



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

Кафедра гидрометрии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **Опыт организации
наблюдений на ручье Привратный**

Исполнитель

Тотьмянина Дарья Павловна

Руководитель

старший преподаватель

Гаврилов Илья Сергеевич

«Я разрешаю допустить»
Заведующий кафедрой

кандидат географических наук

Исаев Дмитрий Игоревич

30.06.2016 г.

Санкт-Петербург
2016



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

Кафедра гидрометрии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **Опыт организации**
наблюдений на ручье Привратный

Исполнитель Тотьмянина Дарья Павловна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель старший преподаватель
(ученая степень, ученое звание)

Гаврилов Илья Сергеевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

«__» _____ 20__ г.

Санкт-Петербург
2016

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение.....	4
1. Физико-географическая характеристика.....	5
1.1 Физико-географическая характеристика Ленинградской области...	5
1.1.1 Рельеф.....	5
1.1.2 Почвенный покров.....	6
1.1.3 Растительность.....	7
1.1.4 Гидрология.....	7
1.1.5 Климат.....	8
1.2 Физико-географическая характеристика Гатчинского района.....	9
1.2.1 Рельеф.....	10
1.2.2 Гидрология.....	10
1.2.3 Климат.....	11
1.3 Краткая физико-географическая характеристика ручья Привратный.....	11
2. Гидрологические характеристики.....	14
2.1 Определение площади водосбора.....	14
2.2 Определение расчетно-гидрологических характеристик.....	17
2.3 Определение расчетно-гидрологических характеристик на ручье Привратный.....	22
3. Проектирование водомерных сооружений на малых водотоках на примере ручья Привратный.....	25
3.1 Лоток Паршала.....	27
3.2 Лоток Вентури.....	28
4. Организация и анализ опыта.....	32

4.1 Наблюдения в период летне-осенней межени 2015г.....	32
4.2 Проблема зимней межени 2016г.....	33
5. Датчик уровня.....	36
Заключение.....	45
Список используемых источников.....	46
Приложение	

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует большой научный и практический интерес к расчетам и моделированию стока с малых водосборов. Малые реки в общем случае имеют меньшую естественную зарегулированность стока, чем средние и большие и поэтому обладают большей изменчивостью стока как в многолетнем, так и внутригодовом периоде. Также на малых водосборах нарушаются региональные закономерности формирования стока. Но вместе с тем в настоящее время на северо-западе европейской территории России практически отсутствуют синхронные наблюдения за осадками и жидким стоком на малых водосборах.

На базе практики РГГМУ на ручье Привратный была сооружена стоковая площадка, на которой были начаты систематические наблюдения. Основной целью создания стоковой площадке было получение знаний о текущих гидрологических условиях, которые могут быть использованы для разработки моделей стока и уточнения региональных характеристик стока.

Круглогодичные непрерывные наблюдения за основными элементами гидрологического режима на ручье позволят выявить и уточнить особенности процессов формирования дождевых паводков, весеннего половодья, летней и зимней межени, уточнить региональные характеристики малых водосборов, разрабатывать новые и параметризировать имеющиеся модели стока.

1. Физико – географическая характеристика

1.1 Физико-географическая характеристика Ленинградской области

Ленинградская область расположена на северо–западе Европейской территории России и является частью Русской равнины. На севере она граничит с Карелией, на юге – с Псковской и Новгородской областями; на востоке – с Вологодской областью, на западе – с Эстонией, на северо-западе – с Финляндией. Область занимает площадь 85.9 тыс. км² и имеет протяженность с севера на юг 100 – 325 км, с запада на восток – 446 км.

1.1.1 Рельеф

Часть этой территории разделяется на: северо-западную – неизменную и восточную, юго-восточную и южную- возвышенную. Северо- западная часть расположена в основном в пределах Прибалтийской низменности.

Прибалтийская низменность – довольно однообразная слабоволнистая равнина, на которой отчетливо выделяется ряд возвышенностей и понижений.

Возвышенная часть территории Северо-Запада расположена в пределах Валдайской возвышенности, которая широкой дугой окаймляет Прибалтийскую низменность и тянется от восточного побережья Онежского озера до г. Великие Луки, переходя далее на территорию Белоруссии и Литвы.

Общий равнинный характер территории также местами нарушается такими холмистыми возвышенностями как: Вепсовская возвышенности, Тихвинская гряда, Лемболовские и Токсовские высоты.

Территория Северо-Запада расположена почти целиком в пределах Русской платформы и сложена комплексом осадочных дочетвертичных отложений, залегающих под четвертичными на архейском или протерозойском кристаллическом основании. Лишь самая северная окраина территории - север Карельского перешейка- относится к южной оконечности Балтийского щита и сложена древнейшими кристаллическими породами архейско-протерозойского комплекса, представленного различного рода гнейсами и сланцами.

Большую часть площади занимают низменности с небольшими абсолютными высотами (Волховская и Приильменная низины), густой гидрологической сетью, многочисленными озерами и болотами. Ордовикское плато, западная часть которого носит название Ижорской возвышенности, восточная – Путиловского плато, крутым уступом поднимается к югу от низменного побережья Финского залива.

1.1.2 Почвенный покров

Покров почв Ленинградской области отличается большим разнообразием, что связано с особенностями рельефа и почвообразующих пород, различными условиями увлажнения, стока атмосферных вод и уровня стояния грунтовых вод. Основными процессами почвообразования являются подзолообразования и заболачивание, что обусловлено положением территории в зоне с холодным, влажным климатом, а также преобладанием лесной, преимущественно хвойной растительности.

Большую часть земель составляют песчаные и суглинистые подзолистые почвы, часто завалуненные. Особую группу представляют дерново-карбонатные почвы.

Глубина промерзания почвы зависит от рельефа местности, а также от интенсивности нарастания отрицательных температур воздуха и наличия

снежного и растительного покрова, механического состава почвы и ее увлажнения.

Оттаивание почвы, как правило, происходит сверху и идет сначала медленно, до схода снежного покрова, а затем быстро под влиянием солнечных лучей, на болотах почва может быть промерзаний и летом.

1.1.3 Растительность

Ленинградская область расположена преимущественно в таежной зоне. Основная часть территории области находится в пределах подзоны южной тайги, северо-восток – в подзоне средней тайги. Растительность некоторых юго-западных районов по своему характеру принадлежит к подзоне хвойно-широколиственных лесов.

Леса занимают большую часть территории области. Состав местных лесов представлен главным образом мелколиственными породами: березой, сосной, ольхой. Наибольшая лесистость наблюдается на севере и северо-востоке области. Значительную часть территории занимают болота, луговая растительность занимает до 10 % площади, преобладают суходольные луга.

1.1.4 Гидрология

Водные объекты на местности распределяются в зависимости от рельефа и геологического строения. Озера занимают около 15 %, болота – около 18 % местности. Большая часть озер ледникового происхождения, они сконцентрированы в восточной холмистой части области, в северной части Карельского перешейка. Маленький участок Финского залива входит в состав Ленинградской области на западе. Речная сеть области густая и разветвленная. Исключением считается Ордовикское плато, где дождевые и талые воды поглощаются карстовыми воронками, поэтому реки здесь

отсутствуют. Наиболее крупные реки – Нева, Свирь, Волхов, Вуокса, Луга. Самая полноводная из них считается река Нева. Имеется несколько тысяч малых рек. В питании рек Ленинградской области преобладают осадки в виде снега : их доля от общего стока составляет около 60 %; на дожди приходится 20 %, 10 % дают грунтовые и подземные воды.

1.1.5 Климат

Климат Ленинградской области атлантико-континентальный, характеризуется умеренно-прохладной зимой и нежарким влажным летом. Весна и осень носят затяжной характер. Частая смена морских и континентальных, арктических воздушных масс, активная циклоническая деятельность обуславливают неустойчивый и изменчивый характер погоды во все сезоны. Переход от сезона к сезону постепенный.

