порога ( $2 < \delta/H \leq 3 \div 4$ ). Такой водослив называется коротким. В этом случае в начале водослива поток проходит через критическую глубину, а далее движется под влиянием новой действующей силы – свободного падения воды с уступа. В связи с этим в пределах всего порога никакой другой характерной глубины не устанавливается, а свободная поверхность представляет единую кривую спада изменением глубины от  $H$  перед водосливом до конечной глубины  $h_k$ , значительно меньшей критической глубины. Следовательно, на пороге наблюдается бурный поток с кривой спада, т. е. с увеличивающимся вдоль течения скоростями.

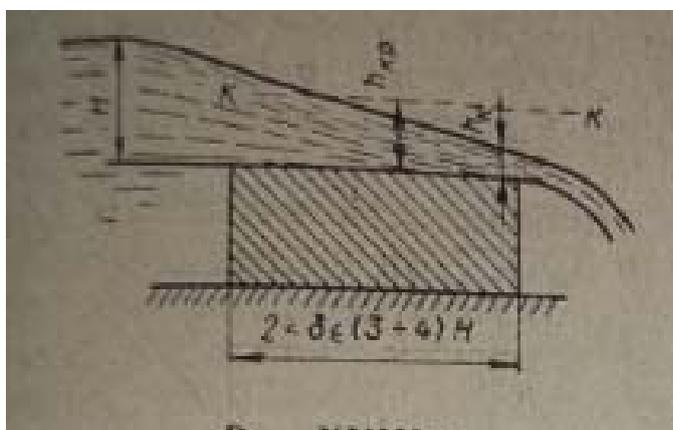


Рисунок 3.20 – Первый тип свободной поверхности

Второй тип свободной поверхности (рис 3.21), встречающийся наиболее часто, наблюдается тогда, когда на широком пороге образуется сжатое сечение и за ним кривая подпора, т. е. по мере продвижения потока по порогу увеличивается его глубина, а скорость и соответственно удельная энергия уменьшаются. В пределе удельная энергия потока снижается до минимума при критической глубине. Для таких водосливов характерно бурное состояние потока на всем протяжении порога с наличием кривой подпора. Кривая подпора

развивается здесь от наименьшей или, как ее обычно называют, сжатой глубины в начале порога  $h_c$  до конечной глубины  $h_k$ , которая зависит от ширины порога и шероховатости его поверхности. При относительной ширине порога  $\delta/N \approx 8 \div 10$  конечная глубина потока достигает предельной величины – критической глубины  $h_{кр}$ , после чего поток под влиянием силы тяжести несколько снижается, что характерно для бурных потоков. При дальнейшем увеличении относительной ширины порога эта форма свободной поверхности уже не может сохраняться, так как удельная энергия достигла здесь минимума и дальнейшее движение при тех же условиях невозможно

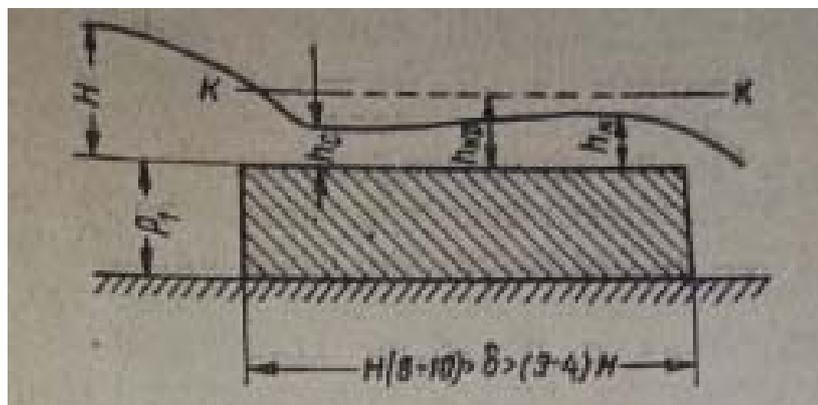


Рисунок 3.21 – Второй тип свободной поверхности

Третий тип свободной поверхности (рис 3.22) наблюдается на водосливах с достаточно широким порогом (длинных водосливах) и в отверстиях мостов малых пролетов. Свободная поверхность здесь характеризуется двумя взаимосвязанными глубинами:  $h_c$  в начале водослива и сопряженной с ней волновой глубиной  $h_b$ , отвечающей спокойному потоку на остальной части водослива; следовательно, для этого типа характерно наличие на пороге и бурного и спокойного потоков. Переход от бурного потока к спокойному объясняется тем, что количество энергии в сжатом сечении потока недостаточно для преодоления сил трения от сжатого сечения до конца порога при бурном режиме. При переходе к спокойному режиму потери напора благодаря снижению скорости резко уменьшаются. Описываемая форма свободной поверхности возможна при относительно широких водосливах, т. е. при  $\delta/N > 8 \div 10$ , что характерно для отверстий мостов малых пролетов и труб.

Такая свободная поверхность на водосливе с широким порогом имеет три характерные глубины: сжатую в начале водослива, сопряженную с ней волновую глубину спокойного потока ( $h_b > h_{кр}$ ) и, наконец, при спаде уровня воды в конце порога до конечной глубины - критическую  $h_{кр}$ , которая устанавливается, как и в коротких водосливах первого типа, на расстоянии около двух трех  $h_{кр}$  до конца водослива. [4]

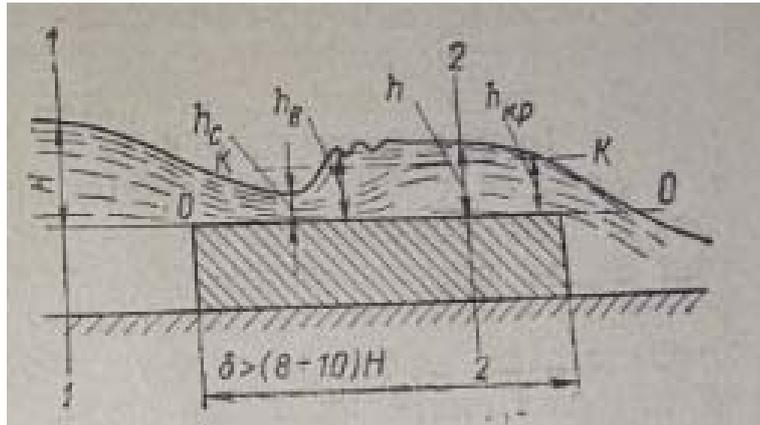


Рисунок 3.22 – Третий тип свободной поверхности

### 3.2. Основная расчетная формула водослива

Рассмотрим водослив с широким порогом относительной ширины  $\delta/H > 8 \div 10$ , при котором устанавливается третий тип свободной поверхности (рис. 3.22). Основные зависимости будем выводить для случая протекания воды через плоский водослив. Пространственную работу водослива учтем отдельно. Напишем уравнение Д. Бернулли для двух сечений, приняв за плоскость сравнения поверхность широкого порога  $0-0$ . Первое сечение расположим в верхнем бьефе на достаточном расстоянии от водослива, чтобы на свободную поверхность здесь не оказывал влияние спад у порога водослива, а второе сечение примем в произвольном створе на водосливе в области спокойного течения. Тогда уравнение Д. Бернулли принимает вид:

$$H + \frac{\alpha v_{\Pi}^2}{2g} = h + \frac{\alpha v^2}{2g} + \frac{v^2}{2g} \sum \xi \quad (3.1)$$

где  $v_{\Pi}^2$  – скорость подхода ( $H + \frac{\alpha v_{\Pi}^2}{2g} = H_0$ );

$\alpha$  - корректив, при расчетах по энергетическому закону приближенно принимаемый одинаковым как для левой, так и для правой частей уравнения;

$h$  – глубина в сечении 2-2;

$\frac{v^2}{2g} \sum \xi = h_w$  – потери напора на преодоление сил сопротивления при

поступлении воды на порог и при ее движении по последнему сечению 2-2.

Уравнение 3.1 можно преобразовать, представив в двух видах:

$$v^2 = 2g(H_0 - h) \frac{1}{a + \sum \xi} = 2g\varphi^2(H_0 - h) = 2g\varphi^2 H_0(1 - k) \quad (3.2)$$

$$\frac{v^2}{gh} = \Pi_k = 2\varphi^2 \frac{1-k}{k} = 2\varphi^2(k^{-1}) \quad (3.3)$$

где  $\varphi = (a + \sum \xi)^{-1/2}$ ;  $k = h/H_0$  и  $\frac{v^2}{gh} = \Pi_k$  – параметр кинетичности в произвольном сечении с глубиной  $h$ .

В соответствии с уравнением 3.2 расход воды через водослив можно определять по зависимости

$$Q = \omega v = bh\varphi H_0^{1/2} \sqrt{2g(1-k)} = \varphi bk \sqrt{1-k} \sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad (3.4)$$

или

$$Q = mb \sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad (3.5)$$

где  $m$  – коэффициент расхода водослива с широким порогом. [4]

## **Глава 4. Проектирование Лиговского гидроузла**

Как уже было указано во введении земляная подпорная плотина была размывта, вследствие чего приток воды в трубу образуется только в периоды высоких вод, что не позволяет обеспечивать постоянную подачу воды в ниже расположенное русло Лиговского канала, где располагается СНТ.

Для решения поставленной проблемы данная работа предлагает спроектировать в русле Лиговского канала водослив с широким порогом, который будет использоваться как плотина для создания подпора и обеспечения постоянного притока воды в трубу.

Условием из которого будут рассчитываться все нижележащие параметры водослива является тот факт, что в трубу всегда должно поступать не менее 10 литров в секунду ( $0.01 \text{ м}^3/\text{с}$ ), а в период высоких вод количество поступающей воды в нижнюю часть Лиговского канала не должно выходить за бровки русла.

### **Глава 4.1. Определение максимального расхода**

Так как пропускная способность трубы ( $3.5 \text{ м}^3/\text{с}$ ) намного больше, чем вместительность нижней части русла Лиговского канала, куда впадает поток из трубы, нужно определить максимальный расход, который мы может впустить в трубу с помощью подпора водослива. Для этого воспользуемся морфоствором б выпуска (рис. 4.1) и графиком  $Q=f(H)$  для б выпуска (рис 4.2) [1]