Зима мягкая, однако длительная, наступает с образования устойчивого снежного покрова во второй половине ноября (восточные районы) – в первой декаде декабря (западные районы). Наиболее мягкой и неустойчивой бывает первая половина зимы, в особенности на западе области. С продвижением на восток зима становится более резкой, а в северно-восточных районах приобретает черты суровости. За зиму отмечается до 25 дней с оттепелью, наибольшая их повторяемость (10 – 12 дней) наблюдается в декабре.

Снежный покров держится 100 – 150 дней, его средняя высота достигает максимальных значений в феврале. На полевых участках она составляет от 25 -30 см в западных районах до 40 – 50 см – в восточных.

Теплый период наступает в первой декаде апреля и длится до конца октября – начала ноября (200 – 220 дней). Повышение температуры воздуха от 0 до +10 °С весной происходит за 40 дней. Продолжительность периода снеготаяния 12 – 23 дня, почва полностью оттаивает к началу мая. Осенью падение температуры от +10 до 0 °С происходит за 1.5 месяца. Весенние

заморозки возможны до конца мая – первой декады июня, осенние начинаются обычно в первой декаде сентября.

Одним из самых теплых месяцев года является июль (средняя температура воздуха +16 °С). Самым холодным месяцем в западных районах является февраль (средняя температура воздуха -9 °С), на остальной территории – январь (-11 °С).

Рассматриваемая территория относится к зоне избыточного увлажнения. Этого объясняется сравнительно небольшим переходом тепла и хорошо развитой здесь циклонической деятельностью, которая активно проявляется во все сезоны года.

На распределение осадков большое влияние оказывает орографические особенности местности и подстилающей поверхности, ведущие к нарушению осадков. В среднем в год на большей части рассматриваемых районов выпадает 550-750 мм осадков.

На территории области преобладают ветры юго-западных и западных направлений, несущие влажный воздух атлантического происхождения. Скорость ветра в зимние месяцы составляет 3.5 – 4.0 м/с, на побережьях водоемов увеличивается до 5.5 – 6.0 м/с. Сильные ветры (15 м/с и более) отмечаются преимущественно в холодный период. На большей части территории бывает до 10 – 15 дней в году с такими ветрами; в прибрежных районах – до 20 - 25 дней.

1.2 Физико-географическая характеристика Гатчинского района

Гатчинский район расположен на северо-западе европейской части России и входит в состав Ленинградской области. На северо-востоке граничит с городом Санкт – Петербургом, на востоке – с Тосненским районом, на юге – с Лужским, на западе – с Волосовским, на северо-западе – с Ломоносовским. Район занимает площадь 2.94 тыс. км², что составляет 3.45 % от площади всей области.

1.2.1 Рельеф

Большая часть территории района расположена на Лужско – Оредежской возвышенности. Высоты (до 100 м) имеют здесь очень плавные перепады. В целом для территории района характерен полого – холмистый равнинный рельеф. Ярко выраженные возвышенные ландшафты преобладают лишь на северо-западе, где в пределы района входит восточная часть Ижорской возвышенности. Для этой территории характерны краевые моренные гряды и холмы.

Геологические отложения ордовикского периода преобладают в северной части района, а в южной – девонского. В основном, они покрыты слоем ледниковых отложений четвертичного периода. Исключение составляют берега реки Оредеж, где девонские породы выходят прямо на поверхность.

1.2.2 Гидрология

По территории района протекает множество рек, крупнейшими из которых являются Ижора и Оредеж.

Река Оредеж является притоком реки Луга. Ее длина составляет 200 км, ширина реки меняется от 15 до 30 м, средняя глубина 1.0 – 1.5 м. Берет начало из Кикеренских болот близ деревни Донцо. Общая площадь водосбора 3400 км². Замерзает в декабре, вскрывается в апреле.

Крупнейшими озерами района являются Вялье и Орлинское. Большая часть территории района, особенно в юго-восточной части, заболочена.

1.2.3 Климат

Климат района атлантико-континентальный. Морские воздушные массы объясняют сравнительно мягкую зиму с частыми оттепелями и умеренно-теплыми временами прохладное лето. Средняя температура января -8°C , июля $+17^{\circ}\text{C}$. Годовое количество осадков 650 – 700 мм, в зимний период выпадают преимущественно в виде снега. Преобладают западные и южные ветры. Весной и летом наблюдается явление белых ночей. Минимальная зарегистрированная температура составляет -44°C , максимальная $+34^{\circ}\text{C}$.

1.3 Краткая физико-географическая характеристика ручья Привратный

Ручей Привратный является правым притоком р.Оредеж и относится к водосбору Балтийского моря. Берёт свое начало в болоте. Имеет два русла. Вначале ручей течет в направлении с востока на запад. Затем меняет его и, течет по логу с небольшим уклоном. Далее протекает на границе участка базы практики РГГМУ в д.Даймище (см. рисунок 1.3.1). Длина ручья около 500 м. Площадь водосбора составляет примерно 0.05 км^2 . Водосбор лесной, поросший еловым лесом, частично заболоченный. Расходы воды в межень 0,2 л/с, в период дождевых паводков – 20-30 л/с.



Рисунок 1.3.1 – Ручей Привратный у базы практик РГГМУ

Ручей Привратный относится к равнинным малым водотокам, для которых характерно смешанное питание с преобладанием дождевого.

В годовом ходе уровня воды четко выражены весеннее половодье, летне-осенняя межень, осеннее-зимний период с несколько повышенной водностью и зимняя межень.

Весенний подъем уровня водотоков начинается в среднем в последних числах марта, пик половодья отмечается обычно в середине апреля.

Средняя высота подъема уровня в половодье на исследуемом участке ручья Привратный равна 0.3 м.

Высшие в году уровни, как правило, наблюдаются в период весеннего половодья. Спад половодья продолжается до середины мая. Продолжительность весеннего половодья составляет 50 – 55 дней.

Летне-осенняя межень наступает обычно в конце мая – начале июня и заканчивается в сентябре. Низшие уровни наблюдаются в июле, августе. В период дождей уровень воды в р.Привратный повышается в среднем на 0.5 м.

Низшие уровни летнее-осенней межени отмечаются в июле, августе. Межень продолжается до начала – середины октября.

Зимняя межень устанавливается обычно в середине – конце ноября. Низшие уровни отмечаются в феврале, марте. В суровые зимы ручей Привратный перемерзает, в более теплые зимы ручей течет под кромкой льда.

2. Гидрологические характеристики

2.1 Определение площади водосбора

С целью изучения и наблюдения за водным режимом речной системы, для расчета гидрологических характеристик, при проведении комплексных гидрологических исследований и при строительном проектировании используются гидрографические характеристики речных систем.

Гидрографические характеристики включают в себя морфометрические и морфологические элементы водных объектов. Главной морфометрической характеристикой водосборов является площадь.

Обычно площадь водосбора определяется по карте с учетом масштаба, либо с использованием современных программ AutoCad или ArcGIS.

Было установлено, что данные способы определения площади водосбора не подходят для ручья Привратный.

Измерения по крупномасштабным картам не дали никаких результатов, так как ручей Привратный на картах не обозначен. Поэтому было принято решение, облететь территорию на БПЛА Валкера (см. рисунок 2.1.1).



Рисунок 2.1.1 – Протекание ручья Привратный в лесу

Далее была произведена рекогносцировка участка пешим путем. В ходе обследования было обнаружено, что из болота вытекает два ручья. Первый ручей протекает по садоводству Ильменка, второй же вытекает из садоводства Ильменка, протекает вдоль ЛЭПа и впадает в реку Оредеж.

Был сделан вывод, что на предположительной территории водосбора протекают оба ручья. С целью разделения площадей водосборов этих ручьев было принято решения воспользоваться методом барометрического нивелирования (см. рисунок 2.1.2).

Барометрическое нивелирование базируется на том, что давление с воздуха на различных высотах над уровнем моря неодинаково: чем выше расположена точка, тем меньше над ней высота столба воздуха и тем меньше его давление. Если бы 2 нивелируемые точки находились в столбе воздуха одинаковой плотности, то изменение давления воздуха было бы пропорционально изменению высоты. В этом случае для определения превышения между точками достаточно знать изменение высоты на единицу изменения атмосферного давления.

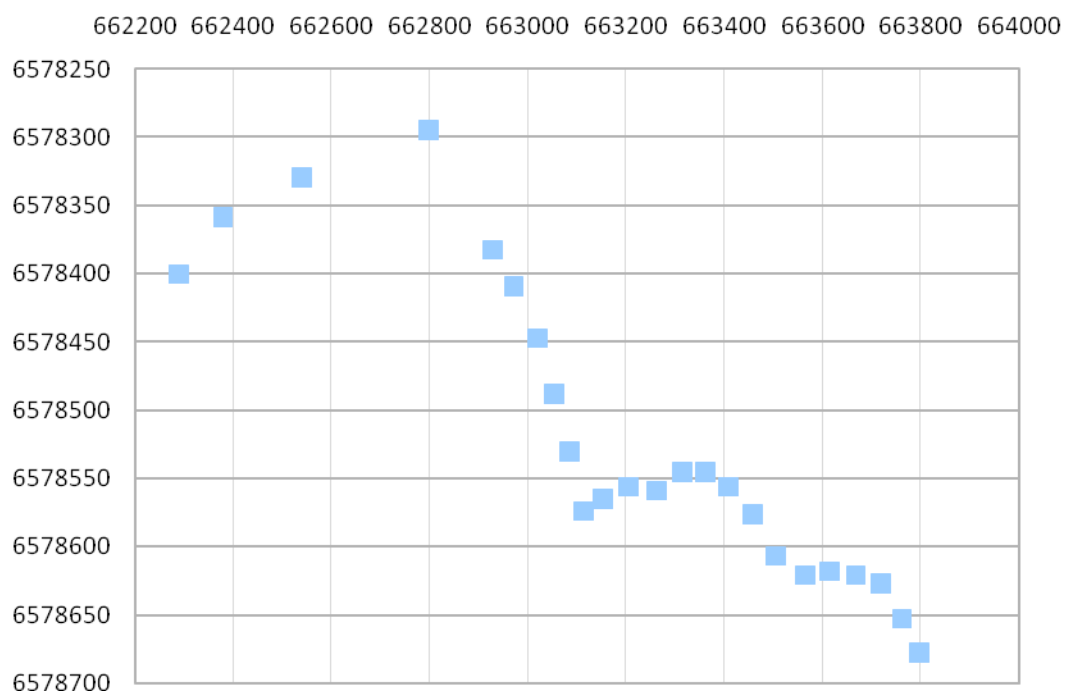


Рисунок 2.1.2 – Профиль дороги

В ходе работ была найдена водораздельная линия на дороге и, разделены площади водосборов.

Исходя из всего выше сказанного и обобщив все данные исследований, мы обрисовали предположительную площадь водосбора ручья Привратный (см. рисунок 2.1.3).



Рисунок 2.1.3 – Водосбор р. Привратный

Площадь водосбора ручья Привратный составила 0.05 км^2 . Водосбор ручья залесенный, озера отсутствуют. Болота на территории водосбора составляют примерно 20 %.

2.2 Определение расчетно-гидрологических характеристик

Наблюдение над стоком малых рек имеются в ограниченном количестве. В большинстве случаев при расчете стока малых рек возникает такая проблема, как полное отсутствие данных гидрометеорологических наблюдений.

В [3] указано, что зная принцип изменения стока в пределах какого-либо района, можно определить величину стока для неизученного бассейна путем географической интерполяции. Существующие методы расчета нормы

стока при отсутствии наблюдений, основанные на географической интерполяции стока, могут быть сведены к следующим способам:

- а) расчет нормы стока по карте изолиний стока;
- б) расчет, основанный на гидрологической аналогии бассейнов;
- в) расчет по эмпирическим формулам.

Произведя оценку перечисленных методов определения стока при отсутствии наблюдений с точки зрения точности получаемых результатов, на первое место следует поставить метод гидрологической аналогии, который дает хорошие результаты в случае параллельных полевых обследований неизученного водотока и выбранного аналога, а затем метод определения нормы по карте, если последняя достаточно обоснована наблюдениями стока в данном районе. При определении стока периодически пересыхающих (или промерзающих) водотоков большое значение имеет точность определения поправки, вносимой в норму стока на меньшую величину подземного питания. Менее точные результаты получаются в случае использования эмпирических формул. Последний метод может применяться лишь для предварительных расчетов на первых стадиях проектирования. Для уточнения результатов расчета стока неизученных рек необходима постановка непосредственных наблюдений стока, хотя бы в течение одного годового цикла.

Существует два способа определения гидрологических характеристик для максимального стока весеннего половодья и дождевых паводков рек: при наличии или при отсутствии рек-аналогов

Расчетный максимальный расход воды весеннего половодья $Q_{P\%}$ ($\text{м}^3/\text{с}$) заданной ежегодной вероятностью превышения $P\%$ определяется по формуле:

$$Q_{P\%} = K_0 h_{P\%} \mu \delta \delta_1 \delta_2 F / (b + F)^n, \quad (1)$$

где K_0 – параметр, характеризующий дружность весеннего половодья;

$h_{P\%}$ – расчетный слой суммарного весеннего стока (без срезки грунтового питания) ежегодной вероятности превышения $P\%$;

μ – коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров слоя стока и максимальных расходов воды;

δ – коэффициент, учитывающий влияние водохранилищ, прудов и проточных озер;

δ_1 – коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды в залесенных бассейнах;

δ_2 – коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды в заболоченных бассейнах;

F – площадь водосбора исследуемой реки до расчетного створа, км^2 ;

b – эмпирический параметр, учитывающий снижение интенсивности редукции модуля максимального стока с уменьшением площади водосбора;

n – показатель степени редукции.

В данную формулу при необходимости допускается включение дополнительных параметров, учитывающих естественное и искусственное регулирование стока воды рек.

Средний многолетний слой весеннего половодья h_0 следует определять по данным рек-аналогов либо по карте, которая построена для исследуемого района с учетом последних лет наблюдений. Также учитываются поправки на влияние местных факторов (площадь водосбора, уклоны склонов на водосборе, озерность, залесенность, заболоченность), отличающихся от зональных, с учетом которых проведены изолинии слоя весеннего стока.

При наличии озер, которые расположены на водосборе реки, в значение среднего многолетнего слоя стока весеннего половодья, определенного по карте, рекомендуется включать коэффициент снижения слоя стока весеннего половодья в зависимости от средневзвешенной озерности.

Коэффициент вариации слоя стока весеннего половодья определяется по рекам-аналогам или по карте. Если значение площади водосбора менее 200 км^2 , то рекомендуется включать поправочные коэффициенты. Уточнение поправочных коэффициентов к C_v разрешается производить по региональным зависимостям $C_v = f(F)$ для равнинных рек и $C_v = f(H_B)$ – для горных рек, где H_B – средняя высота водосбора в метрах.

Значение отношения коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации принимают как среднее их значений, установленных по данным для группы рек с наиболее продолжительными наблюдениями в данном районе, либо по карте.

Коэффициент δ , учитывающий снижение максимального стока рек, зарегулированных проточными озерами, определяют по формуле

$$\delta = 1/(1+Cf_{03}), \quad (2)$$

где C — коэффициент, принимаемый в зависимости от среднего многолетнего слоя весеннего стока h_0 ;

f – средневзвешенная озерность водосбора

Коэффициент δ_1 , учитывающий снижение максимальных расходов воды в залесенных бассейнах, определяют по формуле

$$\delta_1 = \alpha / (f_L + 1)^{n'}, \quad (3)$$

где n' — коэффициент редукции;

α — параметр, учитывающий расположение леса на водосборе (в верхней или нижней части водосбора), а также природную зону (лесная или лесостепная);

f_L – залесенность водосбора;

Коэффициент δ_2 , учитывающий снижение максимальных расходов воды с заболоченных водосборов, определяют по формуле

$$\delta_2 = 1 - \beta \lg(0,1f_6 + 1), \quad (4)$$

где β — коэффициент, учитывающий тип болот и преобладающий состав почвогрунтов вокруг болот и заблоченных земель;

f_6 — относительная площадь болот, заболоченных лесов и лугов на водосборе, при наличии внутриболотных озер, рассредоточенных по водосбору и расположенных вне главного русла и основных притоков, следует включать в значение относительной площади болот, при заболоченности менее 3 % или при проточной средневзвешенной озерности более 6.4 % коэффициент δ_2 принимается равным единице.