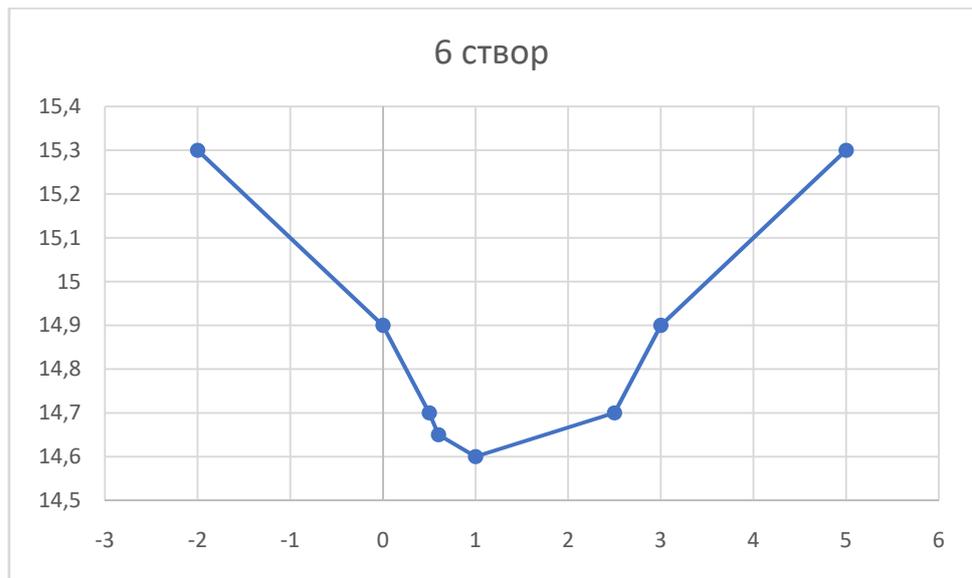


Рисунок 4.1 – Морфоствор 6 выпуска

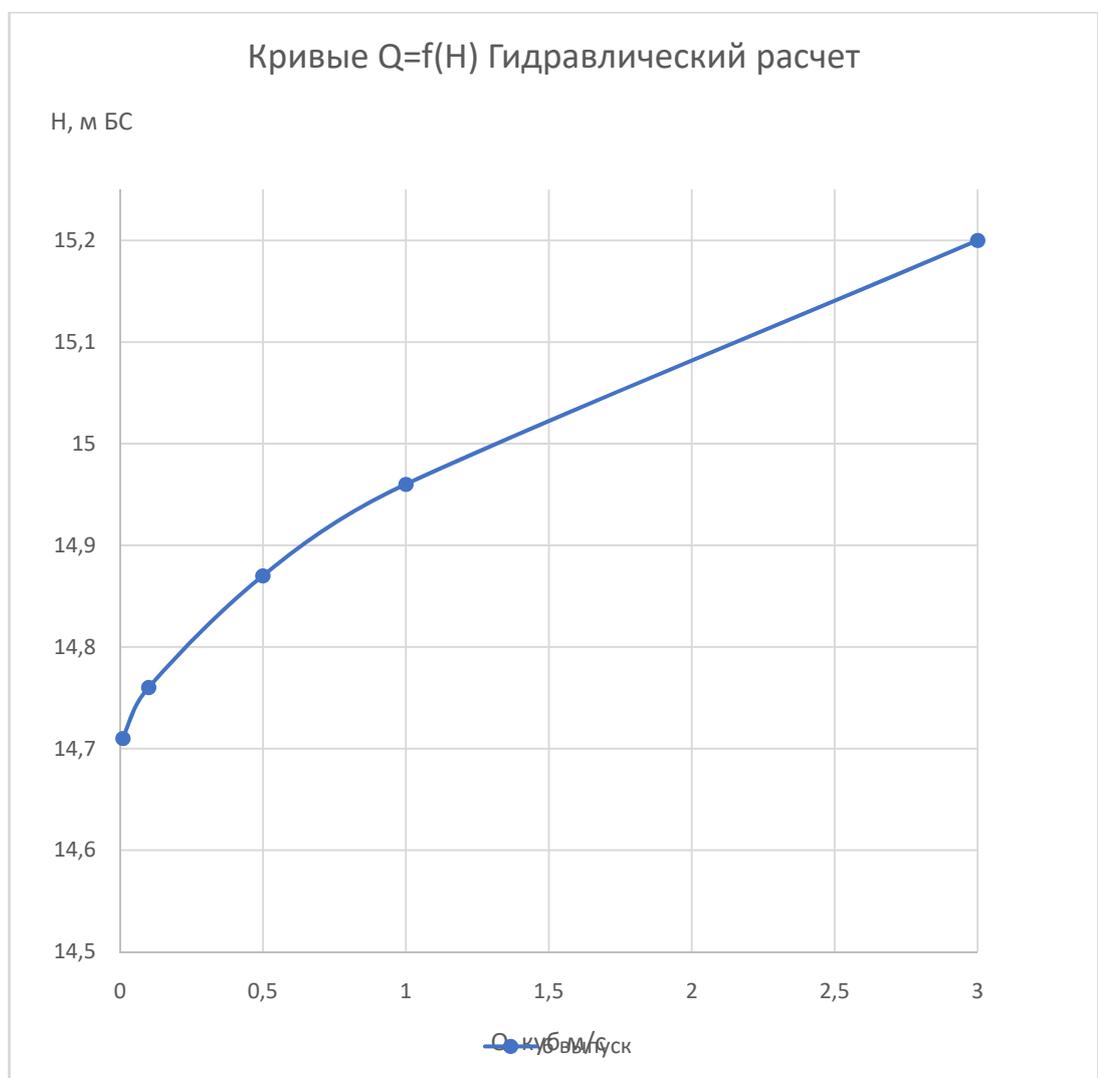


Рисунок 4.2 – График  $Q=f(H)$  6 выпуска

Морфоствор показывает нам, что максимальная отметка бровки является 15.3 мБс. Из соображений безопасности выхода потока воды из трубы за бровки русла канала, возьмем запасом 0.2 метра при расчете максимального расхода воды при пуске ее, благодаря подпору водосливом.

Беря за максимальную отметку 15.1 мБс рассчитаем максимальный расход с помощью графика  $Q = f(H)$  (рис 4.2)

$$Q = 2.22 \text{ м}^3/\text{с}$$

#### **Глава 4.2 Определение уровня воды в трубе для достижения заданных расходов**

Поскольку нам известна отметка основания трубы (17.58 мБс), нужно рассчитать отметку в трубе, при которой расходы будут равны 10 л/с и 2.22 м<sup>3</sup>/с

Расчет производится по формуле:

$$H = \frac{Q^{0.67}}{m^{0.67} k_T \sqrt{2g^{0.67}}}, \quad (4.1)$$

где  $m = 0,31$  – рекомендованный гидравлическими справочниками коэффициент расхода;

$k_T$  – степень наполнения трубы, определяется по соответствующим номограммам. Полученный график приведен на рисунке 4.2. [1]