Формула для определения максимального мгновенного расхода воды дождевого паводка заданной вероятности превышения $Q_{P\%}$ выбирается в зависимости от величины площади водосбора.

Формулой для расчета расходы рек с площадью водосбора менее 200 км² является формула предельной интенсивности стока

$$Q_{P\%} = A_{1\%} \varphi H_{1\%} \delta \lambda_{P\%} F, \quad (5)$$

где $A_{1\%}$ - максимальный модуль стока ежегодной вероятностью превышения P , равной 1%, выраженный в долях произведения $\varphi H_{1\%}$ при $\delta = 1$;

$H_{1\%}$ - максимальный суточный слой осадков вероятностью превышения P , равной 1%;

Φ – сборный коэффициент стока;

δ – коэффициент, учитывающий снижение максимальных расходов воды проточными озерами;

$\lambda_{P\%}$ - переходной коэффициент от максимальных мгновенных расходов воды ежегодной вероятностью превышения P , равно 1% к максимальным расходам воды другой вероятности превышения;

F – площадь водосбора.

Главной расчетной характеристикой для определения минимального стока воды рек является минимальный 30-суточный или среднемесячный расход воды в зимний и летне-осенний сезоны. Минимальный среднесуточный расход определяют по связи с 30-суточным. Значение

минимального 30-суточного модуля стока ежегодной вероятностью превышения 80% рекомендуют снимать с карт для центра тяжести расчетного бассейна путем интерполяции между изолиниями стока.

30-суточный минимальный расход воды ежегодной вероятностью превышения определяют по формуле

$$Q_{80\%} = \alpha 10^{-3}(f_o + F)^n, \quad (6)$$

где $Q_{80\%}$ - 30-суточный минимальный расход воды ежегодной вероятностью превышения 80% для летне-осеннего и зимнего периода;

F – площадь водосбора реки;

f_o , n , α – параметры, определяемые в зависимости от географических районов

2.3 Расчетно-гидрологические характеристики на ручье Привратный

Ручей Привратный в гидрологическом отношении практически не изучен.

Для получения режимных и расчетных характеристик исследуемых водотоков использованы данные рекогносцировочного обследования, опросные сведения, данные наблюдения на стоковой площадке. Для ручья Привратный в качестве аналога были приняты: р.Аволга, р.Охта и р.Тосна.

Правомерность выбора аналога подтверждается тесной связью среднемесячных расходов воды на постах за совместный период наблюдения, сходством климатических условий, однородностью условия формирования стока, площади водосборов различаются более чем в 10 раз.

Расчеты гидрологических характеристик ручья выполнены по формулам [3] для неизученных водотоков.

Основные гидрографические характеристики водосборов в расчетных и опорных створах приводятся в Таблице 2.3.1

Таблица 2.3.1 – Гидрографические характеристики в расчетном и опорном створе

Водоток, створ	Расстояние, км		Средний уклон русла, ‰	Средний уклон водосбора, ‰	Площадь бассейна , км ²	Залесен- ность, %	Заболоч- енность, %	Озерност ь, %
	от истока	от устья						
р. Привратный	0.52	-	4.8	20.9	0.048	100	45	0
р.Авлога – д.Матокса	20.0	34.0	2.17	12.4	89.1	70	2	2
р.Охта – д. Новое Двяткино	-	-	2.04	12.3	340	63	2	2
р.Тосно – ст.Тосно	-	36	0.49	15.6	1300	75	12	1

Рассчитанные расходы воды различной обеспеченности за разные периоды приведены в Таблице 2.3.2.

Таблица 2.3.2 – Рассчитанные расходы воды для ручья Привратный

Характеристика		Обеспеченность, %	Расход воды, л/с
			Ручей Привратный
Среднегодовой расход воды		5	0.4
		50	0.25
		95	0.15
Максимальный расход весеннего половодья		1	15
		2	13
		5	11
		10	9
		50	5
Дождевой паводок		1	76
		2	58
		5	45
		10	38
		50	9
Минимальный летний	30-дн.	95	0,02
	Сут.	95	0,015
Минимальный зимний	30-дн.	95	0,02
	Сут.	95	0,016

3. Проектирование водомерных сооружений на малых водотоках на примере ручья Привратный

Для малых рек и ручьев характерна большая изменчивость гидрологических характеристик (максимальных и минимальных расходов воды, многолетних и внутригодовых колебаний стока и пр.) в зависимости от физико-географических и климатических условий и объема хозяйственной деятельности человека в их бассейнах. Они быстро реагируют на все изменения в условиях формирования стока, изменяя свой гидрологический режим. Таким образом, малые реки выполняют роль своеобразных индикаторов физико-географических особенностей своих бассейнов. Поэтому, сведения о них широко используют в гидрологических исследованиях для изучения процесса формирования стока и выявления роли отдельных стокоформирующих факторов. Гидрологические характеристики этих рек, когда они мало изучены в натуре, ограничивают возможности применения для расчета величин стока метода гидрологических аналогий, так как в этом случае метод аналогии часто приводит к грубым ошибкам.

Измерения расходов воды вертушками при густой сети пунктов стоковых наблюдений требуют большого штата гидрометров. Наконец, они крайне затрудняют автоматизацию учета стока на малых реках. Указанные причины обуславливают необходимость оборудования современных пунктов гидрологических наблюдений на малых реках техническими устройствами или гидрометрическими сооружениями, обеспечивающими непрерывный автоматический учет стока. Такими гидрометрическими сооружениями являются гидрологические расходомеры. Они позволяют определять расходы воды в водотоках только по значению уровня в измерительной части сооружения, на основании использования теоретических (гидравлических) зависимостей между расходом и уровнем (водосливы и лотки) или подобных зависимостей, но получаемых по данным тарировок (контрольные русла).

Внедрение гидрологических расходомеров на малых реках и, особенно, ручьях обеспечивает:

1. существенное уточнение данных о водных ресурсах;
2. более глубокое изучение процесса формирования стока, что приведет к повышению эффективности его использования;
3. подробное исследование влияния хозяйственной деятельности в их бассейнах на водоносность и водный режим;
4. автоматизацию наиболее трудоемкого производственного процесса в речной гидрометрии - измерения расхода воды;
5. повышение точности гидрологических прогнозов половодий и паводков на средних и больших реках.

Выбранный метод измерения расхода воды должен, для данных условий, наилучшим образом удовлетворять требованиям точности отдельных измерений и учета стока во времени при наименьших затратах средств на сооружение и эксплуатацию измерительных устройств. При выборе метода измерения расхода воды и соответственно типа гидрометрического устройства следует, прежде всего, иметь в виду, что наиболее совершенными являются измерения с помощью гидрологических расходомеров (лотков и водосливов), которые дают возможность непосредственно определить расход воды по высоте уровня (напора) на основе соответствующих гидравлических зависимостей и данных тарировки.

Гидрологические расходомеры дают возможность измерять расходы воды с погрешность 2 – 5 %. Простота измерений позволяет использовать эти сооружения для автоматизации учета стока малых рек, так как в сочетании с самописцами уровня воды они обеспечивают непрерывную фиксацию расходов воды.

Водослив – это преграда для движения потока. Он представляет собой вертикальную стенку или порог, через которые переливается вода. Водосливы бывают с тонкой стенкой, широким порогом и порогом

практического профиля. Их выделяют в зависимости от толщины преграды и формы ее продольного профиля. По форме водосливного отверстия водосливы подразделяются на прямоугольные, треугольные, трапециевидные, радиальные, параболические и т.п.