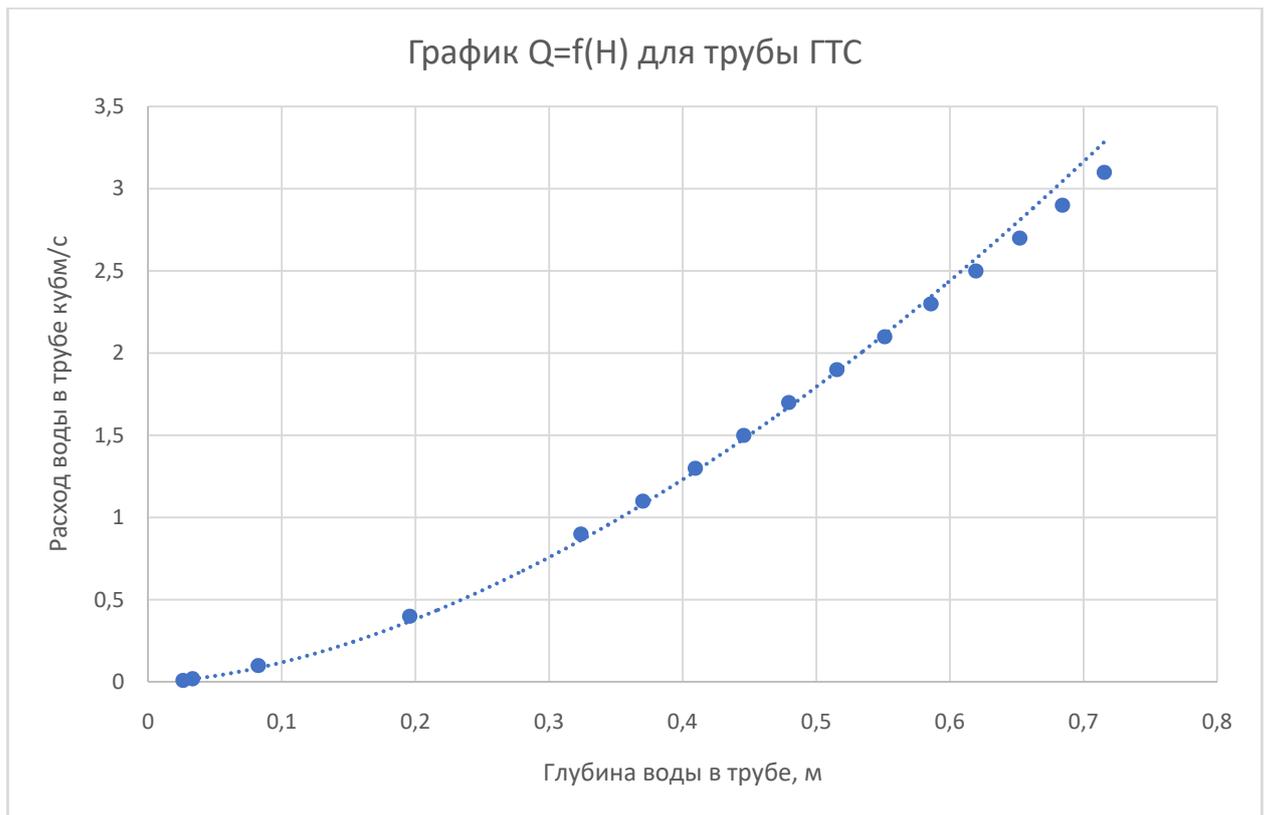


Рисунок 4.2 – График Q=f(H) для трубы ГТС

Уравнение линии тренда позволяет получить глубину воды в трубе при заданных нами расходах:

$$H_1 = 0.023 \text{ м.}$$

$$H_2 = 0.56 \text{ м.}$$

Зная уровень воды, который нам надо достичь в трубе и отметку основания трубы, можно посчитать уровень воды, которого нам надо достичь, создавая подпор водосливом:

$$H_{min} = H_1 + H_{осн} = 17.58 + 0.023 = 17.6 \text{ мБс}$$

$$H_{max} = H_2 + H_{осн} = 17.58 + 0.56 = 18.1 \text{ мБс}$$

## Глава 4.2 Анализ морфоствора в створе ГТС

Для определения характеристик водослива, в которые входят высота и ширина порога, нужно рассмотреть русло канала в створе ГТС. На рисунке 4.2 представлен план створа ГТС с высотными отметками[1]

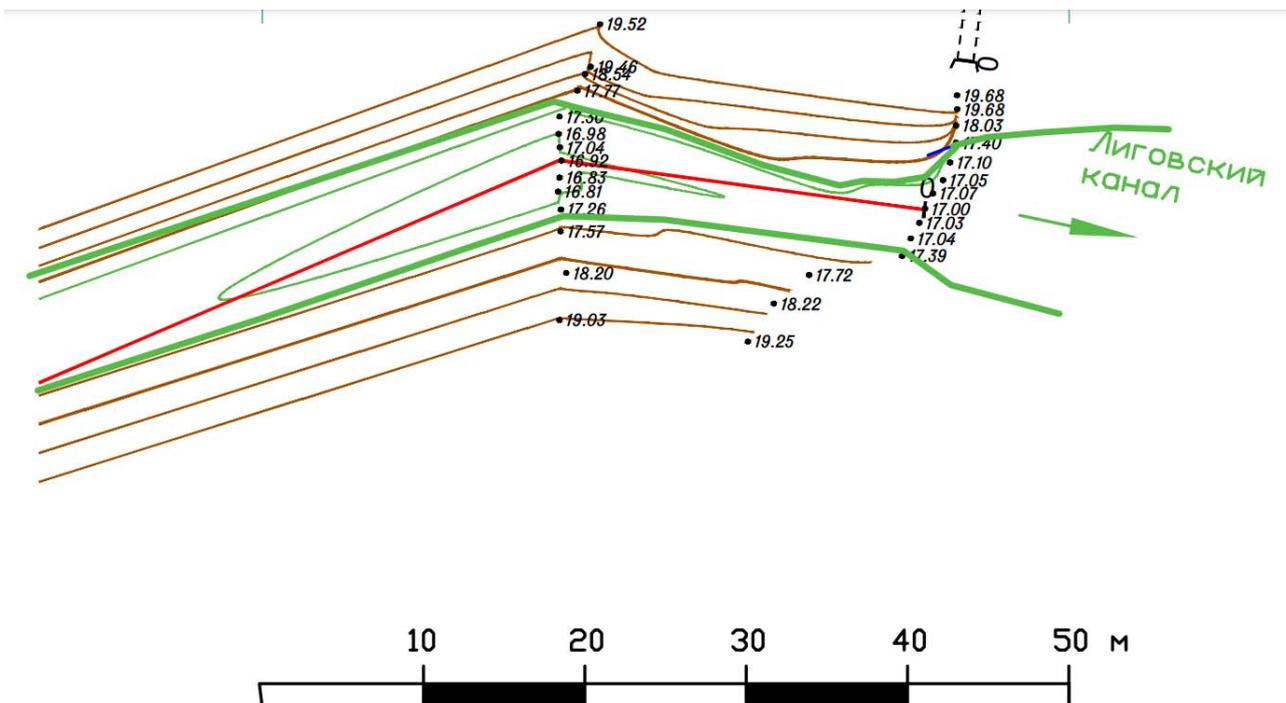


Рисунок 4.2 – План верхней части Лиговского канала до впадения в трубу

Рассматривая тальвег части Лиговского канала, примем за отметку дна для расчета характеристик водослива самую глубокую отметку в створе ГТС (17.00 мБс).

### Глава 4.3 Водный режим верхней части Лиговского канала

Рассчитав высотные отметки, которые нам нужно достичь для запуска потока воды в трубу, нужно рассмотреть водный режим верхней части Лиговского канала до впадения в трубу.

Для определения и расчета характеристик водослива и соблюдения поставленного условия того, что нам нужен постоянный приток воды при межени канала и не перегрузке нижней части русла Лиговского канала, следует определить максимальные и минимальные расходы, которые нам может представить верхняя часть Лиговского канала перед трубой.

Для определения максимальных расходов весеннего половодья и минимальных расходов обратимся к отчету по исследованию Лиговского канала

Расчет максимальных расходов весеннего половодья неизученных рек выполнялся в соответствии с СП 33-101-2003 по редуцированной формуле:

$$Q_{\max, p} = \frac{K_0 h_p \mu_p A}{(A + A_1)^n} \delta \delta_1 \delta_2, \quad (4.2)$$

где  $h_p$  – слой стока весеннего половодья обеспеченностью  $P$  %;

$A$  – площадь водосбора, км<sup>2</sup>;

$K_0$  – коэффициент, характеризующий дружность весеннего половодья;

$\mu_p$  – коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров слоя стока и максимального расхода воды;

$n$  – районный показатель редукции;

$A_1$  – коэффициент, характеризующий снижение редукции в зоне малых площадей водосборов;

$\delta, \delta_1, \delta_2$  – коэффициенты, учитывающие снижение модуля максимального стока соответственно под влиянием озерности, залесенности и заболоченности.

Коэффициент  $\delta$  для рек, зарегулированных проточными озерами, рассчитывался по формуле:

$$\delta = \frac{1}{(1 + cA_{оз})}, \quad (4.3)$$

где  $A_{оз}$  – средневзвешенная озерность, %;

$c$  – коэффициент, принимаемый равным 0,2 для лесной зоны.

При наличии в бассейне озер, расположенных вне главного русла и основных притоков, значение  $\delta$  принималось для  $f_{оз} < 2\%$  - 1; для  $f_{оз} \geq 2\%$  - 0,8.

Коэффициент  $\delta_1$ , учитывающий снижение максимальных расходов воды в залесенных бассейнах, определялся по формуле:

$$\delta_1 = \frac{\alpha_1}{(f_{л} + 1)^{n_2}}, \quad (4.4)$$

где  $f_{л}$  – относительная залесенность бассейна, %;

$\alpha_1$  и  $n_2$  – коэффициенты, определяемые по [5];  $\alpha_1 = 1$ ,  $n_2 = 0,22$ .

Коэффициент  $\delta_2$ , учитывающий снижение максимальных расходов воды заболоченных бассейнов, рассчитывался по формуле:

$$\delta_2 = 1 - \beta \lg(0.1f_6 + 1), \quad (4.5)$$

где  $f_6$  – относительная заболоченность бассейна, %;

$\beta$  – коэффициент, определяемый по [5];  $\beta = 0,7$ .

Значения параметров  $n$  и  $A_1$  в соответствии с [9] (стр.118-120) приняты  $n = 0,18$ ;  $A_1 = 1$ .

Так как все исследуемые водотоки протекают по антропогенно нарушенной территории параметр  $K_0$  рассчитан обратным путем по формуле (5.6) с использованием в качестве аналога реки Дудергофка, где имелись наблюдения за многоводный 1976 год и принят  $K_0 = 0,0013$ .

Расчетные значения нормы слоя половодья, коэффициента вариации и отношения  $C_s/C_v$  для неизученных рек получены осреднением по ближайшим рекам-аналогам: ( $h_{cp} = 100$  мм;  $C_v = 0,33$ ;  $C_s/C_v = 3$ ).

Так как все исследуемые реки относятся к категории малых, к значению коэффициента вариации слоя половодья, полученному на основе пространственной интерполяции, вводился поправочный коэффициент в соответствии с таблицей 5.5. Таким образом к расчету было принято  $C_v = 0,41$ .

Таблица 4.1 – Поправочные коэффициенты к  $C_v$  слоя стока весеннего половодья

Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	0 – 50	51 – 100	101 – 150	151 – 200
Поправочный коэффициент	1,25	1,25 – 1,20	1,20 – 1,15	1,15 – 1,05

Параметры расчетной формулы представлены в таблице 4.2, расчетные расходы воды в таблице 4.3. [1]

Таблица 4.2 – Параметры расчетной редуционной формулы

Название водотока	$A, км^2$	$K_0$	$f_{03}, \%$	$f_l, \%$	$f_{\bar{b}}, \%$	$h_{ср}, мм$	$C_v$	$C_s$
Р. Черная – устье (створ №2)	12,6	0,0013	<2	19	5	100	0,41	1,24
Р. Большая Койровка - устье	10,0	0,0013	<1	12	4	100	0,41	1,24
Р. Малая Койровка - устье	8,1	0,0013	<1	17	5	100	0,41	1,24
Нагорный Канал – перед впадением реки Большая Койровка	2,4	0,0013	<1	7	4	100	0,41	1,24

Таблица 4.3 – Расчетные максимальные расходы весеннего половодья, м<sup>3</sup>/с

Река - створ	Обеспеченность, P %					
	1	2	3	5	10	25
Р. Черная – устье (створ №2)	1,5	1,1	0,97	0,87	0,79	0,66
Р. Большая Койровка - устье	1,4	1,0	0,90	0,81	0,73	0,61
Р. Малая Койровка - устье	1,0	0,8	0,69	0,62	0,56	0,47
Нагорный Канал – перед впадением реки Большая Койровка	0,45	0,33	0,30	0,27	0,24	0,20
Расчетный створ ГТС*	5,78	5,08	4,65	4,24	3,7	2,87

\* – Расчетные максимальные расходы в створе ГТС могут быть немного завышены, так как получены суммированием максимальных расходов в створе №1 и №2, то есть предполагается, что максимум паводков на реке Дудергофке и реке Черной проходит синхронно

Для определения и расчета характеристик водослива возьмем за максимальный расход, протекающий в верхней части Лиговского канала, расход обеспеченностью 1% = 5.78 м<sup>3</sup>/с.