Гидрометрический лоток – это сужающее устройство, в горловине которого устанавливается критический режим течения. Существует два основных типа лотка: Вентури и Паршала.

3.1 Лоток Паршала

Самый распространенный тип расходомеров, который используют в руслах правильной формы, движение воды в которых безнапорное и устроено в грунте, и на естественных водотоках.

Лоток (см. рисунок 3.1) представляет собой приемную сужающую часть, горловину с параллельными вертикальными стенками и дном, имеющим уклон 3:8 в сторону движения воды отводящего раструба. В отличие от лотков Вентури, для ширины горловин которых можно задавать любые значения, для лотков Паршала для этого следует использовать стандартные размеры.

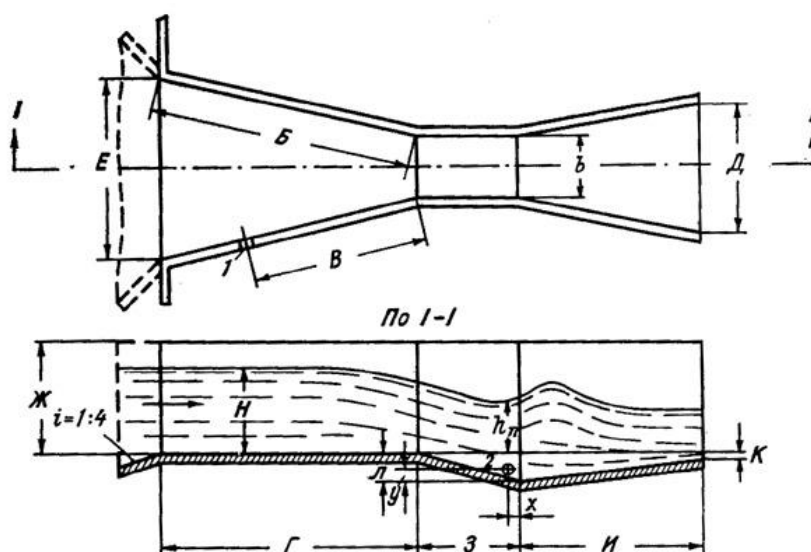


Рисунок 3.1 – Лоток Паршала

Средняя квадратическая погрешность определения расхода воды составляет 4 %.

3.2 Лоток Вентури

В свою очередь лоток выполняется двух типов: сжатие потока боковыми стенками при горизонтальном дне и сжатие потока посредством подъема дна при параллельных боковых стенках. Для измерения расходов взвесенесущих потоков применяются лотки первого типа.

Лоток Вентури (см.рисунок 3.2) в гидравлическом отношении представляет лоток с наличием критической глубины в пределах его горловины. В незатопленном состоянии часть лотка, расположенная ниже горловины, не оказывает воздействия на условие протекания потока воды на входе. Мера расхода воды, протекающей через лоток, является высота уровня над дном входной части.

Лоток Вентури состоит из входной части, которая представляет собой отрезок подводящего канала, конфузора (сужения), горловины, которая имеет параллельные стенки и горизонтальное дно, и диффузора (расширения). Длина горловины должна составлять $1.5 h_{\text{макс}}$, причем максимальный напор над дном горловины должен быть не более 1.8 м, минимальный $h_{\text{мин}} = 0.05$ м. Диффузор имеет расходящиеся стенки, он служит для уменьшения потери напора в лотке.

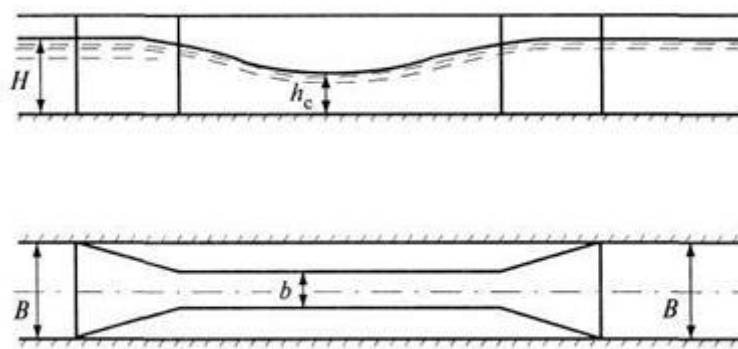


Рисунок 3.2 – Лоток Вентури

Достаточно удобными в эксплуатации гидрологическими расходомерами на малых водотоках, особенно при большом содержании в потоке наносов, являются лотки Вентури. Они обладают некоторыми преимуществами по сравнению с лотками Паршала, которые заключаются в более благоприятных условиях для транзита наносов и в большей простоте конструкции. Лотки Вентури могут выполняться с горловиной как прямоугольного, так и трапециевидального поперечного сечения.

В [4] рекомендуются к применению лотки Вентури только с прямоугольной горловиной, как наиболее простые в расчетном и конструктивном отношении.

Также измерения на лотке Вентури более точны. Диапазон измерений расходов воды, соответственно минимальный и максимальный, колеблется в зависимости от ширины горловины. Он составляет 4 – 300 л/с и 0.08 – 15,0 м³/с.

В соответствии с ранее проведенными исследованиями именно лоток Вентури следует считать наиболее приемлемым для установки на р.Привратный. Для имеющихся входных параметров был выполнен чертеж (см. рисунок 3.3) лотка, по которому он был изготовлен в мастерских Водоканала.

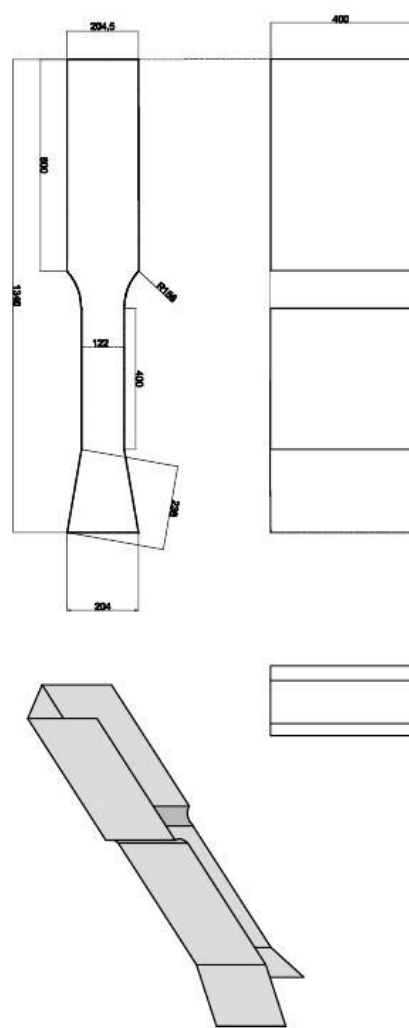


Рисунок 3.3 – Исполнительный чертеж лотка Вентури для р. Привратный

В летний период были выполнены контрольные измерения расходов воды объемным способом. Измерения показали хорошую сходимость расчетных и измеренных значений расходов воды. Ниже в Таблице 3.1 приведены данные расчета расходов воды по уровню воды в горловине лотка.

Таблица 3.1 – Градуировочная таблица лотка Вентури

h	a	Cv	Cd	Q куб м/с	л/сек
0.01	1.705	1.07	0.809274	0.00018	0.180121
0.02	1.705	1.07	0.893435	0.000562	0.56244
0.03	1.705	1.07	0.9221	0.001066	1.066419
0.04	1.705	1.07	0.936546	0.001668	1.667581
0.05	1.705	1.07	0.945249	0.002352	2.352172
0.06	1.705	1.07	0.951066	0.003111	3.111038
0.07	1.705	1.07	0.955228	0.003938	3.937513
0.08	1.705	1.07	0.958353	0.004826	4.82646
0.09	1.705	1.07	0.960787	0.005774	5.773761
0.1	1.705	2.07	0.962735	0.00677	6.77

Таким образом, таблицей 3.1 можно пользоваться для расчета расходов воды через лоток.

4. Организация и анализ опыта

В мае 2015г. была организована стоковая площадка на ручье Привратный. Изготовленный лоток Вентури был установлен на ручье. Для этого русло ручья на участке строительства было отведено в боковой канал. В месте установки лотка была сооружена армированная бетонная подушка. На горизонтальную поверхность подушки на цементный раствор был установлен лоток Вентури. Боковые крылья лотка утеплены пенопластом толщиной 50 мм и сверху закрыты цементной стяжкой.

В октябре 2015г. вокруг лотка был заложен фундамент для сооружения антивандальной будки.

В летний период для измерения уровня воды в головной части водослива установлен шпигенмасштаб, позволяющий измерять отметку уровня воды с точностью 0.1 мм. Также были установлены почвенные термометры Савиновского, психрометры и анемометры АРИ.

4.1 Наблюдения в период летне-осенней межени 2015г.

В связи с отсутствием, до настоящего времени, автоматического уровнемера, наблюдения за расходом воды выполнялись в ручном режиме. Лоток оборудован измерителем уровня – шпигенмасштабом. В летний период каждый день производились измерения через каждые три часа. С 7 мая до 8 июля производилась съемка уровня и температуры с 8 00 до 20 00 через каждые три часа. С 8 июля до 19 июля производилась съемка с 9 00 до 21 00 через три часа (9, 12, 15, 18, 21 часы). График сместили для синхронизации с метеорологическими измерениями. Во время дождя съемка уровня и температуры производилась через каждый час. 10 июля

шпиценмасштаб был перемещен из правой части лотка, где образовывалась волна, в левую – более спокойную часть.

По данным наблюдений был построен совмещенный график уровней воды и осадков. На рисунке 4.1 видно, что подъем уровня во время дождей начинался примерно через час после начала.

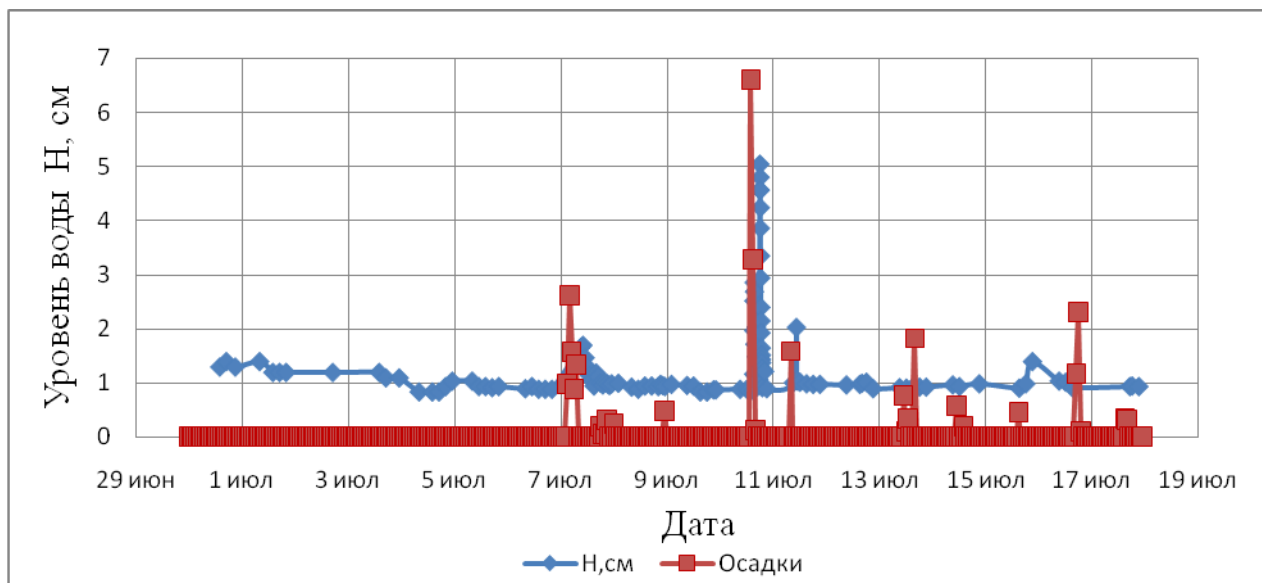


Рисунок 4.1 – Совмещенный график уровней воды и осадков на ручье Привратный

Также измеряли давление для введения поправок в психрометры. Были установлены почвенные термометры Савинского без растительности. Проводилась съемка открытости неба, для определения количества проходящих прямых лучей солнца для измерения баланса.

4.2 Проблема зимней межени 2016г.

В аномально холодную зиму с необычайно быстрым перепадом температуры за короткий срок времени, произошло смерзание лотка Вентури, это образовало преграду для поступающей из ручья воды. На

рисунке 4.2.1 видно, что по средствам этих явлений, начала образовываться ледяная шапка, от лотка и вверх по руслу ручья. Таким образом, старое русло ручья было заблокировано, и водоток устремился по окраине льда, тем самым создавая себе новое русло.



Рисунок 4.2.1 – Протекание ручья Привратный под “ледяной шапкой”

При весеннем половодье, русло могло в корне измениться из-за увеличенного потока талой воды, тем самым загубив установленный весной 2015 года, лоток Вентури. Во избежание этого были предприняты действия.

Одной из главных задач являлось вернуть водоток в старое русло. Учитывая то, что прогноз погоды давал положительные значения температуры, было решено, что водоток сможет размыть лед, и вернуться в старое русло. Для этого было заблокировано новообразовавшееся русло и прорублен канал над старым руслом, по которому удалось пустить воду, идущую с водосбора ручья. Далее были установлены импровизированные створы, для оценки скорости размыва водой льда (см. рисунок 4.2.2).



Рисунок 4.2.2 – Искусственно сделанное русло р.Привратный во льду

Спустя сутки, после прорубки канала над старым руслом, его глубина на всем протяжении в среднем увеличилась на 7.6 см под действием протекающей воды. Так же было замечено явление, называемое фокус размыва (см. рисунок 4.2.3), которое характерно для потоков, протекающих в аллювиальных отложениях.



Рисунок 4.2.3 – Фокус размыва

Затем, русло практически полностью промыло лёд. Был произведен пробный замер расхода ручья методом поплавков. С учетом всех коэффициентов его значение оказалось недостоверным, по причине, малого количества проведенных замеров.

С целью измерить расход на ручье объемным способом, было вырублено русло ручья ниже по течению лотка. После расчистки льда, было произведено измерение расхода воды объемным способом, по средствам постановки под водоток тарированной емкости с засечкой времени его наполнения. Было проведено 5 опытов, с целью максимально точно измерить расход. По полученным данным измеренный расход совпал с расчетным расходом воды через формулы по лотку Вентури.

Также было замечено, что лед в промытом русле образовывался слоями. Что бы это пронаблюдать, был вырезан керн в метре от лотка (Приложение Б). По образцу было видно, что лёд не однороден, и его можно разделить на слои с разной прозрачностью и структурой, из этого можно было сделать выводы, как происходило смерзание русла ручья.

5. Датчик уровня

В будущем на стоковой площадке планируется установить магнитострикционного датчика уровня воды.

Эти устройства позволяют отслеживать количество жидкого или сыпучего вещества по уровню его поверхности в некоторой емкости. Датчики уровня могут выдавать сигнал по достижении некоторого уровня или сигнал при абсолютной высоте текущего уровня в зависимости от принципа действия, что отражается на их технической сложности и цене. Также датчики уровня могут быть контактными и бесконтактными.

Датчики уровня воды разделяют по принципу действий:

- а) емкостный
- б) поплавковый
- в) радарного типа
- г) ультразвуковой
- д) гидростатический

Работа емкостного датчика уровня (см. рисунок 5.1) основана на свойстве конденсатора изменять свою емкость при изменении состава и распределения материала, который разделяет пластины конденсатора. Это свойство применяется также в емкостных датчиках влажности.