Значения среднемноголетних модулей стока для неизученных рек определялись методом пространственной интерполяции. Для малых рек вводилась поправка на не полное дренирование грунтовых вод в соответствии с таблицей 4.4. Расчетные значения среднемноголетних расходов воды представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.4– Поправочные коэффициенты к значениям среднего многолетнего стока, полученным методом пространственной интерполяции

Район	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>					
	0,01	0,1	1,0	3	5	10
Северо-запад и север ЕТР	0,66	0,76	0,87	0,93	0,96	1,0

Таблица 4.5 – Расчетные среднемноголетние расходы и модули стока

Створ	$F_{км^2}$	Средний многолетний	
		Модуль стока, л/с км <sup>2</sup>	Расход воды, м <sup>3</sup> /с
Створ №1	55	8,00	0,44
Створ №2	12,6	8,00	0,10
Створ ГТС	–	–	0,54
Створ №4	2,75	7,36	0,020
Створ № 6	0,75	6,64	0,005
Створ № 8	1,7	7,12	0,012
Створ №7	2,4	7,28	0,017

Учитывая, что рассматриваемые водотоки протекают по антропогенно нагруженной территории, расчет минимальных 30-суточных зимних и летних расходов воды 80 %-ной обеспеченности проводился с помощью переходных коэффициентов в зависимости от среднего многолетнего расхода воды. Переходные коэффициенты были определены по реке-аналогу – реке Оккервиль, которая тоже протекает по урбанизированной территории и на которой в 70-е годы XX века велись наблюдения. Результаты расчета представлены в таблице 4.6. [1]

Таблица 4.6 – Расчетные минимальные 30-суточные летние и зимние расходы воды

Створ	Средний Многолетний расход, м <sup>3</sup> /с	$K_{зим}$	$K_{лет}$	$Q_{30-зим}$ , м <sup>3</sup> /с	$Q_{30-лет}$ , м <sup>3</sup> /с
Створ №1	0,44	0,17	0,21	0,075	0,092
Створ №2	0,10	0,17	0,21	0,017	0,021

Створ ГТС	0,54	0,17	0,21	0,092	0,113
Створ вып 6	0,020	0,17	0,21	0,003	0,004
Створ КАД	0,005	0,17	0,21	0,001	0,001
Створ ЗСД	0,012	0,17	0,21	0,002	0,003
Створ устье	0,017	0,17	0,21	0,003	0,004

Для определения и расчета характеристик водослива возьмем за минимальный расход, протекающий в верхней части Лиговского канала, минимальный 30 – суточный летний расход = 0.113 м<sup>3</sup>/с.

#### **Глава 4.4 – Расчет характеристик водослива при заданных расходах и отметках**

Зная все нужные нам данные, определённые выше, рассчитаем характеристики водослива. За тип водослива будет принят водослив с широким порогом, поскольку он лучше выступает в роли подпорной плотины.

Для расчета характеристик водослива воспользуемся основной расчетной формулой для водосливов

$$Q = mb\sqrt{2g}H_0^{3/2} \quad (4.6)$$

где  $m$  – коэффициент расхода водослива с широким порогом.

Поскольку нам известны расходы, будет рассчитывается обратная задача данной формулы, где главной переменной будет ширина порога водослива  $b$ .

Так как от расходов будет изменяться ширина порога, рассмотрим насколько максимальную ширину порога мы можем себе позволить спроектировать с помощью плана верхней части Лиговского канала до впадения в трубу (рис. 4.3)