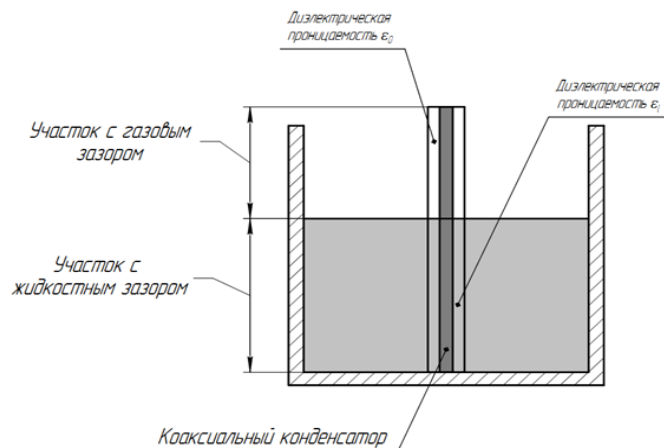


Рисунок 5.1 – Емкостный датчик уровня

Датчики данного типа лишены подвижных элементов, поэтому отличаются надежностью и долговечностью. К их недостаткам относят значительную температурную зависимость, а также необходимость погружения в жидкость.

Основным элементом радарного датчика уровня (см. рисунок 5.2) является радиолокатор. Жидкость отражает излучение локатора, поэтому если расположить излучатель-приемник внутри резервуара и фиксировать задержку отраженного сигнала относительно сигнала источника – возможно определить уровень жидкости по величине задержки. О величине временной задержки можно судить по величине частотного сдвига, а значит и о расстоянии до поверхности жидкости. Этот метод является наиболее технологичным и совершенным. К достоинствам этого датчика можно отнести: отсутствие подвижных элементов, отсутствие контакта с жидкой средой, высокая точность, универсальность.

Главным минусом радарных датчиков является их ценовая категория.

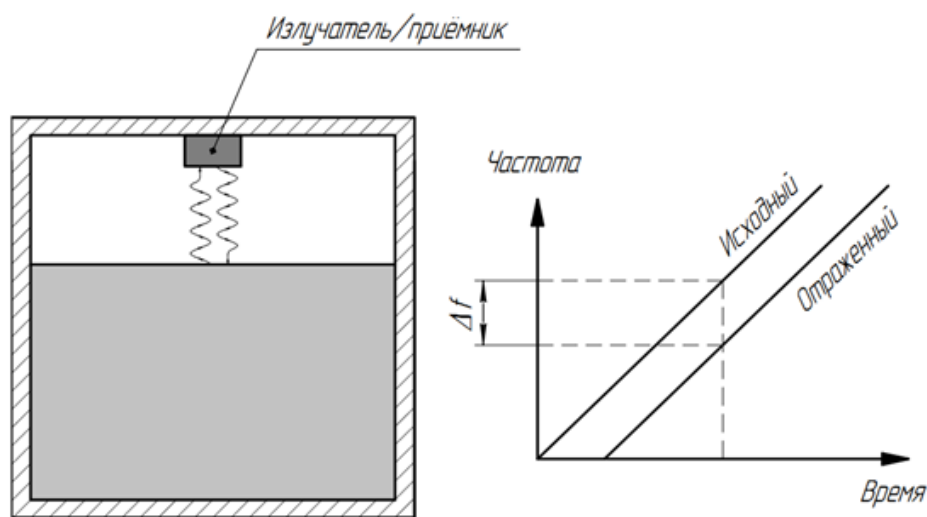


Рисунок 5.2 – Радарный датчик уровня

В ультразвуковых датчиках уровня используется схема, схожая со схемой датчика радарного типа. В резервуар устанавливают блок, состоящий из генератора и приемника ультразвуковых волн. Излучение генератора

приходит газовую среду, отражается от поверхности жидкости и попадает на приемник. Вычислить расстояние до поверхности жидкости – то есть определить ее уровень можно, определив временную задержку между излучением и приемом и зная скорость распространения ультразвука в данной газовой среде. Данным датчикам уровня свойственны почти все достоинства датчиков радарного типа, но они имеют более низкую точность, однако более просты по внутреннему устройству.

Гидростатический датчик дает возможность определить уровень жидкости в резервуаре путем измерения гидростатического давления столба жидкости над детектором давления датчика. Высота столба определенной жидкости пропорциональна давлению в данной точке. Датчики данного типа компактны, относительно просты, способны выдавать непрерывный сигнал, но не являются бесконтактными, а также недороги.

Датчики поплавкового типа имеют простое устройство. Существует несколько конфигураций, которые выдают на выход дискретный и непрерывный сигнал. Последние можно разделить на механические и магнитострикционные. В качестве одного из элементов в магнитострикционных датчиках используется поплавок, но в остальных характеристиках они достаточно сильно отличаются от обычных механических поплавковых датчиков.

В работе дискретных поплавковых датчиков уровня (Приложение В) используется набор поплавков, расположенных на разных уровнях резервуара. Когда жидкость достигает уровня, на котором расположен поплавок, он выталкивается за счет силы Архимеда, которая направлена вверх. Это приводит в действие электромеханическую систему или механическую систему, а выходной сигнал появляется при замыкании контактов герконового реле. Так же существует альтернативная конфигурация, в которой присутствует направляющая, содержащая набор реле. Вслед за уровнем жидкости перемещается поплавок, содержащий постоянный магнит. Срабатыванием поплавка называют его приближение к

реле. Выходной сигнал также используют для поочередного мониторинга уровня жидкости в резервуаре – датчик сообщает, достиг ли уровень жидкости конкретной отметки или нет. Данный датчик уровня может быть элементом автономного регулятора в том случае, если необходимо поддерживать постоянный уровень жидкости в резервуаре – для осуществления данной схемы выходной сигнал может управлять силовым реле.

Дискретные поплавковые датчики достаточно просты и надежны, требуют погружения в жидкость и имеют подвижную механику, а также дешевы.

Магнитострикционные поплавковые датчики (Приложение Г) выдают непрерывный сигнал. В основе данного метода измерения лежит комбинация из эффектов магнетизма и ультразвука. Поплавок является основным элементом конструкции, в данном случае он содержит постоянный магнит. Поплавок может свободно передвигаться вдоль направляющей, внутри которой располагается волновод из магнитострикционного материала. Блок электроники датчика с определенной периодичностью создает импульс тока, который распространяется вдоль волновода. При достижении импульсом области, где располагается поплавок, магнитное поле поплавка и магнитное поле импульса взаимодействуют, что приводит к возникновению механических колебаний, которые распространяются обратно по волноводу и фиксируются пьезоэлементом. О расстоянии до поплавка, а значит и об уровне жидкости в резервуаре можно судить по временной задержке между отправкой импульса тока и получением механического импульса. Так как датчик поплавкового типа является бесконтактным, к его важным преимуществам относится то, что абсолютное значение уровня жидкости находится в распоряжении оператора сразу же после подачи напряжения питания или после сбоя в нем. Полностью отпадает необходимость в интенсивном обслуживании, а значение уровня жидкости регистрируется по всей длине. Данные датчики базируются на бесконтактном методе

измерения. Из-за отсутствия трущихся частей, датчик не подвержен механическому износу, чем гарантируется очень надежная и стабильная работа на протяжении долгого времени.

Данное устройство (см. рисунок 5.3) состоит из измерительного элемента (волновода), помещенного во внутрь защитной трубы, или металлического гибкого кожуха (шланга). Сенсорная головка состоит из корпуса нержавеющей стали или литого корпуса и содержит электронику обработки сигнала. Поплавков, который свободно перемещается вдоль устройства, является единственно подвижной частью сенсора. Расположенные внутри поплавка магниты воздействуют через защитную оболочку устройства на волновод, вызывая возникновение импульса. Возможно одновременное измерение уровня нескольких слоев жидкости разной плотности путем установки сенсора несколькими поплавками разной массы. Возникающие в результате воздействия от внешних механических воздействий, звуковых колебаний и помех продольные колебания никак не влияют на показания измерений.