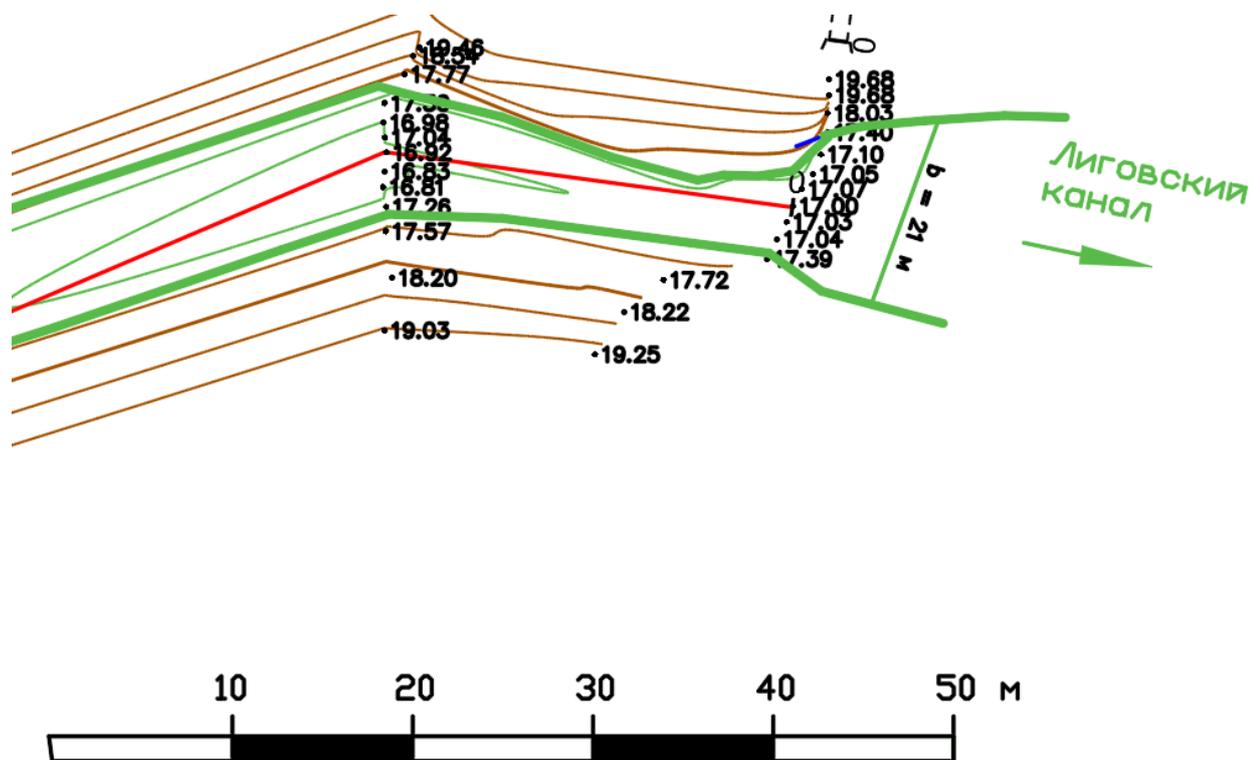


Рисунок 4.3 – Определение ширины русла в верхней части Лиговского канала

Рассчитаем какой напор нам нужно достичь при максимальном и минимальном расходе

Беря в расчет отметку глубины (см. Главу 4.2) и рассчитанные отметки в трубе (см. Главу 4.3), установим высоту порога  $C_B$  в 0.1 м.

$$H = H_{\text{труба}} - (H_{\text{от.дна}} + C_B) \quad (4.7)$$

Таблица 4.7 – Расчет требуемого напора при минимальном расходе ( $Q = 0.113 \text{ м}^3/\text{с}$ )

$H_{\text{труба}}$	$H_{\text{от.дна}}$	$C_B$	$H$
17.6	17.2	0.1	0.30

Таблица 4.8 – Расчет требуемого напора при максимальном расходе ( $Q = 5.78 \text{ м}^3/\text{с}$ )

$H_{\text{труба}}$	$H_{\text{от.дна}}$	$C_B$	$H$
18.1	17.2	0.1	0.84

Поскольку в формуле 4.7 используется полный геометрический напор, учитывающий скорость подхода, рассчитаем  $H_0$

$$H_0 = H + v_0^2 / (2g) \quad (4.8)$$

Для определения скорости подхода  $v_0^2$  обратимся к графику  $V = f(H)$  в створе ГТС (рис. 4.4)

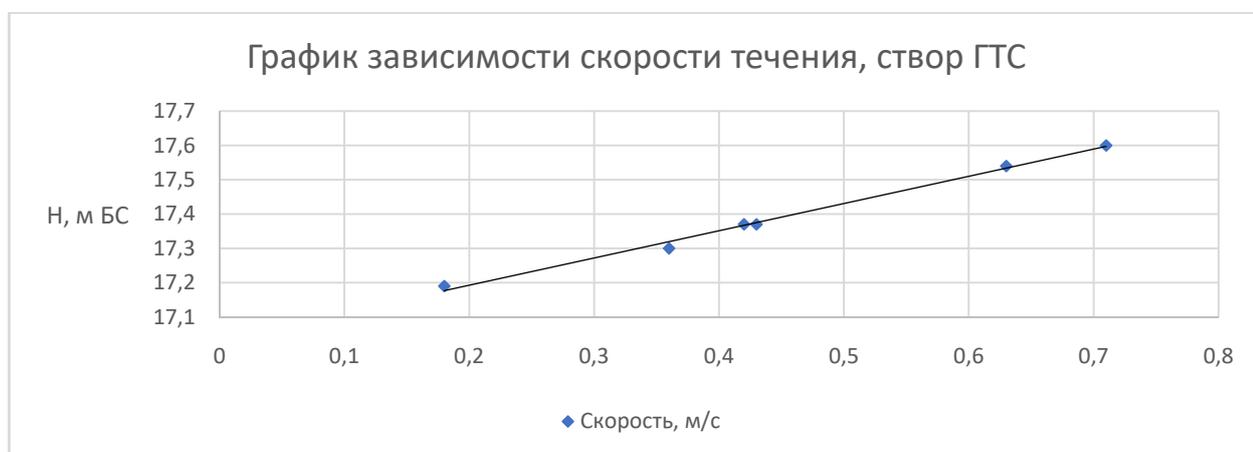


Рисунок 4.4 – График зависимости скорости течения, створ ГТС

$$v_0 = 0.71 \frac{\text{м}}{\text{с}} \text{ – скорость подхода при минимальном расходе}$$

$$v_0 = 1.34 \frac{\text{м}}{\text{с}} \text{ – скорость подхода при максимальном расходе}$$

Рассчитав скорости подхода, определим полный геометрический напор при заданных расходах:

$$H_{0\text{min}} = 0.33;$$

$$H_{0\text{max}} = 0.93.$$

Далее для расчета ширины порога водослива, нужно найти коэффициент расхода  $m$ . Для этого воспользуемся таблицей 4.9, где коэффициент расхода определяется относительно отношения высоты порога  $C_B$  и высоты напора  $H$ .

Таблица 4.9 – Коэффициенты расхода  $m$  для водослива с широким порогом

$\Pi = C_B / H$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	2.0	4.0	8.0	$\infty$
$m$	0.385	0.366	0.356	0.350	0.345	0.342	0.333	0.327	0.324	0.320

Используя интерполяцию между отношениями  $\Pi = C_B / H$  рассчитаем коэффициенты расходов для минимальном и максимальном расходе.

Таблица 4.10 – Расчет  $m$  для минимального расхода

$C_B$	$H$	$\Pi$	$m$
0.1	0.30	0.33	0.359

Таблица 4.11 – Расчет  $m$  для максимального расхода

$C_B$	$H$	$\eta$	$m$
0.1	0.84	0.12	0.373

Зная все члены формулы 4.6 рассчитаем ширину порога при заданных расходах. Вычисления сведены в таблицу 4.12 и 4.13.

Таблица 4.12 – Расчет ширины порога при минимальном расходе

$Q$	$H_0$	$m$	$b$
0.113	0.33	0.359	0.38

Таблица 4.13 – Расчет ширины порога при максимальном расходе

$Q$	$H_0$	$m$	$b$
5.78	0.84	0.373	3.89

### Глава 4.5 – Проектирование двухступенчатого водослива

Как видно из вышеизложенных расчетов для поддержания постоянного притока воды в трубу при минимальном расходе и для того, чтобы не происходило выхода на пойму в нижней части Лиговского канала при максимальном расходе, нужны очень сильно различающиеся ширины порога водослива. Для решения этой проблемы данная работа предлагает к использованию двухступенчатый водослив.

Строение данного водослива будет заключаться в том, что при повышении расхода от минимального заданного будет происходить разлив воды на второй ступени водослива, благодаря чему будет поддерживаться уровень воды, не превышающий максимальную отметку трубы, рассчитанную в главе 4.1.

Для поддержания уровня воды, не превышающего максимальную отметку в трубе, нужно, чтобы площадь живого сечения второй ступени могла аккумулировать в себе разницу между расходом, который будет брать на себя первая ступень водослива, и максимальным расходом 1% обеспеченности.

Для начала рассчитаем какой максимальный расход на себя возьмет первая ступень водослива. Беря в расчет минимальный и максимальный нам доступные напоры, рассчитанные в таблицах 4.7 и 4.8, рассчитаем разницу,

которую мы можем использовать для второй ступени водослива, а также максимального расхода на первую ступень.

$$\Delta H = H_{max} - H_{min} = 0.84 - 0.30 = 0.54 \text{ м.}$$

Из полученной разницы, возьмем 0.30 м напора на первую ступень водослива, что дает нам напор, при заданной высоте порога 0.1 м, равный 0.6 м. В сухом остатке на площадь живого сечения второй ступени нам остается 0.24 м.

Рассчитаем какой максимальный расход возьмет на себя первая ступень водослива, на сей раз решая прямую задачу формулы 4.6. Воспользуемся тем же процессом расчета как и в главе 4.4.

Таблица 4.14 – Расчет полного геометрического напора

$v_0$	H	$H_0$
1.09	0.6	0.66

Таблица 4.15 – Интерполяция коэффициента расхода m

$C_B$	H	$\Pi$	m
0.1	0.60	0.17	0.368

Таблица 4.16 – Расчет расхода при заданном напоре

b	$H_0$	m	Q
0.38	0.33	0.359	0.333

Рассчитав какой расход берет на себя первая ступень водослива, при заданной ширине порога, вычислим какой расход должна взять на себя вторая ступень водослива.

$$\Delta Q = Q_{1\%} - Q_{0.6H} = 5.78 - 0.333 = 5.45 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Для дальнейшего проектирования второй ступени, нам нужно знать какая площадь живого сечения нужна для аккумуляции  $\Delta Q$ . Для этого воспользуемся основной формулой для расхода воды

$$Q = \omega * v \tag{4.9}$$

За скорость потока возьмем скорость при максимальном 1%-ом расходе, рассчитанную в главе 4.4

Таблица 4.17 – Расчет площади живого сечения

Q	v	ω
5.45	1.34	4.1

Далее нам нужно рассчитать какую ширину будет иметь вторая ступень водослива при ее высоте в виде оставшегося напора 0.24 м. Для этого возьмем формулу площади прямоугольника

$$\omega = H * b \quad (4.10)$$

Таблица 4.18 – Расчет ширины второй ступени водослива

ω	H	b
4.1	0.24	16.9

Поскольку максимальная ширина доступная нам в створе ГТС 21 м (см. рис 4.3), а полученная ширина второй ступени равняется 16.9 м, мы можем использовать водослив, с рассчитанными выше его характеристиками, в реальности. Примерный вид водослива представлен на рисунке 4.5

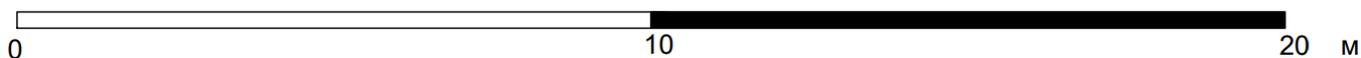
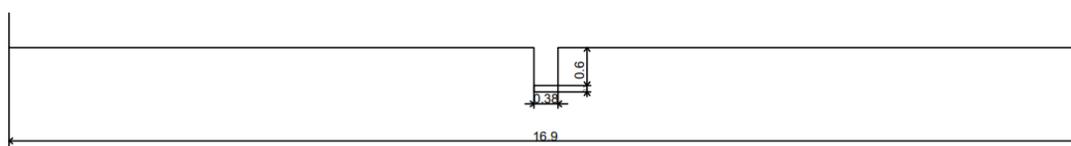


Рисунок 4.5 – План двухступенчатого водослива

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В рамках данной работы было произведено детальное физико – географическое и климатическое исследование района и были описаны водный режим и морфометрические характеристики прилегающих водотоков.

Для решения поставленной задачи снабжение водой СНТ, находящийся в нижней части исследуемого района Лиговского канала, было выбрано использовать водослив с широким порогом как подпирающая плотина и были рассчитаны его характеристики и возможный проект, при использовании которого не будут происходить выход на пойму русла после выпадения воды из трубы, а также будет постоянный приток воды в трубу в заданном количестве.

#### Список использованной литературы

1. Леонтьев Д.В., Исаев Д. И., Орлов Д. А., Сикан А. В., Фокин Д. А., Шилов Д. В. Оказание услуг по исследованию Лиговского канала для оценки возможности увеличения его водности – Реф.: РГГМУ, 2022. – 130 с.
2. Флора и фауна // Общественная палата Ленинградской области URL: <https://palatalo.ru/about/nature/animal> (дата обращения: 06.06.2022).
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 2. Карелия и Северо-Запад. – Л.: Гидрометеиздат, 1965.
4. Богомолов А.И., Михайлов К.А. Гидравлика // Учебное пособие – М.: Стройиздат, 1972. – 648 с.
5. Спицын И.П., Соколова В.А. Общая и речная гидравлика // Учебное пособие – М.: Гидрометеиздат, 1990. – 360 с.