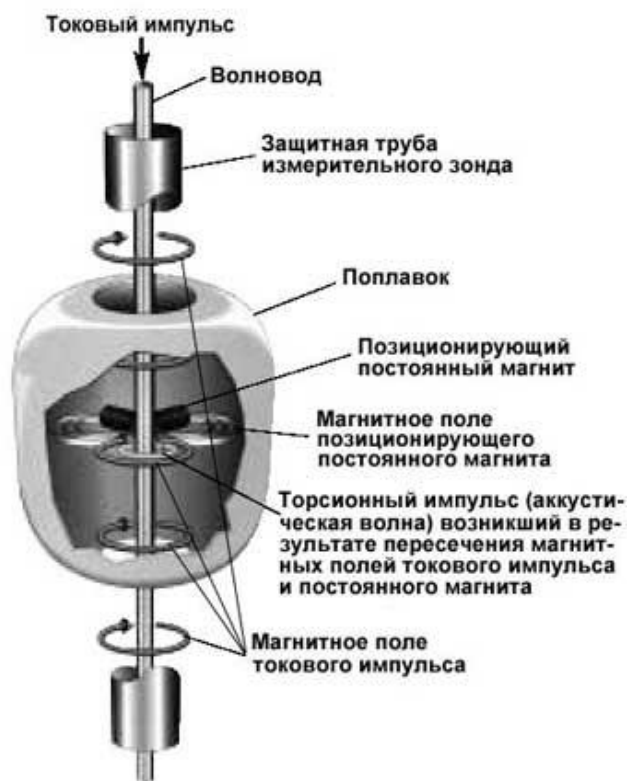


Рисунок 5.3 – Схема магнитострикционного поплавкового датчика

Данные датчики очень точны, выдают непрерывный сигнал, также могут использоваться с гибким волноводом, что расширяют сферу применения.

Установка датчика на ручье Привратный позволит производить наблюдения за стоком ручья в автоматическом режиме. Он будет установлен в специально утопленном колодце. Поэтому для установки был выбран магнитострикционный уровнемер NivoTrack (см. рисунок 5.4).

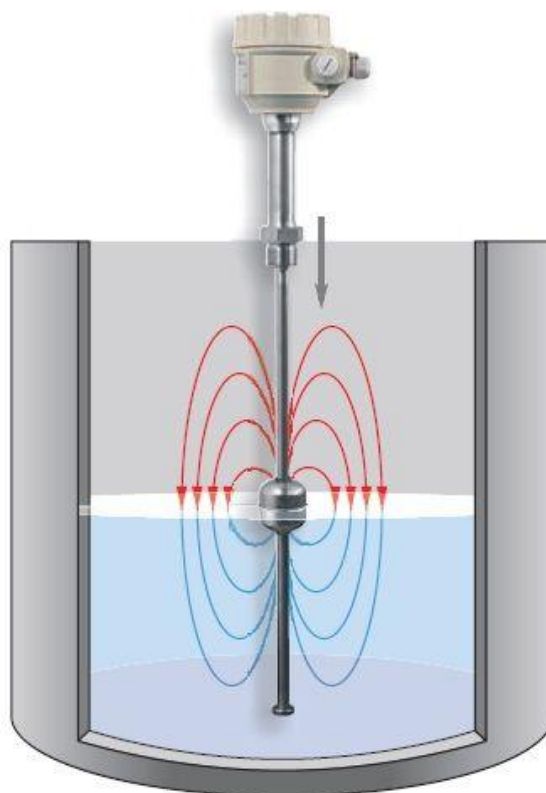


Рисунок 5.4 - Магнитострикционный уровнемер NivoTrack

Данный уровнемер использует в своей работе эффект Видемана, который представляет собой одно из проявлений магнитострикции. Волновод уровнемера изготавливается из специального магнитострикционного материала. Он устанавливается в резервуар так, чтобы нижним концом волновод упирался в дно. Насаженный на волновод уровнемера поплавок содержит магниты и плавает поверхности жидкости. Электроника прибора посылает по волноводу импульс тока. Вокруг волновода при движении импульса образуется магнитное поле. На пересечении с магнитным полем поплавок возникает механическая деформация волновода. Импульс отражается от этой деформации и возвращается обратно. Замеряют время возврата импульса и рассчитывают по нему расстояние до поплавка, а затем и уровень жидкости в резервуаре. Также можно рассчитать объем содержимого емкости.

Магнитострикционные преобразователи уровня позволяют непрерывно производить точные измерения жидкости, так как у них высокое

быстродействие. Датчики, как NivoTrack, имеют низкие значения абсолютной погрешности при измерениях. Диапазон измерения программируется при настройке уровнемера, также задаются геометрические размеры емкости и другие параметры, которые требуются для решения поставленных задач.

Преобразователь уровня обладает определенными возможностями по самодиагностике:

- а) диагностика и вывод на экран сообщений о внутренних ошибках прибора
- б) информирование об ошибках, допущенных при программировании прибора (выходы за пределы, переполнение данных).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С весны 2015г. были начаты наблюдения на стоковой площадке. Наблюдения за уровнем воды были начаты после оборудования лотка Вентури шпиценмасштабом. В логе ручья были установлены почвенные термометры Савинова, а также начали измеряться показания психрометров, расположенных на дне оврага и по его краям и скорость ветра анемометром “АРИ”. Также были установлены почвенные термометры Савинского без растительности, и проведены измерения солнечного теплового баланса. Данные измерения являются началом большой работы по исследованию стока малых водотоков с площадями менее 1 км², поэтому никаких закономерностей из данных измерений делать пока нецелесообразно.

Из проведенных работ на ручье в зимний период стали понятны многие факторы образования оледенений на гидротехнических сооружениях. Были проведены искусственные изменения в русле ручья, после которых наблюдались явления происходящих при размыве льда. Из-за аномально теплой погоды, которая привела к обильному снеготаянию, удалось наблюдать увеличенный сток с увеличенным расходом воды, который в свою очередь был измерен несколькими различными способами.

В будущем, после получения магнитострикционного датчика уровня воды, планируется его установка в специально оборудованном утепленном колодце, а также будет произведено утепление лотка Вентури, с целью предотвращения смерзания лотка. Установка датчика позволит производить непрерывные наблюдения за стоком ручья в автоматическом режиме.

Также одной из целей реализации проекта создания стоковой площадки являлось повышение качества освоения студентами теоретических знаний.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Основные гидрологические характеристики Т.2-часть 1,2, Бассейн Балтийского моря – 1980г.
2. Догановский А.М., Орлов В.Г. Сборник практических задач по определению основных характеристик водных объектов суши (практикум по гидрологии). [Учебник].-СПб.:РГГМУ, 2011. – 315с.
3. СНиП 2.101.14-83 “Определение расчетных гидрологических характеристик”
4. СНиП 33-101-2003 “Определение расчетных гидрологических характеристик”
5. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик . Л.: Гидрометеиздат. 1984г.
6. Атлас расчетных гидрологических карт и номограмм. Л.: Гидрометеиздат, 1986
7. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Том 2, Ленинград, 1965
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Том 2, Ленинград, 1966, 1974, 1978
9. Быков В.Д., Васильев А.В. Гидрометрия. [Учебник].- Л.:Гидрометеиздат., 1977. – 444 Стр.
10. Спицын И.П., Соколова В.А. Общая и речная гидравлика-[Учебник].- Л.: Гидрометиздат. 1990г.
11. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 6. Часть 1. Гидрологические наблюдения и работы на малых реках. Л.:Гидрометеиздат, 1978 год

12. ГОСТ МИ 2406-97 Расход жидкости в безнапорных каналах систем водоснабжения и канализации. Методика выполнения измерений при помощи стандартных водосливов и потоков 15.05.97
13. http://rusautomation.ru/datchiki_urovnya/nivotrack/princip-raboty-nivotrack
14. http://www.devicesearch.ru/article/datchiki_urovnya